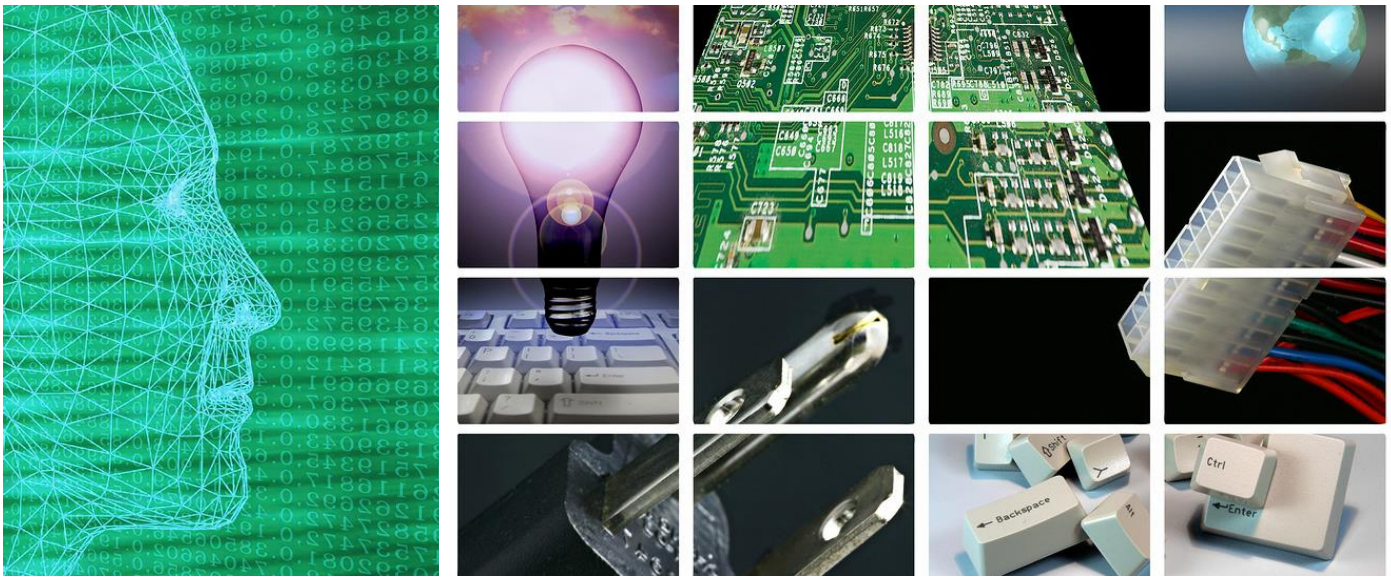
ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ВАРНА
TECHNICAL UNIVERSITY OF VARNA

Година XXI, Брой 1/2023

КОМПЮТЪРНИ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ



IEEE Bulgaria Communication Chapter

FCA Faculty of Computing & Automation

COMPUTER SCIENCE AND TECHNOLOGIES

Year XXI, Number 1/2023

Компютърни науки и технологии

Издание
на Факултета по изчислителна техника и автоматизация
Технически университет - Варна

Печат: ТУ-Варна

За контакти:

Технически университет - Варна
ФИТА
ул. „Студентска” 1, 9010 Варна,
България
тел./факс: (052) 383 320
E-mail: yulka.petkova@tu-varna.bg

ISSN 1312-3335

Computer Science and Technologies

Publication
of Computing and Automation Faculty
Technical University of Varna

Printing: TU-Varna

For contacts:

Technical University of Varna
Faculty of Computing and Automation
1, Studentska Str., 9010 Varna,
Bulgaria
Tel/Fax: (+359) 52 383 320
E-mail: yulka.petkova@tu-varna.bg

ISSN 1312-3335

СЪДЪРЖАНИЕ **CONTENTS**

TU-Varna FCA Faculty of Computing & Automation

STANDARD ISO 27001:2013 INFORMATION SECURITY MANAGEMENT SYSTEMS. PROBLEMS AND PERSPECTIVES

Plamen Tzvetanov Pavlov

Abstract: The article summarizes and analyses the motives, problems and prospects for the implementation of information security management systems in accordance with the international standard ISO 27001:2013 internationally and in Bulgaria (on the example of TUV NORD Bulgaria).Abstract, Abstract, Abstract.
Keywords: Information security management systems, Standard ISO 27001:2013,

1. Introduction

The international standard ISO 27001:2013 defines requirements for information security management systems. Recommendations have been defined related to the functioning of the ISMS as a complex system, the main task of which is to protect the information sets of the organization and its clients (partners) from unauthorized access or destruction.

With the rapid development of computer and communication technologies, the storage of information is turning into a key problem to be solved by the management of companies and organizations. The article analyzes the reasons for the implementation of systems for information security, the problems facing the management and the prospects for the development of the certification activity.

2. Practices in implementing the ISO/IEC 27001 standards internationally

The ISO/IEC 27001 standard is one of the most dynamically developing information security standards. The study of the standard management system certificates for the year 2020 by the ISO organization (The ISO Survey)[1] for includes the following data:

• number of valid certificates for a country as at 31 December (A valid certificate is one that has been issued by a certification body accredited by IAF MLA members during the year of the survey or in the two years preceding it, which is still valid on 31 December of the year of the study)

• number of sectors per country covered by the certificates, according to the classification of 39 EA sectors.

• number of sites per country covered by their certificates (a site is a permanent place where an organization performs work or service).

The study contains:

• an overview table showing the total number of valid certificates and the total number of objects for each standard

• detailed results for each standard covered by the survey with data by country on the number of certificates and the number of sites and the total number of sectors. The number of sectors per country is in a separate file called "Sectors by Country".

According to data from the latest published ISO report for 2020 (September 2021, Table 1), the number of globally certified companies has grown significantly from 44,486 to 84,166.

The largest number of ISMS certifications were carried out in Japan, China, Great Britain, India, the USA, Germany, Italy and other countries of the European Union. The growing trend of certification according to this standard may also be due to the emerging need to build an effective

information security management system in order to cover all the requirements of the General Data Protection Regulation (GDPR).

Table 1. Certified companies on a global scale as of 2021

№	Standard	Number of certificates	Number of sites
1.	**ISO 9001:2015**	1 077 884	1 447 080
2.	**ISO 14001:2015**	420 433	610 924
3.	**ISO 45001:2018**	294 420	369 897
4.	**ISO IEC 27001:2013**	58 687	99 755
5.	**ISO 22000:2005&2018**	36 124	42 937
6.	**ISO 13485:2016**	27 229	38 503
7.	**ISO 50001:2011&2018**	21 907	54 778
8.	**ISO 20000-1:2011&2018**	11 769	13 998
9.	**ISO 37001:2016**	2 896	7 982
10.	**ISO 22301-1:2012&2019**	2 559	5 969
11.	**ISO 39001:2012**	1 285	2 357
12.	**ISO 2800:2007**	584	1 106
13.	**ISO 55001:2014**	488	1 993
14.	**ISO 20121:2012**	253	795
15.	**ISO 29001:2020**	157	712

In the ISO Report for 2020 (September 2021)[2] for ISO/IEC 27001:2013 Information technology Security techniques Information security management systems Re-quirements, the certified organizations by country are indicated, which shows that the standard is most widespread in China – certificates-18 446(sites- 18569), in second place Japan – certificates-6587(sites- 17784), in third place Great Britain – certificates-5256 (sites- 8647), in fourth place is India – certificates-2775(sites -6024) and in fifth place Germany – certificates-1673(sites-3486). In Bulgaria, 454 organizations have been certified, which, relative to the size of our economy, is a good achievement (International Organization to Standardization, 2021).

The same study shows data on the distribution of certificates by sector of the economy. The most common certification is in Sector 32 "Information technologies" - 10,644 certificates, in second place Sector 31 "Transport, storage and communications" - 6,909 certificates, in third place Sector 35 "Other services" - 1,693 certificates, and most were issued in an unspecified sector – 38,009 certificates. (International Organization for Standardization, 2021).

The constant interest and the increase in the number of companies which are implementing this standard globally is not accidental, but is due to the clear competitive advantages obtained from its implementation. The research carried out by the company IT Governance [3] in companies that have implemented ISO/IEC 27001 shows the following results:

• 98% of respondents stated that they implemented the standard to increase the company's information security level;

• 67% noted the relevance of the standard in the industry in which they operate;

• 56% of respondents believe that the implementation will bring them new competitive advantages;

• in 56% of companies, their ability to meet and fulfill normative legal requirements has increased;

• 77% of companies use the standard simultaneously with other control tools in the field of information security;

• 71% of companies have received inquiries from clients to confirm compliance with ISO/IEC 27001 requirements.

Fig. 1. Survey participants (by country)

The data show that the highest interest in certification in accordance with the requirements of the standard is in Europe, due to the strong development of computer and communication technologies and the requirements of European Union and national legislation.

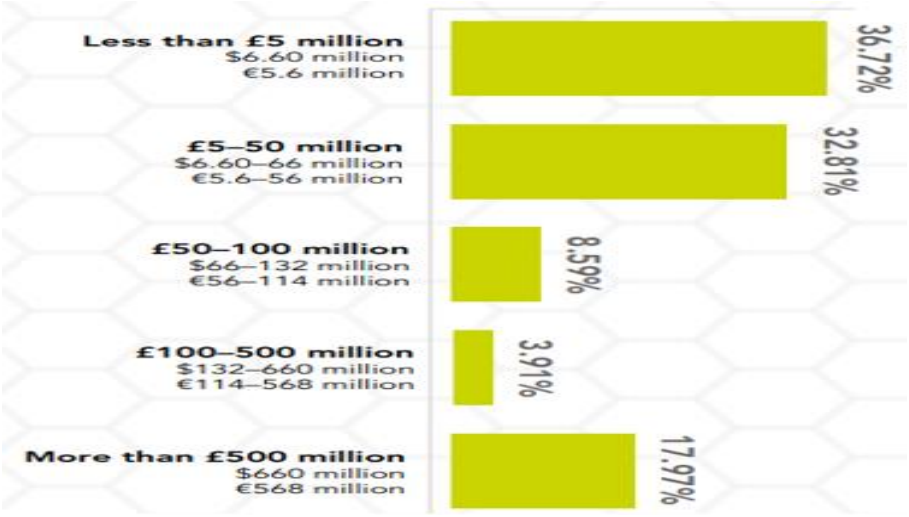


Fig. 2. By annual income

The most active in the implementation of ISMS in accordance with 27001:2013 are companies with an annual turnover of less than $5 million to over $660 million.

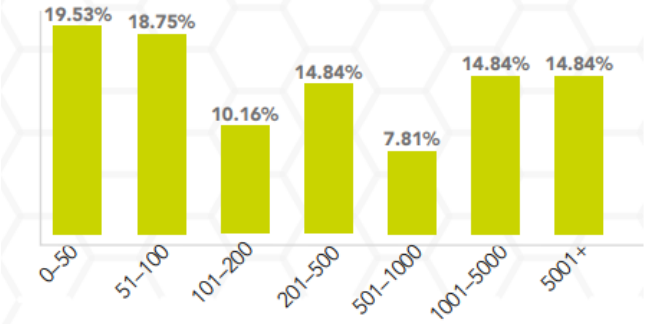


Fig. 3. By size of the organization (number of employees)

The size of the organizations, according to the number of employees, does not have such a serious impact on the implementation of the ISMS, but there is a tendency for greater activity among those with employees from 0 to 100 and those with employees between 1001 and over 5001.

Fig. 4. By industry sector

The most active in the implementation of ISMS in accordance with 27001:2013 are companies from the "Technology and Media" sector, in second place is the "Financial Services" sector and in third place - an unspecified sector.

Fig. 5. By position held by the interviewee

According to those who participated in the survey, Consultants, ISMS managers and IT managers/directors are almost equally represented.

Fig. 6. Main drivers for implementing ISO 27001

Of particular interest are the data on the main reasons that prompted the management of the companies to make a strategic managerial decision to develop, implement and certify the ISMS in accordance with the requirements of the ISO 27001:2013 standard (**Fig. 6**.). The strongest motive is the possibility of improving the competitive position of the organization in the field of information security, obtaining a better competitive advantage and achieving full compliance with the requirements of legal and regulatory frameworks.

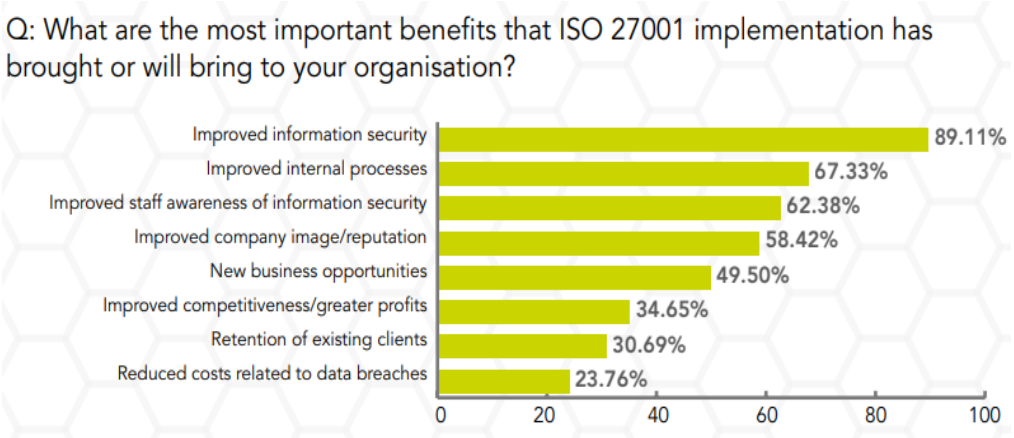


Fig. 7. The most important benefits of implementing ISO 27001

Fig. 7. shows the most important benefits, which include: improved information security, improved management of internal processes, and improved staff awareness of information security requirements.

As the only auditable international standard that defines the requirements for ISMS, the ISO 27001 certificate demonstrates that the organization's information security is managed in accordance with international best practices.

More than 70% of respondents reported that improving information security was the biggest driver for implementing ISO 27001, with other top reasons for adopting the standard for them being gaining a competitive advantage in the marketplace at 57%. 52% of respondents believe that certification is necessary to ensure legal and regulatory compliance, and 48% to achieve GDPR compliance.

Supported by the survey results (and closely aligned with the drivers of ISO 27001 implementation), improved information security is the biggest benefit provided by achieving certification, with 89% saying it is the "most important" benefit of implementation of the standard.

Fig. 8. Other key benefits highlighted

The vast majority of respondents (81%) believe that the implemented information security management system will help them cope with the increasing demands of clients and partners for storing their data, will improve the internal structure of an organization and the ongoing processes (67%). Evidently, the lowest valued is the probability of incurring financial losses, which would be incurred in case of possible sanctions from partners and clients.

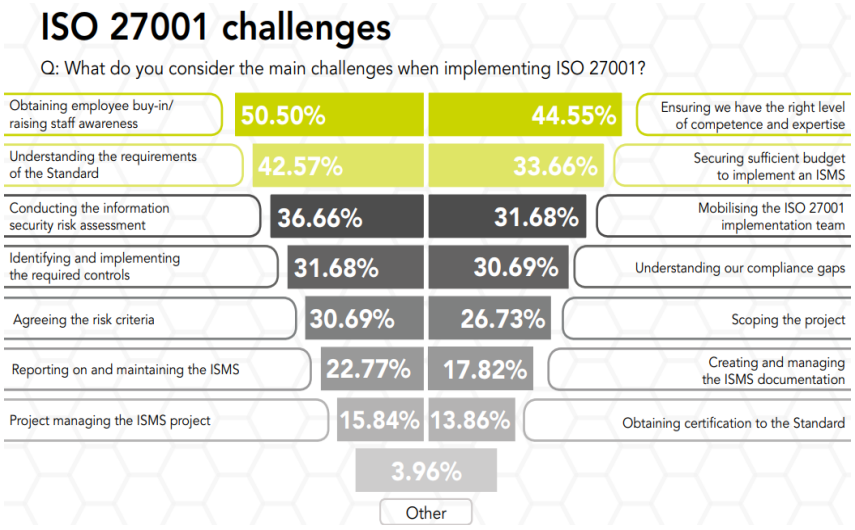


Fig. 9. Main challenges in the implementation of ISO 27001

Most of the respondents consider that the main problem in the implementation of the standard is the insufficient support from the employees to increase their awareness and ensure that the company has the necessary levels of competence and experience (**Fig.9**). The reasons lie in the conservative attitudes of the employees towards the management's desire to increase their awareness of the standard and their reluctance to take on new responsibilities.

Achieving and maintaining ISO 27001 accredited certification can be challenging, and many organizations report experiencing significant difficulty in this area.

3. Practical implementation of the ISO/IEC 27001 standard in Bulgaria (on the example of TUV Nord Bulgaria)

One of the leading international certification organizations in Bulgaria - TUV Nord Bulgaria, develops active activities for the certification of organizations according to the ISO/IEC 27001 Standard - Information Security Management Systems. The following Table 2 shows the distribution of organizations by subject of activity[4].

Table 2. Organizations certified by TUV Nord Bulgaria by subject of activity (according to TUV Nord data)

№	Activity	Number
1.	Information technology, software	5
2.	Software development and sales	2
3.	Software development and consulting	2
4.	SMART home systems & BMS systems	2
5.	Information security	2
6.	Construction	1
7.	Representation of SAP, Microsoft and Cisco	1
8.	Water and sanitation	1
9.	Gas distribution	1
10.	Heating engineering	1
11.	Trade and Marketing	1
12.	Information technology, video surveillance and digitization	1
13.	Telecommunication	1
14.	Production of intellectual and material products	1
15.	Information technology, support, hosting	1
16.	E-commerce	1
17.	Consulting	1

18.	Waste collection and management	1
19.	Engineering in energy, transport and industry	1
20.	Accounting services	1
21.	Information services, excluding databases	1
22.	Information technology and advertising	1
23.	Organization of lottery games	1
24.	Construction, maintenance and use of public electronic communication network and physical infrastructure	1
25.	Security Services	1
26.	Consulting and commercial activity	1

The results of the analysis show that, although the standard can be implemented in all organizations, regardless of their size and type of activity, those working in the field of information and communication technologies and software creation are predominant. This is due to the nature of their activity related to the provision of information services, the processing of personal data, and maintenance of large databases related to the processing and storage of sensitive information for clients. The loss of valuable information or the violation of data integrity will lead to serious problems and even to the suspension of the business of the company or its clients, including to legal proceedings initiated by them. The managements of the organizations make serious efforts to maintain a high level of information security and solve the mentioned problems, by building an ISMS corresponding to the ISO 27001 standard.

The number of companies certified by TUV Nord according to the standard in the last four years is shown in Fig. 10.

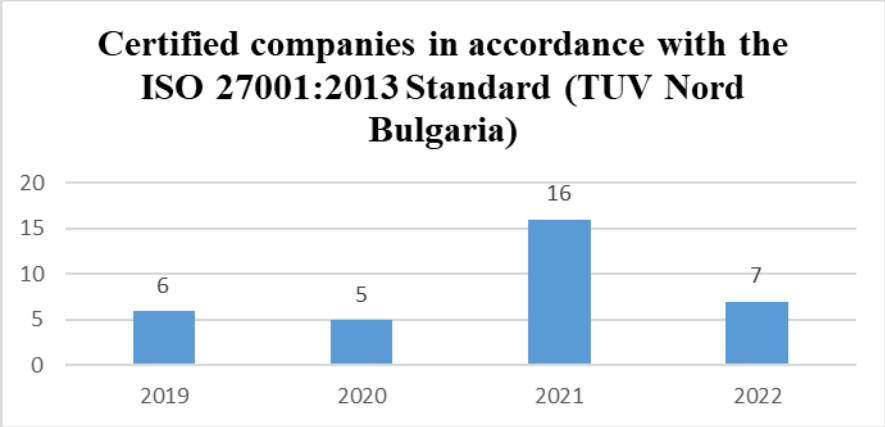


Fig. 10. Certified companies in accordance with the ISO 27001:2013 standard for the last 4 years (according to TUV Nord Bulgaria data as of December 2022)

Business interest is increasing significantly from 5 in 2020 to 17 in 2021 despite the COVID-19 pandemic. The reasons most likely lie in the passing of the peak of the pandemic, the appearance of good prospects for the development of the economy not only abroad but also in our country.

The trend for 2022 is not clearly defined. The decline reported is mainly due to the looming stagnation in the economy, rising energy prices and the impact of the military conflict in Ukraine.

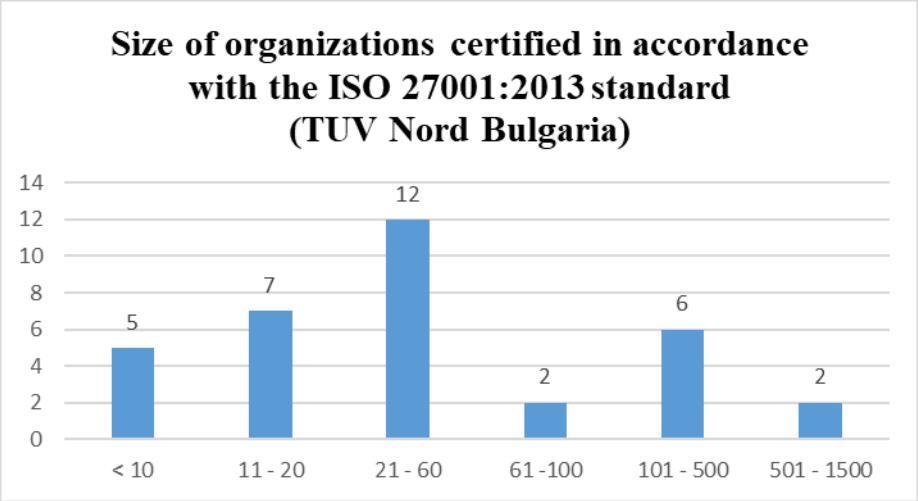


Fig. 11. Size of organizations certified in accordance with the ISO 27001:2013 standard (according to TUV Nord Bulgaria data as of December 2022)

The analysis of the organizations that have implemented the standard shows that the largest share of organizations with employees from 21 to 60 - 12 oragnizations. This is due to several things:

A) sufficient financial resources,

B) available qualified, competent and motivated human resources;

C) processing and maintenance of relatively large (own and/or client-owned) databases.

In next largest share with 6 and 7 organizations respectively, are the organizations with composition (101-500) and (11-20). The reasons are different. The 101-500 group includes organizations that operate in the field of: energy engineering; transport and industry; construction, maintenance and use of a public electronic communication networks and physical infrastructure; waste collection and management. The group (11-20) includes companies engaged in administrative activities; security services; development, delivery, import and maintenance of software products. No sustained trend could be detected.

The group of organizations with a composition of 11 to 21 employees includes organizations that develop computer and Internet technologies, develop software products, develop projects, provide consulting, develop and maintain information security systems, use information technology, trade and marketing, production of intellectual and material products. The analysis shows that this is due to the desire of small companies to improve their competitiveness by demonstrating to clients that they are serious about their information security. To attract clients by ensuring information security of client information resources and confidential databases.

Only two large state-owned companies fall into the group of 501 to 1,500 employees. These companies have a very strong focus on national security and their management (in the face of the government) has recognized the importance of developing and implementing the ISMS in accordance with the standard.

The group "fewer than 10 employees" contains organizations that carry out their activity in the field of: consulting services, developing and implementing information technologies, providing telecommunication services, IT support and hosting. The analysis shows that these are small high-tech companies that provide highly specialized services and have to demonstrate a high level of information security when applying for projects and public procurement.

4. Conclusion

Organizations experience difficulties in building information security management systems and in its certification in accordance with the requirements of the international standard ISO 27001.

Despite the presence of these problems, the modern development of the economy and increasing competition force managers to accept this challenge to achieve sustainable development of the organizations they manage.

5. References

[1]. https://www.iso.org/the-iso-survey.html

[2]. https://www.iso.org/committee/54998.html?t=KomURwikWDLiuB1P1c7SjLMLEAgXOA7emZHKGWyn8f3KQUTU3m287NxnpA3DIuxm&view=documents#section-isodocuments-top

[3]. https://www.itgovernance.asia/iso27001-global-report-2018

[4]. Павлов П., Информационна сигурност. Стандарти от серията ISO 27000 – перспективи и проблеми. ISBN 978-619-91511-9-8, © Publisher: ACCESS Press Publishing house, 2022.

For contacts:
Prof. Eng. Plamen Tz. Pavlov, PhD
Department of General Engineering
High College of Telecommunications and Posts
E-mail: plamen.tz@gmail.com

ИНИЦИАТИВИ, СВЪРЗАНИ С УМНИ РЕШЕНИЯ В ИНТЕЛИГЕНТНИТЕ ГРАДОВЕ

Николай Кр. Николов, Пламен Цв. Павлов

Резюме: За да се превърне един град в интелигентен, са необходими различни умни решения. Те водят след себе си до подобряване на качеството на живота и услугите на жителите на умните градове. В статията се прави преглед и анализ на инициативи, свързани с умни решения в интелигентните градове. Разгледани са различни градове в Европа, Азия и САЩ.
Ключови думи: умни решения, интелигентни градове, инициативи

INITIATIVES RELATING TO SMART SOLUTIONS IN SMART CITIES

Nikolay Kr. Nikolov, Plamen Tz. Pavlov

Abstract: To turn a city into a smart one, different smart solutions are needed. They lead in their wake to the improvement of the quality of services and the lives of the inhabitants of smart cities. The article reviews and analyzes projects related to smart solutions in smart cities. Various cities in Europe, Asia and the USA were explored.
Keywords: smart solutions, smart city, initiatives

1. Въведение

Според оценки на ООН към 2050 година 68% от населението на Замята ще живеят в градове [1]. Дори и сега много мегаполиси по света са пренаселени. Общинските администрации не винаги успяват да се справят със събирането на боклука, при доставката на вода и електроенергия в някои райони има чести прекъсвания и т.н. За да подобрят качеството на предоставяните услуги, администрациите внедряват различни информационни системи. Това е една от най-важните причини за изобретяването на концепцията за "умния/интелигентен град". Липсата на ясна и точна дефиниция на интелигентен град е налице не само в академичните изследвания, но и в емпиричните приложения на интелигентните концепции и проекти [2]. По своята същност „интелигентен град е този, който е в състояние успешно да разрешава множеството публични проблеми чрез решения, базирани на най-новите технологии и чрез партньорства между гражданите, академичните организации, бизнеса, общините и държавната администрация, т.е. между всички заинтересовани страни" [3].

2. Инициативи с умни решения в интелигентните градове

2.1. Европа

Европейската комисия определя, че интелигентният град е „място, където традиционните мрежи и услуги стават по-ефективни с помощта на цифрови решения в полза на неговите жители и бизнеса" [4]. В интелигентния град цифровите технологии не се използват единствено, за да се постигне по-добро използване на наличните ресурси и да се намали вредното въздействие върху околната среда, а за да се осигури създаването на интелигентни мрежи за градски транспорт, модернизиране на съоръжения за водоснабдяване и управление на отпадъци, както и постигане на по-висока ефективност при отопление и осветление на сградите. Цифровите технологии в интелигентните градове позволяват по-

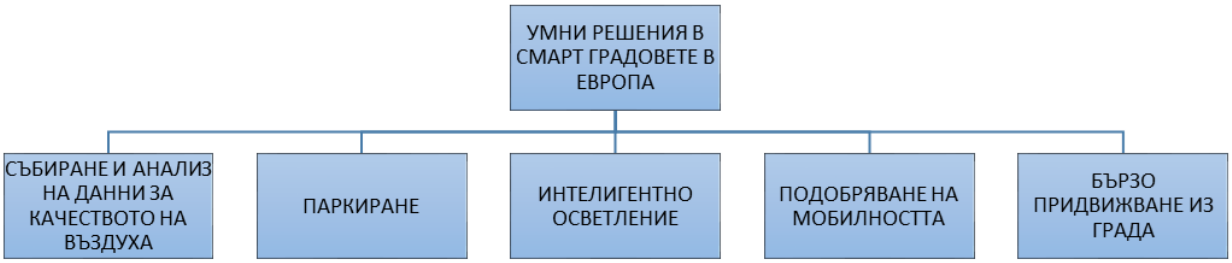
добри обществени услуги за гражданите, по-добро използване на ресурсите и по-малко въздействие върху околната среда. Имайки предвид значението на интелигентните градове, ЕС инвестира в изследвания и иновации в областта на ИКТ и разработването на политики за подобряване на качеството на живот на гражданите и постигане на по-устойчиви градове [5]. Създаването на интелигентни градски технологии е предпоставка за постигане на устойчиво развитие на европейските градове.

Оптимизираното използване на ресурсите и максимизиране благосъстоянието на гражданите са цел на управлението на всички градове в Европа. Въпреки това, ускореното въвеждане на иновации и ефективното използване на нови технологии в предоставянето на обществени услуги отличава няколко от европейските градове като интелигентни.

- Цюрих, Швейцария (превръщане на инфраструктурата в мрежи, поддържащи IoT) – столицата на Швейцария използва мрежа, чрез която се постига практическото реализиране на концепцията за интелигентен град. Създадената мрежа (The Long Range Wide Area Network (LoRaWAN)) събира данни и информация от целия град, включително свързани с качество на въздуха, управление на водата и местата за паркиране. Изпълняваните дейности от правителството и различни държавни администрации се осъществяват чрез анализиране на данни от създадената инфраструктура от множество мрежи, поддържащи IoT.
- Торино, Италия използва приложение за разказване на истории (City Teller), имащо за цел привличане на повече туристи чрез предоставянето на множество информация за града. От 2013 г. до настоящия момент в града се реализират няколко проекта, насочени към мобилност и постигане на устойчивост. City Teller е насочен към туристите, които са основният източник на приходи за града. Чрез използване на съвременни технологии и истории от велики писатели, City Teller допринася за по-високотехнологична и основана на знанието икономика, привличайки туристи с повече доходи [6].
- Барселона, Испания - определя се като дигитален град, поради използваните дигитални решения за стимулиране на местната икономика. Дигитализацията довежда до затруднения в осъществяване на дейността на малки местни предприятия, поради което местната власт взема решение за въвеждане на местна социална валута (REC), която позволява осъществяване на транзакции в общност между лица, институции и фирми, които я приемат. Въвеждането на REC има за цел стимулиране на местната икономика чрез използване функционалностите на съвременните технологии. REC и други интелигентни градски решения (като интелигентно управление на осветлението, интелигентни кофи за боклук и интелигентно управление на местата за паркиране) правят Барселона един от европейските интелигентни градове.
- Копенхаген, Дания - използва свързване на данни за постигане на интелигентен и зелен град. Екологичните предизвикателства на нарастващото градско население в Копенхаген се посрещат чрез непрекъснато сътрудничество между компании и доставчици на знания (известни още като доставчици на данни), които по същество са различни софтуерни компании, предлагащи иновативни технологични решения. Това води не само до по-интелигентен град, но и до по-екологичен. Копенхаген е един от най-добрите примери за интелигентен град, който успешно съчетава екологичните амбиции с технологичните инициативи.
- Сантандер, Испания - увеличава изживяването от посещението на града чрез разработено приложение City App. Методите на плащане и информацията в приложението помагат на гражданите и туристите на Сантандер да се насладят на всички удобства на града и да се възползват от предлаганите услуги. Цялата

информация в Santander се събира от сензори, като информацията се използва за удобно насочване на хората през града, включително пътуване, места за настаняване и хранене, посещение на забележителности и др. Анализите на данните от приложението се използват и от местната власт за социални и икономически анализи, на база които се вземат решения за промяна или предлагане на нови услуги на гражданите и гостите на града. Добрият пример от Сантандер показва практическото приложение от анализа на големи бази от данни, ИКТ и изкуствен интелект [6].

На фигура 1 са дадени обобщените инициативи, свързани с умни решения в интелигентните градове в Европа.



Фиг. 1. Обобщени инициативи, свързани с умни решения в интелигентните градове в Европа

2.2. САЩ

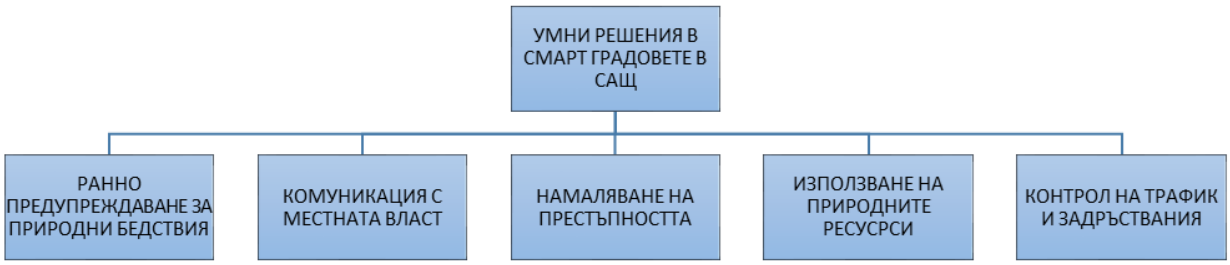
В Америка градските правителства инвестират значителни финансови средства, за да обновят инфраструктурата си и да се възползват от функционалните предимства на IoT, с цел да се обединят различни иновативни проекти от сектори като интелигентно производство, здравеопазване, интелигентна енергия, интелигентен транспорт и реакция при бедствия. Като едни от най-интелигентните градове в страната могат да бъдат определени тези, които инвестират в интелигентни технологии. Примери за такива са:

- Далас (Тексас) – поради факта, че Тексас е сух регион без много валежи, едно от основните предизвикателства на града е управлението на водите. За тази цел градът е въвел интелигентни устройства за наблюдение на водата, които могат да проследяват използването в целия град. Най-важното е, че тези устройства могат да откриват течове, така че водоснабдителният отдел на града да може да ги отстрани незабавно. Интересен факт е, че около 1,7 трилиона галона вода се губят всяка година в САЩ поради течове на вода. Чрез ранно отстраняване на течове Далас подпомага да се предотвратят загуби на десетки хиляди галони вода всяка година.
- Чикаго (Илинойс) – градът използва изкуствен интелект и анализ на големи бази от данни, събирани от различни устройства, за да подобри живота на местното население. Примерите за използване на интелигентни технологии са свързани с автоматично затъмняване на уличното осветление, когато не преминават пешеходци или автомобили; използване на сензори по бреговете на реките за предотвратяване на наводнения; използване на усъвършенстван софтуер, съчетан с охранителни камери за намаляване на престъпността и разпознаване на извършители на престъпления и др.
- Остин (Тексас) – градът се отличава със значително внедряване на съвременни технологии, като една от големите инициативи е свързана с актуализирането на

електрическата мрежа до по-ефективна цифрова измервателна система. Актуализираната електрическа мрежа улеснява включването на възобновяеми енергийни източници, както и зареждането на нарастваща мрежа от електрически автомобили. Други програми включват безплатен Wi-Fi в обществените паркове, както и тестове за 5G в целия град [7].

- *Ню Йорк* – населението на града използва един милиард галона вода на ден. За да получи по-добра представа как точно се използва тази вода, е внедрена система за автоматизирано отчитане на водомерите, за да следи потреблението на вода, както и да се предоставя информация в реално време на жителите на града за тяхното потребление. В допълнение към сензорите за вода, в Ню Йорк са инсталирани стотици други интелигентни сензори, за да се наблюдава всичко – от нивата на отпадъците в кофите за боклук до качеството на въздуха. Стотици павилиони със сензорен екран, също инсталирани по улиците на града, предоставят множество данни на жителите. На кръстовищата в целия град се използват клетъчни рутери, чиято цел е не само да се подобри трафикът, но и да се интегрира технология за свързани превозни средства, за да се подобри безопасността на движението

На фигура 2 са дадени обобщените инициативи, свързани с умни решения в интелигентните градове в САЩ.



Фиг. 2. Обобщени инициативи, свързани с умни решения в интелигентните градове в САЩ

2.3. Азия

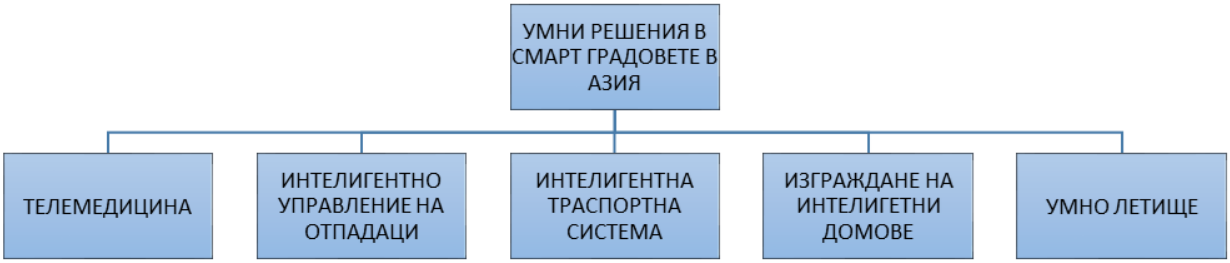
- Хонг Конг, Китай - осъществява редица дейности, за да се превърне в интелигентен град. Интелигентната транспортна система и системата за управление на трафика в града насърчават собствениците или операторите на съществуващи обществени паркинги да предоставят информация в реално време за свободни места за паркиране, като използват технологични решения за улесняване на шофьорите при намирането на места за паркиране. В града са инсталирани около 1 200 сензори за следене на трафика, а от началото на 2021 г. са въведени интелигентни системи за пътна сигнализация със сензори за пешеходци и превозни средства. Автоматични системи за таксуване се използват в повечето от тунелите, а заплащането за използване на обществен градски превоз се осъществява единствено по електронен път, чрез мобилни приложения. За насърчаване на пешеходното придвижване и използването на велосипеди в Хонг Конг се използва приложение за предоставяне на информация за различни пешеходни маршрути в града, предоставяне на безплатен Wi-fi и др. Умното летище в града позволява използване на различни

функционалности на съвременните технологии, сред които технология за лицева биометрия, онлайн чекиране, използване на превозни средства без шофьор от и до летището и др [8]. В града се осъществяват и дейности за изграждане на интелигентни сгради, като проектиране на зелени сгради, осигуряване на интелигентна водомерна система и изграждане на съоръжения за зареждане на електрически превозни средства. За управление на отпадъците Хонг Конг използва устройства за дистанционно наблюдение, за контролиране чистотата на улиците и обществените места, използването на кошчета за рециклиране и определяне на дължима такса от домакинства и фирми на база изхвърлени твърди битови отпадъци. С цел развитието на „умни хора“ Хонг Конг изпълнява редица инициативи, сред които организиране на интензивни програми за обучение по наука, технологии, инженерство и математика (STEM) за ученици и студенти; засилено обучение по информационни технологии (ИТ) на ученици извън обичайната училищна програма; подобряване капацитета за научноизследователска и развойна дейност, както и привличане и задържане на повече ИТ специалисти, особено в биотехнологиите, науките, свързани с големи бази от данни, изкуствения интелект, роботиката и киберсигурността [9].

- Сингапур - определян като един от най-иновативните градове в световен мащаб, поради факта, че градът е задвижван от цифрови иновации и технологии, които отговарят на постоянно променящите се нужди на гражданите. Той е обявен за номер 1 в света по интелигентност за 2023 година [10]. В града-държава населението е едно от най-бързо застаряващите в Азия, поради което правителството на Сингапур поставя създаваните условия на живот на по-възрастното население като приоритет, като се фокусира върху решаването на трите основни проблема на възрастните хора: самота, злополуки у дома и злополуки на улицата. За да се решат проблемите, предприетите дейности включват:

1. Осигуряване на повече време на възрастните хора за пресичане на улицата, чрез въвеждане на интелигентни светофари.
2. Изграждане на интелигентни домове, чрез вграждане на сензори в килими, които позволяват при падане на възрастните хора в дома им да се изпраща информация до личния им лекар и членове на семейството.
3. Задвижвани от изкуствен интелект (AI) „чатботове“ разговарят с възрастни хора, разказват им за дейности в общността и интегрират съобщения, които насърчават здравословния начин на живот.
4. Предоставят се видеоконсултации и срещи в интернет пространството за наблюдаване напредък в лечението, като устройства за носене, базирани на изкуствен интелект, наблюдават напредъка на пациентите и предават данните на техния терапевт чрез безжична мрежа.

На фигура 3 са дадени обобщените инициативи, свързани с умни решения в интелигентните градове в Азия.



Фиг. 3. Обобщени инициативи, свързани с умни решения в интелигентните градове в Азия

3. Заключение

Представен е анализ на инициативите, свързани с умни решения на интелигентните градове по света. Общите умни решения за Европа, Азия и САЩ са интелигентната транспортна система. В Европа, благодарение на технологията 5G и интернет на нещата (IoT), се прилагат умни решения в транспорта за осигуряване на неговата безопасност, надеждност и ефективност, чрез наблюдение на пътната мрежа, осигуряване на връзка между превозните средства с центровете за контролиране на движението и трафика, намиране на места за паркиране и подпомагане заплащането на таксите за паркиране. Също така умни решения намират приложения и в мониторинга на въздуха и интелигентното осветление. В Азия може да се счита, че градовете са „по-интелигентни“ от тези в Европа и САЩ, подари по-големия дял на хората, които въвеждат интелигентни технологии. В САЩ се използва интелигетна система за наблюдение на водата. В обобщение може да се посочи, че изследването на интелигентите градове установява, че развитието им се осъществява по посока решаване на специфичните проблеми за всеки град.

Литература

[1]. DESA. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420); United Nations: New York, NY, USA, 2018.

[2]. Николов, Н., Павлов, Пл.,Теоретични концепции за изграждане на интелигентни градове (Smart city), Годишник на Департамент „Природни науки“ на НБУ, ISSN 2367-6302(CG), с. 30-40, София, 2022 г.

[3]. Hristov D., Za znanieto i inteligentnite gradove [About knowledge and smart cities]: http://knowledgesofia.eu/bg/blog/128-za-gradovete-na-znanieto-i-inteligentnite-gradove

[4]. Smart cities. //European Commission// [онлайн] https://commission.europa.eu/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/city-initiatives/smart-cities_en

[5]. Babinov, G. (2015). Standards for smart cities. //European digital SME alliance// [онлайн] https://www.digitalsme.eu/standards-smart-cities/

[6]. Pelikh, K. (2022). The best smart cities in Europe. [онлайн] https://www.o-city.com/blog/the-best-smart-cities-in-europe

[7]. Locke, J. (2020). Top 12 Smart Cities in the U.S. - Smart Cities Examples 2020. [онлайн] https://www.digi.com/blog/post/smart-cities-in-the-us-examples

[8]. Hong Kong. Smart City Blueprint 2.0. [онлайн] https://www.smartcity.gov.hk/modules/custom/custom_global_js_css/assets/files/HKSmartCityBlueprint(ENG)v2.pdf

[9]. Morningstar, M. (2021). Smart City Hong Kong, China. [онлайн] https://www.aboutsmartcities.com/smart-city-hong-kong/
[10]. https://earth.org/top-7-smart-cities-in-the-world/

За контакти:
д-р инж. Николай Красимиров Николов
катедра „Мениджмънт на съобщенията”
Висше училище по телекомуникации и пощи
E-mail: niki.nikolow87@gmail.com

проф. д-р инж. Пламен Цветанов Павлов
катедра „Мениджмънт на съобщенията”
Висше училище по телекомуникации и пощи
E-mail: plamen.tz@gmail.com

АНАЛИЗ НА ТЕХНОЛОГИЧНА ИНФРАСТРУКТУРА НА ИНТЕЛИГЕНТНИ ГРАДОВЕ

Николай Кр. Николов

Резюме: Технологичните постижения позволяват управление на градовете по интелигентен начин, като сред технологиите за постигане на висока ефективност, освен ИКТ иновациите, приложение намират и технологията 5G, изкуственият интелект и големите бази от данни, както и Интернет на нещата (IoT). В статията се прави преглед и анализ на технологичната инфраструктура на интелигентните градове.
Ключови думи: интелигентни градове, технологии, управление

ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL INFRASTRUCTURE OF SMART CITIES

Nikolay Kr. Nikolov

Abstract: Technological advances intelligently enable the management of cities, and among the technologies for achieving high efficiency, in addition to ICT innovations, 5G technology, artificial intelligence and big data, as well as the Internet of Things (IoT) are also used. The article reviews and analyzes the technological infrastructure of smart cities.
Keywords: smart city, management, technologies

1. Въведение

Урбанизацията се развива изключително бързо в световен мащаб, в следствие наблюдаваната продължителна тенденция за преместване на населението към големите градове. Увеличаването на броя на населението довежда до значителни затруднения в управлението на градовете. Използването на технологии в градовете позволява управление и мониторинг на критично важни инфраструктури като: сгради и пътища, увеличаване броя и качеството на предоставяните услуги на гражданите, подобряване сигурността на града и оптимизиране използването на наличните ресурси. Въпреки наличието на различни концепции, свързани със същността на интелигентния град, изведените основни характеристики са три, а именно: ефективност (по отношение организацията и предоставянето на различни услуги на гражданите), намаляване на замърсяването и използване на иновации (за подобряване на качеството на основните компоненти в града, чрез използване на иновативни технологии с цел предоставяне на по-добри услуги на жителите и организациите) [1]. Технологичната инфраструктура е ключов фактор за създаване на интелигентни градове и постигане на цялостното му ефективно управление.

2. Технологична инфраструктура на интелигентните градове
2.1. Технология 5G

Технологията 5G е безжичната мрежа от пето поколение, която се смята за един от най-важните компоненти за бъдещите умни градове [2]. Основните приложения на 5G технологията са свързани с подобряване на мобилната широколентова връзка и критичните комуникации, както и използването ѝ при интернет на нещата (IoT).

Съществено значение за използването на технологията 5G в градовете има увеличаване на броя на притежаваните мобилни устройства от населението [3]. Възможността за

наблюдение и контрол в реално време позволява на технологията 5G да се справи с различни предизвикателства, пораждани от пренаселеността в градовете. Основните характеристики на 5G включват:

- По-малко нужно време за пренос на данни: 5G осигурява възможност за по-големи трансфери на данни, като свежда до минимум забавянето във времето от момента на изпращане до получаване на данните. Това предоставя възможност за свързаност в реално време, както и за обмен на данни между различни „умни“ обекти, включени в мрежата.
- Повишена свързаност: 5G мобилната мрежова архитектура увеличава капацитета за предоставяне на ресурси, което позволява повече хора и устройства да комуникират едновременно, без да претоварват мрежата.
- Подобрена плътност на връзката: 5G се очаква да побере повече свързани устройства от предишните мрежим като поддържа до 1 милион свързани обекти на квадратен километър [2].

В интелигентните градове технологията 5G намира широко приложение в транспорта за осигуряване на неговата безопасност, надеждност и ефективност чрез наблюдение на пътната мрежа, осигуряване на връзка между превозните средства с центровете за контролиране на движението и трафика, намиране на места за паркиране и подпомагане заплащането на таксите за паркиране [4]. По отношение на градския транспорт безжичната свързаност позволява управление на трафика в реално време, което намалява времето за изчакване на пътниците и позволява по-ефективно използване на наличните транспортни средства. Интелигентните системи за управление на трафика, които използват технологията 5G, позволяват регулиране на задръстванията, което рефлектира и върху намаляване на вредните емисии и подобряване качеството на въздуха в града. Приходите на градовете от паркиране на автомобили се увеличават поради информиране на шофьорите за свободните места в реално време, което намалява и необходимото време за обикаляне на улици и блокиране на движението. Друго приложение на 5G в интелигентите градове е свързано с осигуряването на безопасност на населението чрез използването на мрежа от камери и сървъри за извършване на наблюдение на райони със струпване на хора, предотвратяване на бедствия и намаляване на престъпността. Използването на множество камери с висока разделителна способност, разположени в различни части на града, позволява извършване на наблюдение в реално време, което да се използва за подобряване на обществената безопасност, включително и при издирване на лица, откриване на обекти и др. [5].

Въвеждането на интелигентно осветление в градовете позволява спестяване на енергия и осигуряване на безопасност за населението чрез гарантиране на осветление при придвижване на пешеходци и преминаване на превозни средства. Ако към интелигентното осветление се добави и LED, то ще се постигне намаляване на разходите за поддържане на осветителната градска система. Комбинирането на технологията 5G, Интернет на нещата (IoT) и големите бази от данни подпомага местната власт да се справи в различни извънредни ситуации. Използвайки данни, интелигентните системи осигуряват ефективна помощ за предупреждения на населението, осъществяване на спешна връзка и вземане на решения за осъществяване на дейности, свързани с различни аварии.

В обобщение може да се посочи, че внедряването на технологията 5G в интелигентните градове има множество социално-икономически ползи, сред които подобряване качеството на живот на населението, осигуряване на безопасна среда и по-добра комуникация. Въпреки множеството предимства от използване на технологията 5G в технологичната инфраструктура на интелигентните градове, възникват различни предизвикателства и затруднения, свързани с проблема със захранването на множеството устройства, постигане на ефективност от работата на 5G със съществуващите 4G мрежи, управление на широко разпространените устройства, високите разходи за изграждане и поддържане на 5G мрежа и

др. [6]. Друго затруднение, което може да възникне, е породено от липсата на унифицирани стандарти за градско интелигентно строителство, което ще доведе до невъзможност за предаване на информация между различните системи и споделяне на градски интелигентни ресурси.

2.2. Изкуствен интелект, големи бази от данни и информационни и комуникационни технологии (ИКТ)

Изкуственият интелект е способността да се създаде такъв софтуер, чрез който да се „демонстрира мислене, сравнимо с това на хората, като изкуственият интелект е способен да възприема, анализира и взаимодейства със заобикалящата го среда, да се учи от предишен опит и да решава автономно сложни проблеми без намесата на човека“ [7].

Навлизането на изкуствения интелект чрез развитието на технологиите довежда до създаване на нови перспективи в икономическото развитие, производителността, здравеопазването, индустрията и селското стопанство. Четвъртата индустриална революция, наречена Индустрия 4.0, се превръща в част от организацията на съвременното производство и предоставяните услуги. След Индустрия 1.0 (механизация), Индустрия 2.0 (масово производство) и Индустрия 3.0 (автоматизация), четвъртата индустрия е свързана с дигитализация на процесите и цифрова трансформация на дейностите, увеличаваща конкурентните предимства и повишаваща ефективността на процесите. Дигиталните технологии позволяват справянето с редица измами в интернет, като проверка на клиенти и мониторинг на транзакции и продължават инициативите на предишните индустрии за използване на нови технологии, като изкуствен интелект и роботизация. През последните години приложното поле на изкуствения интелект непрекъснато се увеличава, в следствие развитието на машинното самообучение и увеличаващите се изчислителни мощности.

Неразривно свързани с изкуствения интелект са и големите бази от данни, използвани за вземане на информирани решения. Големите бази от данни имат различни характеристики като изчерпателност, разделителна способност, относителност, мащабируемост и разнообразие. Анализът на големи бази от данни може да се извърши чрез изкуствен интелект, което може да се тълкува като начин за обучение на компютрите да имитират мисловни модели и дори симулиране на човешкото поведение. Големите градове в световен мащаб все повече започват да дигитализират различни дейности и предоставяни услуги, поради което все повече нараства значението на информационните комуникации и технологиите (ИКТ) за управление на градската среда. Използването на технологии позволява на местните власти да събират множество данни по различни въпроси, които да използват за вземане на различни решения и формулиране на адекватни за конкретните ситуации политики. Анализът на големи по обеми данни, свързани с управлението на градовете, може да бъде анализиран чрез използване на изкуствен интелект. Обработката и анализът на данни, получени от различни части на градовете, позволяват планирането както на отделни дейности (например за развитие на квартали), така и изграждане на цялостна система за управление и мониторинг [8].

Интелигентният град се основава на новото поколение информационни технологии. Използвайки информация, комуникационни и други технически средства, данните в града се възприемат, анализират, интегрират и прилагат с цел своевременно, цялостно и ефективно регулиране на различните ресурси на града. Концепцията за големите бази от данни се формира чрез комбиниране на масивни структурирани и полуструктурирани информационни данни, като въплъщава напълно своите предимства при изграждането на съвременна интелигентност. Въз основа на правилата на информационните данни и характеристиките на масивните данни, технологията за големи бази от данни може да направи по-точни прогнози по отношение на бъдещото развитие чрез анализ на информация, свързана с интелигентните градове. В областта на индустрията големите бази от данни позволяват събирането на

огромно количество информация, която след анализ да бъде приложена в индустриалното производство, с цел увеличаване ефективността и извършване на различни дейности за по-кратко време и с по-малко нужни работници. В областта на образованието големите бази от данни могат да бъдат използвани за проследяване образователните постижения на учениците и студентите, необходими за предприемане на различни политики и дейности. В допълнение, учителите могат да изготвят специални учебни планове, според данните за интереса и поведението на учениците, така че да се постигне подобряване качеството на преподаване. В областта на транспорта интелигентният анализ на големите бази от данни може да помогне на гражданите да планират оптималния си маршрут за придвижване, чрез което да се подобри управлението на трафика в града и да се намалят задръстванията. Предимствата на големите бази от данни са свързани и със здравеопазването за откриване на различни заболявания. Функционалните предимства на технологията на големите бази от данни в различни области показват висока им ефективност при извършване на задълбочен анализ и генериране на информация в различни области за вземане на правилни решения при създаване на интелигентни градове [9].

Технологията на големите бази от данни се използва за обработка на данни, а изкуственият интелект - за извличането им. Изкуственият интелект също намира множество приложения в изграждането на интелигентни градове. В областта на транспорта технологията на изкуствения интелект позволява координиране връзките между превозните средства, а в областта на медицинското лечение – медицинските роботи могат да подобрят работната ефективност на болниците, да ускорят изследванията в разработване и приложение на лекарства, поставяне на диагноза чрез медицински изображения и т.н. [10].

Интелигентният град може да бъде определен като място, в което мрежите и услугите стават по-ефективни, благодарение на използването на информационни и комуникационни технологии (ИКТ), в полза на жителите на града, бизнеса и околната среда. В интелигентния град се надхвърля традиционното използване на ИКТ, за да се постигне по-рационално използване на ресурси, подобряване на околната среда и намаляване на емисиите. Практическото реализиране на концепцията за интелигентен град се свързва с оптимизиране на градските транспортни мрежи и движението на превозни средства и хора, подобряване на основните услуги за гражданите като водоснабдяване, газ или енергоснабдяване, преструктуриране и преосмисляне на градското планиране, извършване на много по-ефективно управление на градските отпадъци или намаляване на потреблението на енергия чрез ангажиране с интелигентно осветление в градската обществена среда, както и осигуряване на публично-частно сътрудничество за реализиране на различни дейности.

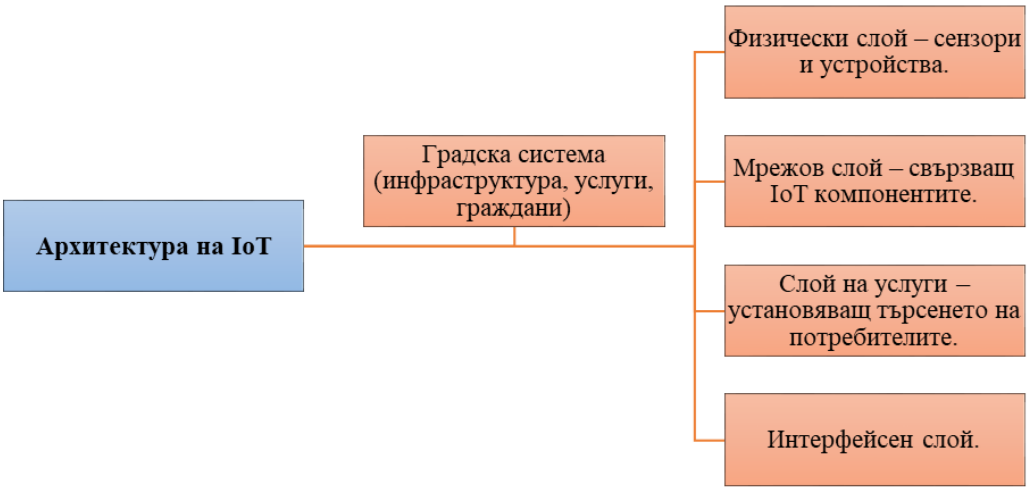
Политиките и инициативите на ЕС, свързани с развитието на интелигентните градове, извеждат различни взаимосвързани аспекти като защита на личните данни, цифров единен пазар, публично достъпни данни, публични обществени поръчки, използване на изкуствен интелект и неговото въздействие върху вземането на решения, въздействие на ИКТ върху настоящия модел на либерална демокрация, участието на гражданите във вземането на решения, приобщаване на хора с увреждания и създаване на дигитална администрация. В концепцията на интелигентния град ясно се очертава разбирането, че вземаните решения, базирани на актуални данни, са по-интелигентни и че градът е пространство, което може да се управлява в реално време, чрез използване на ИКТ [11].

Приложението на ИКТ, големите бази от данни и изкуствения интелект в развитието на интелигентните градове все още са в начална фаза. Изкуственият интелект може да бъде използван в различни аспекти като създаване на интелигентни транспортни системи, в киберсигурността, за енергийно ефективно използване на интелигентни мрежи, за машинно обучение и др. Очаква се използването на изкуствения интелект в градовете да реши значителна част от проблемите, свързани със замърсяването на околната среда и насърчаване използването на възобновяема енергия. Концепцията за интелигентна енергийна градска

мрежа е тясно свързана с въвеждането на променливи възобновяеми ресурси и изместване на зависимостта от изкопаемите горива, като в същото време се поддържа баланс между търсенето и предлагането. Затруднения при изграждането на такива интелигентни мрежи са свързани с управление на търсенето, технологии за съхранение и управление на инфраструктурата в реално време. Изкуственият интелект, заедно с ИКТ и големите бази от данни позволяват прогнозиране на натоварването, оценка на стабилността на електрическата мрежа, откриване на грешки и проблеми със сигурността.

2.3. Интернет на нещата (IoT)

По своята същност Интернет на нещата (IoT) се отнася до свързани с интернет устройства за създаване и/или натрупване на данни, използващи технологии като RFID, сензори, задвижващи механизми и мобилни телефони, чрез които тези устройства могат да комуникират помежду си. По отношение на интелигентните градове, архитектурата на IoT се състои от четири слоя (фигура 1) [12].



Фиг. 1. Архитектура на IoT, свързана с интелигентните градове

Първият слой от архитектурата на IoT, свързана с интелигентните градове, е физическият слой, който използва сензори и устройства за предоставяне на данни и информация от околната среда, както и осигуряване на обмен на данни между устройствата. Вторият слой е „мрежовият слой“, който свързва IoT компоненти чрез кабелни и безжични комуникационни протоколи, за да превърне тези данни в услуги. Третият слой е слоят на услугите, предоставящ различни услуги чрез идентифициране на търсенето на потребителите, включително чрез комбинация от услуги или разработване на нови услуги. Последният слой, „интерфейсният слой“, позволява взаимодействие на гражданите със слоя на услугите [13]. През последните години се наблюдава бързо развитие в използването и приложението на IoT. Технологии и устройства, разработени от Google, Yandex, Amazon, Apple и други компании позволяват на потребителите да пазаруват онлайн, да регулират температура в къщите си, да включват осветление и музика и да дават гласови команди на виртуални асистенти. Компаниите могат да автоматизират процесите и да намалят разходите за труд чрез IoT. Мрежата позволява намаляване количеството на ненужни отпадъци от продукти, подобрява качеството на предоставяните услуги и намалява производствените и логистичните разходи . Създадената масивна мрежа от взаимосвързани устройства покрива различни устройства – от смартфони до кухненски уреди. Посочената тенденция, заедно с непрекъснато намаляващите разходи за мрежи и електроника, допринася за използването на

IoT в развитието на интелигентни градове. IoT позволява въвеждането на нов начин за управление на градската среда с помощта на най-новите технологични постижения.

Като усъвършенствана технология за автоматизация, IoT допринася за подобряване на качеството на живот на гражданите и отговорно развитие на цялата икономика за обществото и околната среда. Като цяло идеята за интелигентен град се корени в различни аспекти, като търговски операции, транспорт и логистика, управление на здравеопазването и управление на туризма, като тези аспекти на интелигентния град могат да се възползват от IoT чрез подобряване на нивото на интелигентност на града, подобряване на взаимодействията между обекти и хора, оптимизиране на използването на обществени ресурси и овластяване бизнеса и гражданите чрез по-добър достъп до информация. Освен това интегрирането на IoT в интелигентен град може да осигури по-добри и по-устойчиви условия на живот за жителите, тъй като технологията има потенциала да минимизира отрицателните въздействия върху околната среда и човешкото здраве и да насърчи екологичната устойчивост чрез намаляване на въглеродните емисии, потреблението на енергия, трафика и влошаването на инфраструктурата.

Данните, събирани от IoT, позволяват на местната власт вземане на информирани решения, както и повишаване осведомеността и насърчаване на гражданите за участие в различни обществени дейности. За да се реализира пълният потенциал от приложението на IoT за развитие на интелигентни градове, е необходимо ангажирането на всички заинтересовани страни (местна власт и граждани) за осигуряване на подкрепа от тяхна страна чрез повишаване на осведомеността им за ползите от използване на технологии, с цел постигане на екологична и устойчива градска среда [14]. Към настоящия момент данните от цифровите градски информационни системи все още са твърде статични, като не анализират данни от множество източници, за да подпомогнат процеса на вземане на решения, свързани с управлението на градската среда. Структурата на данните от множество източници не може да отговори на необходимостта от информация в реално време, поради което един от ключовите моменти за изграждането на интелигентен град е интегрирането на разнородни градски данни от множество източници.

3. Заключение

Представен е анализ на технологичната инфраструктура на интелигентните (Smart) градове. Интелигентният град е един от компонентите на цифровата икономика, което предполага цялостно въвеждане на ИКТ в процесите на управление на града. Интелигентните градове ще могат да постигнат целите си, само ако активно използват цифрови технологии за виртуална/разширена реалност, интернет на нещата, AI, блокчейн и др. Тези технологии са мощни инструменти за ускоряване на положителните промени в социалната инфраструктура на града, които включват по-висока плътност на достъпни жилища; засаждане на градска зеленина за намаляване на въглеродните емисии; създаване на привлекателни обществени пространства, които насърчават изкуството, музиката, спорта и други социални дейности; изграждане на иновативни училища, които обединяват поколенията.

Литература

[1]. Carli, R. Dotoli, M. Pellegrino, R. Ranieri, L. (2013). Measuring and managing the smartness of cities: A framework for classifying performance indicators. //Proceedings of the IEEE international conference on systems, man, and cybernetics (SMC), IEEE// pp. 1288-1293.

[2]. Agiwal, M. Roy, A. Saxena, H. (2016). Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey //IEEE Communications Surveys & Tutorials// 18 (3), pp. 1617-1655. [онлайн] DOI: 10.1109/COMST.2016.2532458.
[3]. Setyawan, R. Rahayu, A. Annisa, A. K. Amiruddin, A. (2020). A brief review of attacks and mitigations on smartphone infrastructure. //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering// 852, p. 012141. [онлайн] DOI: 10.1088/1757-899X/852/1/012141
[4]. Sharif, A. Guo, J. Ouyang, J. Sun, S. Arshad, K. Imran, M. Abbasi, Q. (2019). Compact base station antenna based on image theory for UWB/5G RTLS embraced smart parking of driverless cars //IEEE Access//, 7. [онлайн] https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8931576
[5]. Rao, S. Prasad, R. (2018). Impact of 5G technologies on smart city implementation. //Wireless Personal Communications// 100 (1), pp. 161-176
[6]. Phan, A. Qureshi, S. (2017). 5G impact On Smart Cities. //Project 5G Communications// pp. 1-8. [онлайн] https://www.researchgate.net/publication/315804922_5G_impact_On_Smart_Cities
[7]. Антонова, К. Иванова, П. (2021). Роботизацията и изкуственият интелект – нов модел на сътрудничество и/или взаимодействие между машините и хората на работното място. //Човешки ресурси & Технологии// Бр. 1, с. 65
[8]. Allam, Z. Dhunny, Z. (2019). On big data, artificial intelligence and smart cities. //Cities// Volume 89, pp. 80-91. [онлайн] https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264275118315968
[9]. Zhong, Y. Sun, L. Ge, C. (2021). Key Technologies and Development Status of Smart City. //Journal of Physics: Conference Series// 1754, p.3. [онлайн] https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1754/1/012102/pdf
[10]. Lee, C. Choy, K. Ho, G. Lam, C. (2016). A slippery genetic algorithm-based process mining system for achieving better quality assurance in the garment industry. //Expert Syst. Appl.// 46, pp. 236-238
[11]. Ruiz, F. (2020). Smart Cities, Big Data, Artificial Intelligence and Respect for the European Union Data Protection Rules. //European Journal of Formal Sciences and Engineering// Volume 3, Issue 2, p. 107-108. [онлайн] https://revistia.org/files/articles/ejfe_v3_i2_20/Ruiz.pdf
[12]. Shahrour, I. Xie, X. (2021). Role of Internet of Things (IoT) and Crowdsourcing in Smart City Projects. //MDPI// 4(4), pp. 1276-1292. [онлайн] https://www.mdpi.com/2624-6511/4/4/68
[13]. Shahrour, I. Xie, X. (2021). Role of Internet of Things (IoT) and Crowdsourcing in Smart City Projects. //MDPI// 4(4), pp. 1276-1292. [онлайн] https://www.mdpi.com/2624-6511/4/4/68
[14]. Boulos, M. Al-Shorbaji, N. (2014). On the Internet of Things, smart cities and the WHO Healthy Cities. // International Journal of Health Geographics// Issue 10. [онлайн] https://ij-healthgeographics.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-072X-13-10

За контакти:
д-р инж. Николай Красимиров Николов
катедра „Мениджмънт на съобщенията”
Висше училище по телекомуникации и пощи
E-mail: niki.nikolow87@gmail.com

МЕТОДИ ЗА ЗАЩИТА НА ИНТЕЛИГЕНТНИ ТРАНСПОРТНИ СРЕДСТВА С ИЗПОЛЗВАНЕ НА ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ

Айдън М. Хъкъ, Мариета М. Йорданова

Резюме: През последните години активно се развиват и разпространяват автономните превозни средства. Изкуственият интелект заема основна роля в развитието на автоматизацията при такива превозни средства. Важен аспект от безопасната работа на изкуствения интелект е сигурността. В тази статия са представени нивата на автономност, методите за обучение, уязвимостите и заплахите, както и защитата на автономните превозни средства с изкуствен интелект. От разгледаните проучвания става ясно, че през последните години се набляга на реализиране на защита срещу кибератаки към автономни превозни средства с възможностите на изкуствен интелект.
Ключови думи: автономни автомобили, изкуствен интелект, защита

Security Methods for Intelligent Transportation Systems with Artificial Intelligence

Aydan M. Haka, Marieta M. Yordanova

Abstract: Autonomous vehicles have been developing and spreading rapidly in recent years. The development of automation in such vehicles relies heavily on artificial intelligence. It is essential to ensure the safety of artificial intelligence during its operation. This article presents the levels of autonomy, training methods, vulnerabilities, threats, and the protection of autonomous vehicles with artificial intelligence. Based on the research presented, it appears that artificial intelligence is being used to implement protection against cyberattacks on autonomous vehicles. The studies reviewed indicate that in recent years, cyberattacks have become a growing concern for autonomous transportation vehicles and artificial intelligence has been used to protect them.
Keywords: autonomous vehicles, artificial intelligence, security

1. Увод

В съвременното ежедневие все по-широко навлизат различни комуникационни и информационни технологии, свързани с Big Data, Blockchain, Internet of Things, автоматизация в различни области и др. Целта на комуникационните и информационните технологии е осигуряване на високоскоростна, надеждна и безотказна среда за предаване на данни между свързаните устройства на големи разстояния [1].

Автомобилната индустрия е една от областите, в които съвременните комуникационни технологии се използват за бързо, сигурно и надеждно предаване на данни, осигуряващи безопасното превозване. Те намират най-голямо приложение в електрически превозни средства като леки и товарни автомобили, железопътни транспортни средства и др. [2].

Съвременните превозни средства са все по-оборудвани с механизми за автоматизация, които са предназначени да подпомагат или заместват шофьорите за повишаване безопасността на участниците в движението. Тази тенденция води до разработване на ново поколение автономни превозни средства като автомобили, камиони или автобуси, които могат да се движат с ограничена човешка намеса. Развитието на изкуствения интелект дава възможност за навлизането и усъвършенстването на такива способности в съвременните превозни средства. Автономните превозни средства от нива 4 и 5 (таблица 1) се разработват активно от технологични компании и производители на автомобили, въпреки несигурността в бъдещата комерсиализация.

Таблица 1. Нива на автономност

Ниво 0	Ниво 1	Ниво 2	Ниво 3	Ниво 4	Ниво 5
Без автоматизация	Помощник шофьор	Частична автоматизация	Условна автоматизация	Високо ниво на автоматизация	Пълна автоматизация
Шофьорът следи средата на движение			Средата на движение се следи от автоматизирана система за шофиране		

На пазара вече се предлагат превозни средства от по-ниски нива на автономност, които осигуряват усъвършенствани системи за подпомагане на водача (Advanced Driver-Assistance Systems), като някои от тях са базирани на изкуствен интелект. При случай, че помощните функции се управляват под човешки надзор, те трябва да предоставят достатъчни гаранции по отношение на безопасността и киберсигурността.

Автономното шофиране представлява приложение с висок риск, при което неизправностите и кибератаките могат да причинят проблеми с безопасността. Автономните превозни средства са кибер-физически системи, работещи в особено предизвикателни среди. Те са оборудвани с усъвършенствани системи за възприятие и планиране, способни да разпознават пътна маркировка (лента, знаци и т.н.), участници в движението (превозни средства, велосипедисти, пешеходци и т.н.), обекти и да предприемат необходимите действия (ускоряване, спиране, завиване и т.н.). Тези възможности разчитат на сложни цифрови системи и софтуер, захранван от технологии с изкуствен интелект, като машинното обучение и дълбокото обучение, имат основна роля.

Тези технологии, съчетаващи математическо моделиране, усъвършенствани алгоритми, голям обем от данни и огромна изчислителна мощност, непрекъснато подобряват възможностите на автономните системи за вземане на самостоятелни решения. Технологиите за машинно обучение се превръщат в ключов фактор за възприемане и планиране на задачи, усещане и осмисляне на околната среда и определяне траекторията на превозното средство и действията (ускоряване, завиване и т.н.) за постигането ѝ, като същевременно се гарантира безопасно движение в съответствие с човешките ценности.

Въпреки че машинното обучение достига безпрецедентни нива на производителност през последните години, има ограничения по отношение на устойчивостта, които могат да подложат системите на различни уязвимости и проблеми. Важно е да се имат предвид заплахите, внесени от технологиите за изкуствен интелект в автономните превозни средства, и да се интегрират техните особености в процедурите за тестване, съобразени с текущите изисквания за безопасност и сигурност. Откриването и предотвратяването на тези проблеми е от решаващо значение за създаване на доверие за безопасността и надеждността на високотехнологичните продукти [3].

2. Изкуствен интелект при автономно шофиране

Машинното обучение (Machine Learning) е ядрото на изкуствения интелект, което капсулира контролирано (Supervised Learning), неконтролирано (Unsupervised Learning) обучение и обучение с подсилване (Reinforcement Learning). Дълбокото обучение (Deep Learning) от друга страна е комплекс от всички технологии за обучение (фигура 1) [4].

Машинно обучение - обхваща по-голямата част от областта на изкуствения интелект. Услугите на машинното обучение са толкова широко използвани, че изкуственият интелект се свързва с машинно обучение. В основата си компютърът с машинно обучение се обучава от входния поток от данни. Машинното обучение се използва широко при автономно шофиране, като намиране на най-доброто пътно състояние, вземане на решения за извънредни ситуации и наблюдаване на околната среда.

Фиг. 1. Изкуствен интелект и неговите подобласти

Контролирано обучение – представлява конкретен клон на машинното обучение, чиито алгоритми работят върху даден набор от данни. Това обучение може да бъде разделено на две подкатегории:

- регресия – при такова обучение наборът от данни се състои от непрекъснати стойности. Най-често използваните регресионни алгоритми са Gaussian Process Regression и Support Vector Regression;
- класификация – при такова обучение наборът от данни се състои от дискретни стойности. Например, алгоритъмът за класифициране на V2X комуникация може да е необходим, когато има нужда да се класифицират крайпътни препятствия, които обикновено са пешеходци, пешеходни пътеки или електрически кули. Известните алгоритми за класификация са Decision Tree и Random Forest Tree.

Неконтролирано обучение – основава се на необособени данни. Алгоритмите за неконтролирано обучение са относително по-сложни от алгоритмите за контролирано обучение. Пример за неконтролирано обучение е намирането на скрити променливи, представени чрез Bayesian технологии за обучение. K-mean и Hierarchal clustering са някои често използвани алгоритми за неконтролирано обучение.

Обучение с подсилване – ученето се извършва с награди на обучаващия агент. Процесът на вземане на решения на Mockove е пример за обучение с подсилване. То се наблюдава активно в изследователската област на V2X комуникация, особено в областта на кибер сигурността. Алгоритмите за обучение с подсилване може да се използват в определяне траекторията на автономни превозни средства.

Дълбоко обучение - набор от всички разгледани технологии, а в основата си работи върху невронни мрежи. Основната идея е по-дълбока невронна мрежа, която да обучи компютъра да работи като човешкия мозък. Някои стандартни невронни мрежи са изкуствени невронни мрежи (Artificial Neural Networks) и конволюционни невронни мрежи (Convolutional Neural Networks). Всяка невронна мрежа се състои от различни слоеве, които работят за трансформационни функции като sigmoid, tanh, ReLU и leaky-ReLU. Методите за дълбоко обучение се използват широко във V2X комуникацията.

3. Основни заплахи за сигурността и поверителността на автономните превозни средства

Автономните превозни средства предоставят нови възможности за хакери и злонамерени участници да реализират различни успешни кибератаки, които могат да доведат до катастрофални инциденти и да причинят големи проблеми с безопасността. Основните мотиви на тези атаки са да се получи отдалечен контрол над автономното превозно средство, да се открадне важна и поверителна информация, която може да се използва за стартиране на допълнителни атаки или да се прекъсне работата му чрез повреждане на важни компоненти (Radar, LiDAR, ECU, CAN шина и др.) и правят режима на автономно шофиране недостъпен [5, 6].

Атаки, базирани на манипулация на данните - целта на тези атаки е да се получи неоторизиран достъп до автономните превозни средства, за да се компрометира целостта на данните и да се наруши поверителността на потребителите. Такива атаки са Man-in-the-middle, injection, tampering.

Атаки за компрометиране на идентичност – всяко автономното превозно средство се идентифицира с уникален идентификатор, който може да помогне за разпознаването на автономното превозно средство и обменените съобщения. Атаките за компрометиране на идентичност са едни от най-сериозните заплахи. Те фалшифицират самоличността, като по този начин се получава достъп до компонентите на превозното средство. Това позволява да се манипулира и изпрати фалшифицирана информация през комуникационните канали. Така се нарушава работата на превозното средство и потока на трафика. Тези атаки са насочени главно към компоненти, които нямат силни методи за удостоверяване, като CAN и сигнали за сензори. Най-критичните кибератаки в тази категория са: spoofing, impersonation, Sybil, replay атаки и Passcode and Key атаки.

Атаки, базирани на услуги - основната цел на тези атаки е да прекъснат операциите на автономните превозни средства или да нарушат трафика. Тази категория включва атаките: Denial of Service (DoS), Distributed DoS, Jamming, Routing, Sensor Blinding атаки, Spam атаки.

Софтуерно базирани атаки - включват зловреден софтуер, ransomware атаки, атаки на мобилни приложения и атаки срещу системата за машинно обучение.

Защитата от атаки срещу машинното обучение и дълбоките невронни мрежи са от съществено значение при автономните превозни средства за обработка на сензорни данни и вземане на решения на различни нива. Въпреки това тези технологии са уязвими на няколко атаки, които се опитват да манипулират системата за обучение и да я накарат да произведе неправилен резултат. Най-известните атаки са poisoning, trojaning, backdooring и препрограмиране. Атаката poisoning е насочена към данните, използвани за обучение на системата, чрез въвеждане на „отровени“ данни в набора за обучение. При атака trojaning, нападателите все още нямат достъп до първоначалния набор от данни, но въпреки това имат достъп до прогнозния модел и неговите параметри и могат например да преобучат този модел. Backdooring е нов клас атаки срещу дълбоките невронни мрежи, които комбинират „отравяне“ и trojaning. Нападателите обаче не само инжектират допълнително злонамерено данни, но го правят по такъв начин, че backdooring да работи след повторно обучение на системата. Атаките с препрограмиране се основават на отдалечено препрограмиране на алгоритмите на невронната мрежа с използване на добре изработени смущения на входните данни.

4. Киберсигурност в изкуствения интелект при автономно шофиране

Модерните превозни средства са оборудвани с все по-голям брой цифрови системи и мрежова свързаност, за да предложат интелигентни функционалности и безпроблемна

интеграция в съвременните технологии. С усъвършенстване технологиите на превозните средства се увеличава рискът от злонамерени хакерски атаки. Заради това автономните превозни средства трябва да бъдат правилно защитени, за да се намали рискът за безопасността, причинен от злонамерени действия [7].

Нарастващото навлизане на технологиите с изкуствен интелект в превозните средства предизвиква тази тенденция, внасяйки допълнителна сложност към стандартните софтуерни компоненти. По-сложната и по-голямата цифрова екосистема в превозните средства значително повишава предизвикателства пред киберсигурността, особено като се има предвид потенциалното въздействие, което може да има една кибератака, ако основните функционалности на превозното средство бъдат компрометирани. През 2014 г. изследователите по сигурността за първи път демонстрират как цифровите системи на добре познат модел превозно средство, продавано по целия свят, могат да бъдат атакувани използвайки интернет, за да поемат дистанционно управление над превозното средство и да причинят катастрофа.

Включването на по-усъвършенствани компоненти с изкуствен интелект в по-високи нива на автономност допълнително усложнява ситуацията, като въвежда нови потенциални уязвимости, чието злонамерено използване може да причини целенасочено нарушение и вреда. През последните години се наблюдава нарастващ набор от изследвания и практически примери, подчертаващи нови атаки срещу системи за машинно обучение.

Основните видове атаки включват:

- evasion attacks и adversarial examples, които се състоят от предоставяне на специално изработени входни данни, водещи до грешни класификации и поведения;
- data poisoning, което се състои в подправяне на данните за обучение на системи за машинно обучение.

Други атаки срещу модела за изкуствен интелект или данните за обучение са предназначени за извличане на параметри на модела или данни, използвани във фазата на разработка на моделите, с потенциални рискове за поверителността, търговските тайни и целостта на системата.

Досега adversarial examples се считат като основна заплаха за автономните превозни средства, тъй като повечето подсистеми за следене на околната среда разчитат на базирани на дълбоко обучение модели, за които е известно, че са силно податливи на този вид атаки. Тези атаки може да се случат в околната среда, възприемана от сензорите. Въпреки че подобни кибератаки може да са трудни за изпълнение, примери за успешни опити срещу търговски превозни средства в реални условия са демонстрирани в контролирани среди. Това включва например подвеждане на системите за разпознаване на пътни знаци чрез поставяне на стикери върху знаците, карайки автономните превозни средства да ускоряват над ограничението на скоростта. Тези видове атаки могат да бъдат настроени без познаване вътрешния дизайн на системите с изкуствен интелект, чрез получаване на достъп до комуникационната система и наблюдение на изходите на компонентите с изкуствен интелект.

Друга важна заплаха за автономните превозни средства идва от отравянето на данни, тъй като е много обичайно системите с изкуствен интелект да се актуализират с нови данни, за да станат по-точни с течение на времето. Атакуването на комуникационните канали между превозните средства и производителите може да позволи на противника да инжектира повредени данни в етапа на обучение на превозните средства, което води до промяна на компонентите на изкуствения интелект, които могат да бъдат внедрени в голям мащаб чрез безжични актуализации.

5. Защита на автономни превозни средства

Изкуственият интелект играе важна роля при осигуряване на защита при автономните превозни средства. Смята се, че все още изкуственият интелект е далеч от „вродено“ безопасен такъв. Затова изследванията се фокусират върху практически решения за машинно обучение с различни стратегии за безопасност като:

- Безопасен отказ (Safe Fail) се отнася до стратегии за поддържане на превозното средство на пътя в безопасно състояние по време на повреда. Тази стратегия може да намали опасностите по време на повреда чрез използване на функции за наблюдение и планове за плавно отстъпване, като например уведомяване на водача да поеме контрола над превозното средство. Възможно е да се използват технологии за откриване на грешки по време на работа, за да се открие грешен резултат от алгоритми за машинно обучение (неправилно класифициране и неправилно откриване) за превозното средство на пътя;
- Безопасни граници (Safety Margins) в контекста на машинното обучение се описват като разлика между производителността на модела при тренировъчен набор и оперативната производителност. Възможно е да се използват технологии за устойчивост на модела, за да се подобри устойчивостта и следователно границата на безопасност на компонентите за машинно обучение [8].

Оценка на несигурността - дори добре обучени и калибрирани предиктори, които са устойчиви на шум, повреда и смущения, могат да се възползват от оценката на несигурността. Количествената несигурност може да обясни това, което моделът не „знае“ по отношение на достоверността в неговата прогноза (епистемична несигурност или несигурност на модела).

Детектори за грешки в разпространението - грешната класификация на извадките често се случва поради слабо представяне на обучение. През последните години усъвършенстваните невронни мрежи, технологиите за регулиране и големите набори от данни за обучение значително подобряват обучението за представяне на дълбоки невронни мрежи и следователно производителността и устойчивостта на модела. Въпреки това все още са необходими детектори за прогнозиране на грешки по време на изпълнение, за да се поддържа безопасността на системата в случай на повреда на модела. Селективната класификация (известна също като класификация с опция за отхвърляне) е техника за предпазливо предоставяне на прогнози с висока степен на сигурност. Този метод за достоверно прогнозиране може значително да подобри производителността на модела.

Детектори за грешки извън разпространението - извадка извън разпространението (Out-of-distribution - OOD) или отклонение се отнася до входящи данни, които са извън нормалното разпределение на обучението. OOD грешка се отнася до грешка в машинното обучение при неправилно класифициране на модела. Примери за това при автономните превозни средства включват уникални, необичайни или неизвестни пътни знаци, пътни маркировки, сценарий, който или не е бил включен в набора за обучение, или моделът не е успял да научи (поради дисбаланс на класа) по време на тренировъчен процес.

Устойчивост на алгоритъма - практично решение за безопасност на машинното обучение използва технологии за устойчивост, за да подобри границите на безопасност на моделите за машинно обучение в автономни превозни средства. Технологиите за устойчивост в изследванията на машинното обучение подобряват устойчивостта на алгоритмите към естествени повреди и смущения.

Устойчивост на повреда и смущения – смущения, които не са предизвикани от хакерски атаки и повреда на данните, обикновено съществуват в настройките за реалния свят. Сравнителният анализ на устойчивостта на дълбоките невронни мрежи към повреда и смущения показва, че моделите на машинно обучение проявяват неочаквани грешки при

прогнозиране на прости смущения. Постигането на устойчивост на модела срещу повреди, които са предизвикани от околната среда и смущения на сензорите, изисква технологии за подобряване устойчивостта на модела над чисти набори от данни.

В [6] е представена класификация по категории за осигуряване на защита при автономни превозни средства. Тази класификация включва три основни категории:

- Архитектура за защита на автономността;
- Система за откриване на нарушения;
- Изкуствен интелект с Big Data.

Изкуственият интелект и BigData намират приложение в автономните превозни средства, като те представляват важен аспект от изследванията за сигурността. Съществуват множество научни публикации в тази област, като част от тях са представени в Таблица 2.

Таблица 2. Изследвания, свързани със защита с използване на изкуствен интелект

Категория на защита	Автори	Година	Експерименти и подходи
Дълбоко обучение	Madhav, A.V.S., Tyagi, A.K. [9]	2023	Въвежда се Explainable Artificial Intelligence, който има за цел да обедини процесите на вземане на решения на системите за автономни превозни средства.
Невронни мрежи	Koyel Datta Gupta, Deepak Kumar Sharma, Rinky Dwivedi, Gautam Srivastava [10]	2023	Представя се йерархична дълбока невронна мрежа като решение за откриване на нарушения.
Машинно обучение	Junaid Sajid, Bareera Anam, Hasan Ali Khattak, Asad Waqar Malik, Assad Abbas, Samee U. Khan [11]	2023	Определя се поведението на управляващите модели, когато са изправени пред физическа adversarial атака.
	R. Sankaranarayanan, K.S. Umadevi, NPG Bhavani, Bos Mathew Jos, Anandakumar Haldorai, D. Vijendra Babu [12]	2022	Предложена е техника, базирана на процедури за машинно обучение.
	Elies Gherbi [13]	2021	Разработване на интелигентна система за откриване на нарушения в превозно средство (IDS).
Невронни мрежи/Дълбоки невронни мрежи	Máté Zöldy, Zsolt Szalay, Viktor Tihanyi [14]	2020	Предлага се последователност от решения за сигурност при тестване на автономни превозни средства.

В [9] се представя решение с използване на изкуствен интелект, който има за цел да обедини процесите на вземане на решения на системи за автономни превозни средства. Извършва се сравнителен количествен и качествен анализ, за да се сравнят симулациите на Explainable Artificial Intelligence и интелигентни системи на превозни средства, за да се представи постигнатото развитие. Като част от проучването са представени визуални обяснителни методи и класификатор за откриване на нарушения.

В [10] се разработва модел за откриване на нарушения, който може да се изпълнява на устройства от нисък клас, с нисък капацитет на обработка и памет. Този модел може да

предотврати заплахи за сигурността и да защити мрежата на превозното средство. Представя се йерархична дълбока невронна мрежа като решение за откриване на нарушения и гарантиране на сигурността на автономните превозни средства както на възлите, така и на мрежата. Предложеното решение има много нисък коефициент на фалшиви резултати, което гарантира нисък процент на пропускане на нарушения в комуникацията.

В [11] се цели да се определи поведението на управляващите модели, когато са изправени пред физическа adversarial атака. Анализирани са някои adversarial атаки и защитни механизми срещу тях за определени модели на автономно шофиране. Предложени са четири защитни стратегии срещу пет adversarial атаки и е идентифициран най-устойчивият защитен механизъм срещу всички видове атаки. Support Vector Machine и невронната регресия са двата модела за машинно обучение, които се използват за категоризиране на предизвикателствата за обучението на модела.

В [12] е предложена техника, базирана на процедури за машинно обучение. Конструирани са два клъстерни модела, които са съчетани с три модела на конволюционни невронни мрежи. Целта на моделите е определяне на оптималното време за работа и осигуряване на стабилност, за преодоляване на различни проблеми, включително такива свързани със сигурността.

В [13] се цели разработване на интелигентна система за откриване на нарушения в превозно средство (IDS), използваща машинно обучение, която отговаря на ресурсните ограничения. Основният аспект е върху сигурността на комуникацията в автомобила. Провежда се емпирично проучване, за определяне основните нужди и ограничения, които системите в автомобила изискват.

В [14] се предлага решение за сигурност на критични системи на автономни превозни средства с използване на невронни мрежи. Според предложението внедрената в автономното превозно средство невронна мрежа се препоръчва да се обучава от генерирания в реално време поток от данни, което ще осигури безопасни решения.

6. Стандарти и разпоредби за сигурност и изкуствен интелект

През август 2021г. организациите за стандартизация ISO и SAE публикуват съвместно стандарта ISO/SAE 21434 за пътни превозни средства – Cybersecurity engineering. Този стандарт определя различни инженерни изисквания за управление на риска за киберсигурността на пътни превозни средства, включително много от техните компоненти и интерфейси. Друг стандарт, SAE J3061, предоставя насоки и установява принципи на високо ниво, свързани със сигурността. Има нужда от разработване на подобни стандарти във всички подсистеми на превозни средства и от насърчаване на OEM и Tier-N доставчици да ги приемат. Липсата на регулации, ориентирани към киберсигурността, позволява на автомобилните производители днес да имат по-малко изисквания, свързани със сигурността. През 2020г. световният форум за актуализиране на разпоредбите за превозни средства (WP. 29) на Икономическата комисия за Европа на ООН (UNECE) прие два нови регламента, които задължават всички производители на автомобили в договарящите се държави да приемат системи за управление на киберсигурноста (Cybersecurity Management Systems) и софтуер за актуализиране на системие за управление (Software Update Management Systems) до юли 2022г.

С нарастващото навлизане на алгоритми с изкуствен интелект в съвременните превозни средства, нараства и нуждата от регулации за разработване на системи с изкуствен интелект. През април 2021г. Европейската комисия въвежда първата по рода си правна наредба относно изкуствения интелект за намаляване на опасностите от „високорискови“ приложения с изкуствен интелект. Въпреки че тази наредба не се концентрира конкретно върху автономните превозни средства, това дава възможност за развиване на идеи свързани

със сигурността на автономните превозни средства. Освен това има нужда от повече правни разпоредби относно катастрофи и други злополуки, причинени от решения за шофиране, взети от алгоритми, използващи изкуствен интелект в автономни превозни средства. Необходимостта от това е подчертана през 2018г., когато тестването на автономно превозно средство на компания за споделено пътуване довежда до фатална катастрофа. Компанията не е изправена пред никаква наказателна отговорност, но спира тестването на автономните превозни средства [15, 16].

7. Заключение

В настоящото изложение е представено приложение на изкуствения интелект в областта на автономните превозни средства. Разгледани са нивата на автономност, методите за обучение, уязвимостите и заплахите, както и защитата на автономните превозни средства с изкуствен интелект. Навлизането на изкуствения интелект в съвременния свят предизвиква затруднения, свързани със сигурността и поверителността на данните. Въпреки това множество изследвания представят различни подходи и методи за реализиране на защита от кибератаки, които се базират на възможностите на изкуствения интелект. Публикуваните стандарти и разпоредби, свързани с изкуствения интелект и неговата сигурност, внасят регулации за работата му и са предпоставка, че тези технологии се внедряват активно през последните години и тази тенденция ще продължи в бъдеще.

Благодарности

Изследванията, резултатите от които са представени в настоящата статия, са проведени по научен проект на ТУ-Варна „Изследване на модели, методи и алгоритми от машинно обучение за решаване на задачи в социалнозначими сфери“, който се финансира от държавния бюджет.

Литература

[1]. Ericsson Mobility Report, June 2023, https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report, последно посетен на 03.08.2023.

[2]. Technology Convergence is Enabling the Automotive Internet of Things (IoT), Report, January 2022, ID: 5533478, https://www.researchandmarkets.com/reports/5533478/technology-convergence-is-enabling-the, последно посетен на 03.08.2023.

[3]. Khayyam, H., Javadi, B., Jalili, M., Jazar, R.N. (2020). Artificial Intelligence and Internet of Things for Autonomous Vehicles. In: Jazar, R., Dai, L. (eds) Nonlinear Approaches in Engineering Applications. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-18963-1_2.

[4]. Bharatwaja Namatherdhala, Noman Mazher and Gopal Krishna Sriram. Uses of artificial intelligence in autonomous driving and v2x communicatio, in International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science, Volume:04, Issue:07, July-2022, e-ISSN: 2582-5208.

[5]. G. Bendiab, A. Hameurlaine, G. Germanos, N. Kolokotronis and S. Shiaeles. Autonomous Vehicles Security: Challenges and Solutions Using Blockchain and Artificial Intelligence, in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 24, no. 4, pp. 3614-3637, April 2023, doi: 10.1109/TITS.2023.3236274.

[6]. Kyounggon Kim, Jun Seok Kim, Seonghoon Jeong, Jo-Hee Park, Huy Kang Kim. Cybersecurity for autonomous vehicles: Review of attacks and defense, in Computers & Security, Volume 103, 2021, 102150, ISSN 0167-4048, https://doi.org/10.1016/j.cose.2020.102150.
[7]. Fernández Llorca, D., Gómez, E. Artificial Intelligence in Autonomous Vehicles: towards trustworthy systems, European Commission, 2022, JRC128170.
[8]. Sina Mohseni, Mandar Pitale, Vasu Singh, Zhangyang Wang, Practical Solutions for Machine Learning Safety in Autonomous Vehicles, 2019, https://doi.org/10.48550/arXiv.1912.09630.
[9]. Madhav, A.V.S., Tyagi, A.K. (2023). Explainable Artificial Intelligence (XAI): Connecting Artificial Decision-Making and Human Trust in Autonomous Vehicles. In: Singh, P.K., Wierzchoń, S.T., Tanwar, S., Rodrigues, J.J.P.C., Ganzha, M. (eds) Proceedings of Third International Conference on Computing, Communications, and Cyber-Security. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 421. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-1142-2_10.
[10]. Koyel Datta Gupta, Deepak Kumar Sharma, Rinky Dwivedi, and Gautam Srivastava, AHDNN: Attention-Enabled Hierarchical Deep Neural Network Framework for Enhancing Security of Connected and Autonomous Vehicles, Journal of Circuits, Systems and Computers, Vol. 32, No. 04, 2350058 (2023), https://doi.org/10.1142/S0218126623500585.
[11]. Sajid, J., Anam, B., Khattak, H.A., Malik, A.W., Abbas, A., Khan, S.U. (2023). Preventing Adversarial Attacks on Autonomous Driving Models. In: Haas, Z.J., Prakash, R., Ammari, H., Wu, W. (eds) Wireless Internet. WiCON 2022. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, vol 464. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-27041-3_1.
[12]. R. Sankaranarayanan, K.S. Umadevi, NPG Bhavani, Bos Mathew Jos, Anandakumar Haldorai, D. Vijendra Babu, Cluster-based attacks prevention algorithm for autonomous vehicles using machine learning algorithms, Computers and Electrical Engineering, Volume 101, 2022, 108088, ISSN 0045-7906, https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2022.108088.
[13]. Elies Gherbi. Machine learning for intrusion detection systems in autonomous transportation. Technology for Human Learning. Université Paris-Saclay, 2021. English. ⟨NNT : 2021UPASG037⟩. ⟨tel-03456817⟩.
[14]. Zöldy, M., Szalay, Z., & Tihanyi, V. (2020). Challenges in homologation process of vehicles with artificial intelligence. Transport, 35(4), 447-453. https://doi.org/10.3846/transport.2020.12904.
[15]. Vipin Kumar Kukkala, Sooryaa Vignesh Thiruloga, Sudeep Pasricha, "Roadmap for Cybersecurity in Autonomous Vehicles," 2022, https://doi.org/10.48550/arXiv.2201.10349.
[16]. Palade, V & Deo, A 2022, 'Artificial Intelligence in Cars: How Close Yet Far Are We from Fully Autonomous Vehicles?', International Journal on Artificial Intelligence Tools, vol. 31, no. 3, 2241005. https://doi.org/10.1142/s0218213022410056c.

За контакти:
гл. ас. д-р инж. Айдън Мехмед Хъкъ
катедра „Компютърни науки и технологии"
Технически университет – Варна
E-mail: aydin.mehmed@tu-varna.bg

ас. инж. Мариета Методиева Йорданова
катедра „Компютърни науки и технологии"
Технически университет – Варна
E-mail: marieta.yordanova@tu-varna.bg

ULTIMATE EXECUTION SPEED IN FPGA BASED EDGE DETECTION: COMPARATIVE INVESTIGATION OF FOUR FPGA SPECIFIC INTEGER MULTIPLIERS

Dimitre Kromichev

Abstract: For FPGA based gradient edge detection which employs Gaussian weighted average function as the filtering stage, integer multiplication is critical to achieving the goal of ultimate execution speed. Investigated in this paper are four FPGA specific integer multipliers and their implementation with respect to maximum operating frequency and minimum number of clock cycles taken to execute: logic elements based multiplier, multiplier implementing parallel additions, soft multiplier and hard multiplier. The focus is on experimentally ascertaining the capability of each multiplier to satisfy the goal of achieving ultimate execution speed in FPGA based gradient edge detection. Ten Intel (Altera) FPGA families are employed to conduct the tests and draw the relevant conclusions in terms of the obtained results.
Keywords: FPGA, edge detection, ultimate execution speed, logic elements based multiplier, multiplier implementing parallel additions, soft multiplier, hard multiplier, frequency, clock cycle

1. Introduction

Multiplication realized by DSP blocks is addressed by applying resource sharing and multipumping techniques in DSP48E1 of Xilinx FPGAs, and the design's frequency is below half the maximum supported by the DSP blocks [3]. Analyses of DSP performance on the basis of multiplication are presented in [4] and [19]. A softcore multiplier in Xilinx FPGAs with an array-like architecture is proposed in [13]. Ten different adders are explored in FPGA on the basis of the relation between maximum operating frequency and number of clock cycles in [7]. The maximum operating frequency of parrallel addition in Altera FPGAs as a function of input data widths is studied in [8]. A parallel integer multiplier generator for FPGAs is tested on Virtex-6, Virtex-5 and Stratix III in [1]. An approach to design power-of-two multipliers in modern FPGA devices with increased number of operations per second by up to 4.3 times is proposed in [20]. Studies in LUT-based multiple constant multiplications with reduced delay are presented in [14] and [17]. In [12] analyzed are different multipliers with respect to speed: conventional multiplication, booth multiplier, shift &add multiplier, array multiplier. A LUT design for memory based multiplier in Virtex 7 is in [5]. Multipliers with various input widths are analyzed in [15] and [16]. In [21], presented are two designs - a 16 × 16 multiplier using a pipelined architecture and a multiplier with a reduced area in Virtex 6. In [6], ten multipliers are investigated on Intel (Altera) FPGA families.

The objective of this paper is to investigate comparatively the speed characteristics of four FPGA specific integer multipliers for the purposes of achieving the goal of ultimate execution speed in FPGA based gradient edge detection which uses Gaussian filtering. Experiments are based on ten Intel (Altera) FPGA families due to their speed capabilities [2][10][11] - Cyclone through Cyclone V and Stratix through Stratix V. The tools used in the investigation are: Scilab, VHDL, Quartus, TimeQuest Timing Analyzer, ModelSim. The conducted analyses and conclusions arrived at are relevant for gray scale images.

2. General tasks of the investigation

Integer multiplication in FPGA is realized by concrete algorithms. Because FPGA based gradient edge detection requires square neighbourhood computations, the upper limit for the

maximum operating frequency $F_{\max}$ of the entire edge detection method is the maximum operating frequency of embedded memory $F_{\max}(mem)$, Hence, the task to investigate $F_{\max}$ focuses on:

- Computationaal mechanism of the algorithm
- Number of clock cycles required to execute the algorithm
- Input data widths calculated in FPGA based gradient edge detection
- Ratio between $F_{\max}$ of the algorithm and $F_{\max}(mem)$
- Functionality of the algorithm in terms of achieving the goal of ultimate execution speed in FPGA based gradient edge detection.

$F_{\max}$ must be analyzed in terms of the minimum number of clock cycles $nTclk_{\min}$ required by each integer multiplication algorithm to produce a mathematically accurate result. Hence, the following tasks must be accomplished:

- Assess the optimal ratio between $F_{\max}$ and $nTclk_{\min}$
- Analyze the ratio between $F_{\max}$ and and $nTclk_{\min}$ with respect to the position of multiplication in the organization of computations and the optimal pipelining efficiency
- Define the value of $nTclk_{\min}$ to be used in the experimental investigation of $F_{\max}$ for the input data widths available in FPGA based gradient edge detection.

In FPGA based gradient edge detection multiplication by a number which is not a power of 2 is used in: Gaussian filtering, gradient magnitude and gradient direction [6][9].

The specifics of FPGA hardware define four types of multipliers.

3. Computational mechanism of the multipliers: relation between $F_{\max}$ and and $nTclk_{\min}$

The optimal value of $nTclk_{\min}$ which guarantees the execution of a concrete algorithm at $F_{\max}$ is the most important aspect in terms of the goal of ultimate execution speed in FPGA based gradient edge detection. Dependence of $F_{\max}$ on $nTclk_{\min}$ is specific to each algorithm. It is defined by the computational mechanism of a multiplier and its position in the organization of computations.

3.1. Multiplier implemented in logic elements

This type is realized in all of the ten targeted Intel (Altera) FPGA families. It is a modification of radix-4 multiplier. Its maximum operating frequency $F_{\max}(LEmult)$ is based on the parallel implementation of calculations in

$$P = (Md = \sum_{s=1}^{m-1} Md_s(2^s)) * (Mr = \sum_{k=0}^{n-1} Mr_k(Mr^k)) = \sum_{k=0}^{n-1}(\sum_{s=0}^{m-1} Md_s Mr_k(2^{s+k})) \quad (1)$$

where

Md *is* multiplicand $Md \in Z$, $Md \geq 0$, Md is m-bit,
Mr *is* multiplier $\in Z$ Mr, $Mr \geq 0$, Mr is n-bit,
P *is* product $P = Md * Mr$ is $(m+n)$ bits.

Because the multiplication is by two binary bits instead of one, the result is:

$$nPp(rad-4) = \frac{nPp(parall)}{\log_2(nd)} \quad \text{for } nPp(parall) = 2u, u \in N \quad (2)$$

$$nPp(rad-4) = \frac{nPp(parall+1}{\log_2(nd)} \quad \text{for } nPp(parall) = 2u+1, n \in N \tag{3}$$

where

nPp(parall) is the number of partial products in the parallel implementation
nPp(rad-4) is the number of partial products in radix-4 multiplication
nd is the number of digits in the multiplier representation.

Partial products based stages define that the number of clock cycles is a variable. From (3) it follows that an increase in clock frequency is achieved by inserting registers on the basis of

$$nTclk(LEmult(pipe)) = \log_2(nd) \tag{4}$$

where

$nTclk(LEmult(pipe))$ is the optimal number of clock cycles for which logic elememts based multiplier achieves its maximum clock frequency.

Therefore, for logic elememts based multiplier

$$F_{\max}(LEmult) = \frac{1}{Tclk} \tag{5}$$

for $Tclk$ defined by the inequality

$$Tclk > T(CP(pipe\log_2(nd))) \tag{6}$$

where

$T(CP(pipe\log_2(nd)))$ is the propagation delay of the critical path defined for pipelined multiplication of $\log_2(n)$ number of clock cycles.

Values of $nTclk(LEmult(pipe))$ for various input data widths within the range of values calculated in FPGA based gradient edge detection are presented below (Table 1):

Table 1. $nTclk(LEmult(pipe))$ for various input data widths

Pipelining in logic elements based multiplier	
Size of multiplicand and multiplier in bits	**Optimal number of clock cycles to achieve** $F_{\max}(LEmult)$
3 to 4	2
5 to 8	3
9 to 16	4
17 to 32	5

The data in Table defines a specific problem: according to the requirement in [6] the naximum number of clock cycles taken to execute multiplication in gradient direction must be equal or less than 2. Therefore, according to row #2 of Table 1 $F_{\max}(LEmult)$ cannot be achieved because the greatest gray scale image pixel value is 2^8-1.

3.2. Multiplier based on parallel additions

This type implements low level paralellism. The concept of low level parallelism is:

$$A = \{\mathrm{Im}\, pA(i)aop1, \mathrm{Im}\, pA(i)aop2\}\ i > 2^4 \tag{7}$$

where

$\mathrm{Im}\,pA(i)$ is the number of parallel implementations of an operation within a single clock cycle,
$aop1$ is arithmetic operation #1,
$aop2$ is arithmetic operation #2.

In each pair $aop1, aop2$ the output of $aop1$ is the input of a comparison operation in $aop2$. The output of an operation #2 cannot be the input of any other operation #1. Therefore, none of the i implementations of pairs $aop1, aop2$ can be executed sequentially.

Executing addition by using a multistaged two-input adder structure impacts $Tclk$ according to

$$L = P \text{ for } k = 2^P$$
$$L = P+1 \text{ for } 2^P < k < 2^{P+1}, \; P \in N \tag{8}$$

where
L is the number of consecutive levels of adders ,
k is the number of addends,

From (8) it follows that if for $k = 2$ the period of the system clock is $Tclk$, then for $k > 2$ the period of the system clock becomes $L * Tclk$. Therefore, in that case the use of registers between the levels of adders is a must. On the basis of (8) a multiplication technique is developed. It is based on the fact that for any $Mr \in N$ one of the following expressions holds true

$$Mr = 2^k + 2^m + 2^n + .. + 2^s \tag{9}$$

where
$k, m, n, s, .. \in N$
and
$k > m > n > .. s \geq 1$;

$$Mr = 2^k + 2^m + 2^n + 2^s + .. + 2^0 \tag{10}$$

where
$k, m, n, s, .. \in N$
and
$k > m > n > s > .. \geq 1$.

Because maximum image pixel value is $2^8 - 1$, the product P of multiplicand $Md = 2^8 - 1$ and multiplier Mr is one of the following:

- according to (9)

$$P = (2^8 - 1 << k) + (2^8 - 1 << m) + (2^8 - 1 << n) + (2^8 - 1 << s) + .. + (2^8 - 1 << 1) \tag{11}$$

- according to (10)

$$P = (2^8 - 1 << k) + (2^8 - 1 << m) + (2^8 - 1 << n) + (2^8 - 1 << s) + .. + (2^8 - 1). \tag{12}$$

Because the two addends must have equal number of bits and maximum image pixel value is $2^8 - 1$, according to (8) the greatest output data width of an adder at level #1 is $2^3 + m$. Hence,

$$\textit{for expression } (11) \; L = nShl$$
$$\textit{for expression } (12) \; L = nShl + 1 \tag{13}$$

where
$nShl$ is the number of shift left operations.

Therefore, for this multiplier

$$Tclk > T(<< m) + Tadd(2^3 + m) \tag{14}$$

where
$T(<< m)$ is the propagation delay of shift left operation executed by m number of bits,
$Tadd(2^3{+}3)$ is the propagation delay of the adder with input data widths equal to $2^3{+}m$ bits.

From (8) it follows that

$$nTclk(multParall(pipe)) = x \tag{15}$$

where
$nTclk(multParall(pipe))$ is the optimal number of clock cycles for which the low level parallelism based multiplier achieves its maximum clock frequency,
x is used to denote a variable.

From (15) it follows that

$$F_{\max}(multParall) = \frac{1}{Tclk} \tag{16}$$

for $Tclk$ defined by the inequality

$$Tclk > T(CP(shiftLeft)) + T(CP(add)) \tag{17}$$

where
$T(CP(shiftLeft))$ is the delay of the shift left operation,
$T(CP(add))$ is the critical path delay of a ripple carry adder,

From (17) it follows that the use of the multiplier in Gaussian filtering is defined by the restrictions on the number of clock cycles imposed by the organization of computations.

3.3. Soft multiplier

It is realized in all targeted Intel (Altera) FPGA families. Embedded memory blocks are used as LUTs to implement multiplication. If p and c are inputs to the fully variable multiplier, then

$$p * c = \frac{(p+c)^2}{2^2} - \frac{(p-c)^2}{2^2} \tag{18}$$

There are two points of critical importance in (18): a) the values for $\frac{(p+c)^2}{2^2}$ and $\frac{(p-c)^2}{2^2}$ must be calculated before the start of multication operation in two separate embedded memory blocks; b) the precalculated values for $\frac{(p+c)^2}{2^2}$ and $\frac{(p-c)^2}{2^2}$ must be stored in two separate memory blocks.

Hence, for the soft multiplier to be tested on a comparative basis under equal test conditions with the other multipliers, the total of binary values which must be stored in embedded memory is

$$(2^8 - 1) * 2^{17} = 33423360 \tag{19}$$

where

$2^8 - 1$ is the greatest gray scale image pixel value,

2^{17} is the greatest positive value at the inputs of 18x18 hard multiplier.

As of today, none of the targeted Intel (Altera) FPGA families can store the number of binary values from (19) in its memory. Therefore, soft multiplier cannot meet the objectives of this work.

3.4. Hard multiplier

Hard multiplier: dedicated circuitry in FPGA as embedded multiplier (Cyclone II - IV) or as an integral part of DSP blocks (Cyclone V, Stratix I - V). Hard multiplier's schematic is purely combinational. Hence, hard multiplier's most important characteristic is:

$$F_{maz}(hard) = \frac{1}{Tclk} \tag{20}$$

is defined under all test conditions for

$$nTclk(hard) = const = 1 \tag{21}$$

where

$nTclk(hard)$ is the number of clock cycles required to execute multiplication.

4. Multiplication in FPGA based edge detection: the impact of input data width on $F_{\max}$

The task is to investigate $F_{\max}$ for the values calculated in FPGA based gradient edge detection Test results represent restrictive $F_{\max}$ centered on positive slack of 10 ps. The comparisons with $F_{\max}(mem)$ are conducted on the basis of the data for $F_{\max}(mem)$ given in [6].

4.1 Multiplication executed by logic elements based multiplier: results and analysis

Investigation methodology:

- Lpm_mult megafunction is used to implement logic elements based multiplier
- Because tests must be performed under equal test conditions, the two symmetric inputs selected for the multiplier are: 8x8 and 16x16.
- The number of clock cycles required to execute multiplication is limited to 2 according to the requirements of maximum efficiency pipelining as presented in [6].

The achieved results are in Table 2 and Table 3.

The data in Table 2 and Table 3 shows that:

- The impact of multiplier size on $F_{\max}(LEmult)$ is defined by the optimal number of clock cycles
- The limitation of two clock cycles is critical for $F_{\max}(LEmult)$
- For Cyclone II-V and Stratix I-V $F_{\max}(LEmult)$ of 8x8 multiplier is lower than $F_{\max}(hard)$ of 18x18 hard multiplier from 8.1% to 10.2%
- For Cyclone II-V and Stratix I-V $F_{\max}(LEmult)$ of 16x16 multiplier is lower than $F_{\max}(hard)$ of 18x18 hard multiplier from 22% to 25.2%.

4.2. Multiplication executed by multiplier based on parallel additions: results and analysis

Table 2. $F_{\max}(LEmult)$ of ligic elements based multiplier of size 8x8

FPGA family	$F_{\max}(LEmult)$ of ligic elements based multiplier of size 8x8 (in MHz)	Number of clock cycles required to execute multiplication
Cyclone	179	2
Cyclone II	221	2
Cyclone III	301	2
Cyclone IV	305	2
Cyclone V	309	2
Stratix	242	2
Stratix II	367	2
Stratix III	418	2
Stratix IV	437	2
Stratix V	454	2

Table 3. $F_{\max}(LEmult)$ of ligic elements based multiplier of size 16x16

FPGA family	$F_{\max}(LEmult)$ of logic elements based multiplier of size 16x16 (in MHz)	Number of clock cycles required to execute multiplication
Cyclone	132	2
Cyclone II	192	2
Cyclone III	212	2
Cyclone IV	214	2
Cyclone V	217	2
Stratix	192	2
Stratix II	313	2
Stratix III	371	2
Stratix IV	378	2
Stratix V	383	2

Investigation methodology:

Because comparative investigation must be performed under equal test conditions, the greatest value of multiplier Mr must be 17 bits.

- Because the greatest gray scale image pixel value is 2^8-1, from (9), (10), (11) and (12) it follows that $F_{\max}(multParall)$ is defined by the critical path of the multiplier implementing low level parallelism which includes:

a) $T(CP(leftShift))$ of $2^8-1<<k$ for $k=17$ according to (17);

b) $T(CP(add))$ of 25-bit adder for $k=17$ according to (17).

- From (8) it follows that

$$P=\log_2(k). \tag{22}$$

Hence, from (8) and (22) it follows that

$$L=5 \text{ for } k=17. \tag{23}$$

Therefore, the optimal value of $F_{\max}(multParall)$ is achieved when multiplication is executed within 5 clock cycles.

The achieved results are in Table 4.

Table 4. $F_{max}(multParall)$ of multiplier based on parallel additions for multiplicand Md = 8 bits and multiplier Mr = 17 bits		
FPGA family	$F_{max}(multParall)$ **of multiplier based on parallel additions for multiplicand = 8 bits and multiplier = 17 bits (in MHz)**	**Number of clock cycles required to execute multiplication**
Cyclone	242	5
Cyclone II	292	5
Cyclone III	381	5
Cyclone IV	385	5
Cyclone V	388	5
Stratix	358	5
Stratix II	516	5
Stratix III	702	5
Stratix IV	712	5
Stratix V	727	5

The data in Table 4 shows that:

- When multiplication implementing low level parallelism is executed within the optimal number of clock cycles $F_{max}(multParall) > F_{max}(hard)$ & $F_{max}(multParall) > F_{max}(mem)$ of the basic memory type
- For Cyclone II-V and Stratix I-V $F_{max}(multParall)$ is higher than $F_{max}(hard)$ of 9x9 multiplier from 18.3% to 26.1%.
- For Cyclone $F_{max}(multParall)$ is higher than $F_{max}(LEmult)$ of logic elements based multiplier of size 8x8 by 17.2%.
- For Cyclone I-V Stratix I-V $F_{max}(multParall)$ is higher than $F_{max}(mem)$ of the basic memory type from 8.8% to 29.9%.

4.3. Multiplication executed by hard multiplier: results and analysis

Investigation methodology:

- Lpm_mult megafunction is used to implement the hard multiplier in Cyclone II-V and Stratix I-V
- Because there are no hard multipliers in Cyclone no tests are performed with this family. In Cyclone multipliers are implemented with Lpm_mult megafunction using logic resources only.
- The hard multipliers (embedded and DSP based) with symmetric inputs are used accordingto their availability in each particular FPGA family
- All results are for the highest speed grade in a particular FPGA family
- All tests are performed for the entire range of possible input values defined by the inputs of each particular size of multiplier available in a particular FPGA family.

The achieved results are in Table 5. The data in Table 5 shows that:

- Cyclone II-V and Stratix I-V have two indispensable multiplier sizes: 9x9 and 18x18
- The impact of multiplier size on $F_{max}(hard)$ is clearly defined for all FPGA families
- $F_{max}(hard)$ for all input values in the range of a particular multiplier size is a constant
- For Cyclone II-IV, $F_{max}(hard)$ of 9x9 multiplier exceeds $F_{max}(mem)$ from 4.1% to 9.3%

- For Cyclone V and Stratix I-V, $F_{max}(hard)$ of 9x9 multiplier is higher than $F_{max}(mem)$ of the basic memory type from 3.7% to 4.6%

Table 5. $F_{max}(hard)$ of hard multiplier

FPGA family	$F_{max}(hard)$ **of hard multiplier (in MHz)**				
	9x9 multiplier	**18x18 multiplier**	**27x27 multiplier**	**36x36 multiplier**	**12x12 multiplier**
Cyclone	-*	-**			
Cyclone II	259	248			
Cyclone III	331	291			
Cyclone IV	334	292			
Cyclone V	337	295	248		
Stratix	313	278		163	
Stratix II	428	401		259	
Stratix III	534	503		317	475
Stratix IV	538	505		320	478
Stratix V	540	507	479	316	

- For Cyclone II-V and Stratix I-V, $F_{max}(hard)$ of 18x18 multiplier is lower than $F_{max}(mem)$ of the basic memory type from 1.2% to 1.6%.

6. Conclusions

Experimentally investigated in this paper are four FPGA specific integer multipliers - logic elements based multiplier, multiplier implementing parallel additions, soft multiplier and hard multiplier. Their their computational mechanisms are sugjected to in-depth analysis. Studies is the relation between the maximum operating frequency and the minimum number of clock cycles taken to execute as well as the relation between the maximum operating frequency and the input data widths. By applying two assessment criteria - the optimal functionality criterion focused on defining tne smallest difference between the maximum operating frequency of the embedded memory in its capacity of being the upper limit of clock frequency in FPGA based gradient edge detection and the maximum frequency of the tested multiplier, and the comparative criterion regarding the studied ten FPGA implemented multipliers in [6], it is experimentaly ascertained and proved on the basis of the targeted Intel (Altera) FPGA families that of the total of fourteen different multipliers it is the 18x18 hard multiplier that is the most suitable for achieving the goal of ultimate execution speed in FPGA based gradient edge detection which uses Gaussian filtering.

References

[1]. Kakacak, Fast multiplier generator for FPGAs with LUT based partial product generation and column/row compression, Integration VLSI J., vol. 57, Mar. 2017, pp. 147-157

[2]. Altera Corporation, FPGA Performance Benchmarking Methodology, White Paper FPGAPBM-1.6, August 2007, ver. 1.6

[3]. B. Ronak and S. A. Fahmy, Multipumping Flexible DSP Blocks for Resource Reduction on Xilinx FPGAs, IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, vol. 36, no. 9, Sept. 2017, pp. 1471-1482

[4]. B. Ronak and S. A. Fahmy, Mapping for maximum performance on FPGA DSP blocks, IEEE Trans. Comput. Des. Integr. Circuits Syst., vol. 35, no. 4, 2016, pp. 573-585

[5]. C. S. Vinitha, R. K. Sharma, An Efficient LUT Design on FPGA for Memory-Based Multiplication, Iranian Journal of Electrical and Electronic Engineering 04, 2019, pp. 462–476

[6]. Dimitre Kromichev, Investigation of Different Multipliers Focused on Ultimate Execution Speed in FPGA Based Edge Detection, Computer Science and Technologies, ISSN 1312-3335, Vol. 1, 2022, pp. 6-14
[7]. Dimitre Kromichev, Study of Different Adders Focused on Ultimate Execution Speed in FPGA Based Edge Detection, Journal of the Technical University - Sofia, Plovdiv Branch "Fundamental Sciences and Applications", vol. 28(1), 2022
[8]. Dimitre Kromichev, Ultimate Execution Speed of FPGA based Edge Detection: Parallel Addition, Journal of the Technical University - Sofia, Plovdiv Branch "Fundamental Sciences and Applications", vol. 28(1), 2022
[9]. Dimitre Kromichev FPGA Based Edge Detection: Integer Inverse Tangent Algorithm, Proceedings of 16th International Engineering Conference on'Communications, Electromagnetics and Medical Applications' (CEMA'22), 2022, pp. 30-34
[10]. Intel AN 584: Timing Closure Methodology for Advanced FPGA Designs ID: 683145 Version: 2021.10.08
[11]. Intel Corporation, Performing Equivalent Timing Analysis Between Intel's Timing Analyzer and Xilinx's Trace, White Paper, 2021 01047-1.1
[12]. K. Harika , B.V.Swetha, B.Renuka , D.Lakshman Rao , S.Sridhar, Analysis of Different Multiplication Algorithms & FPGA Implementation, IOSR Journal of VLSI and Signal Processing (IOSR-JVSP) Volume 4, Issue 2, Ver. I , Mar-Apr. 2014, pp. 29-35
[13]. M. Kumm, S. Abbas and P. Zipf, An efficient softcore multiplier architecture for Xilinx FPGAs, Proceedings of the 22nd IEEE Symposium on Computer Arithmetic, Lyon, France, 22–24 June 2015; pp. 18–25
[14]. Martin Kum, Multiple Constant Multiplication Optimizations for Field Programmable Gate Arrays, Springer, 2016
[15]. Palchaudhuri A., Chakraborty R. S., High Performance Integer Arithmetic Circuit Design on FPGA: Architecture,Implementation and Design Automation, Springer, 2016
[16]. Florent de Dinechin, Silviu-Ioan Filip, Luc Forget, Martin Kumm, Table-Based versus Shift-And-Add constant multipliers for FPGAs, ARITH 2019 - 26th IEEE Symposium on Computer Arithmetic, 2019, pp.1-8
[17]. M. Faust and C.-H. Chang, Bit-parallel Multiple Constant Multiplication using Look-Up Tables on FPGA, IEEE International Symposium of Circuits and Systems (ISCAS), 2011, pp.657-660
[18]. M. Langhammer, S. Gribok and G. Baeckler, High Density 8-Bit Multiplier Systolic Arrays For Fpga, 2020 IEEE 28th Annual International Symposium on Field-Programmable Custom Computing Machines (FCCM), 2020, pp. 84-92
[19]. M. Véstias, R. P. Duarte, J. T. de Sousa and H. Neto, Parallel dot-products for deep learning on FPGA, 2017 27th International Conference on Field Programmable Logic and Applications (FPL), Ghent, Belgium, 2017, pp. 1-4
[20]. Perri, S.; Spagnolo, F.; Frustaci, F.; Corsonello, P., Parallel architecture of power-of-two multipliers for FPGAs., IET Circuits, Devices & Systems, Vol.14(3), 2020, pp. 381-389
[21]. Tawfeek, R.M.; Elmenyawi, M.A., VHDL implementation of 16x16 multiplier using pipelined 16x8 modified Radix-4 booth multiplier, International Journal of Electronics, Volume 110, Issue 6, 2023, pp.1–15

For contacts
Dimitre Zhivkov Kromichev, PhD
Department of Marketing and International Economic Relations
University of Plovdiv
e-mail: dkromichev@yahoo.com

COMPARATIVE INVESTIGATION OF INTEGER DIVISION AND SQUARE ROOT ALGORITHMS IN THE CONTEXT OF ULTIMATE EXECUTION SPEED IN FPGA BASED GRADIENT EDGE DETECTION

Dimitre Kromichev

Abstract: This paper focuses on proving by a comparative investigation that two specifically designed for FPGA implementation integer algorithms – division and square root, are suitable to be used in FPGA based gradient edge detection targeting ultimate execution speed. The experiments conducted on the basis of ten Intel (Altera) FPGA families and the analyses of the obtained results provide conclusive evidence with respect to the two capital speed parameters: 1) both algorithms are executed at maximum operating frequencies which exceed the maximum operating frequency of embedded memory; 2) both algorithms guarantee mathematically accurate results within a single clock cycle under all test conditions. The conclusion is: these two algorithms are the exact tools for achieving the goal of ultimate execution speed.
Keywords FPGA, edge detection, integer division, integer square root, ultimate execution speed, maximum operating frequency, minimum number of clock cycles

1. Introduction

All integer division algorithms fall into two main categories according to the divisor being a variable or a constant [5][6]. The speed characteristics of iterative division in FPGA are investigated in [10]. It is mathematically and experimentally proved that a very specific problem to the speed of iterative division in FPGA is the accurate rounding [11]. There are two basic approaches aimed at improving integer division in hardware: division is substituted by multiplication with the reciprocal of divisor [18][26], and a Look-up table based techique without using additions, subtractions and multiplications is proposed in [12][15]. In [17], described is a multiply and shift algorithm as a replacement of multiplying by the reciprocal of divisor. Two integer division algorithms specifically desingned to be implemented in FPGA are experimentally investigated in [7] and [8].

The square root algorithm which most current FPGAs use is radix-2 digit recurrence square root [13][14]. Digit recurrence methods rely on subtractions and iterations [19]. Hence, they have limited performance in hardware [16]. In [25], three hardware implementation strategies for non-restoring square root are presented. Maximum operating frequency and minimum number of clock cycles are specified for none of them. Another approach is the functional iteration which is divided into additive and multiplicative according to the operation used in each iterative step [3]. In terms of speed, Newton–Raphson method has the disadvantage of using division [1]. A speed focused integer square root algorithm for FPGA implementation is proposed in [9]. The modifications of the existing algorithms include: improved nonrestoring square root using only subtraction [4][20][22][23][24]; square root based on linear approximation subsystem with Look-up tables [21]; square root based on subtractors and multipliers - appropriate only for small numbers [27]; square root based on successive subtraction of odd integers [2].

Presented in this paper are two specifically designed integer algorithms – division and square root. They are inttended to be used as tools for achieving ultimate execution speed in FPGA based gradient edge detection which uses Gaussian filtering. The task is: on the basis of their computational mechanisms, comparatively investigate the maximum operating frequency of both algorithms with respect to the maximum operating frequency of embeded memory and the minimum number of clock cycles taken to secure mathematically accurate division and square root results as a contribution to the optimal efficiency of pipelining in the FPGA based gradient edge

detection. The investigation tools: are: Scilab, VHDL, Quartus, TimeQuest Timing Analyzer, ModelSim. The FPGA platforms employed in the investigation are: Cyclone through Cyclone V and Stratix through Stratix V. Only gray scale images are relevant for the conducted analyses and the obtained experimental results.

2. Integer division algorithm: technology of accuracy and speed

2.1. Computational mechanism

Calculating the rounding value correctly is critical to the accuracy of integer division. The value of remainder, for which the rounding is set to 1, is a reference point. A reference point is a difference of 1 between two integer division results. For any integer divisor there are a number of reference points with the distance between each two successive points being equal to the divisor's value. Every pair of reference points defines an interval. For one interval there is only one exact ratio between dividend and divisor. Hence, the interval is the accurate integer division result.

The computational mechanism of the algorithm encompasses the following sequence of steps:
1) Compute the greatest possible value of the dividend.
2) Define the divisor's value.
3) Calculate the number of intervals. The value from *step 1)* is divided by the value from *step 2)* and the integer part of the result is the needed number. Hence, defining the number of intervals is equivalent to defining the complete set of integer values which can be the result of integer division.
4) Define the number of reference points. The number of reference points is: *[number of intervals calculated in step 3)] + 1*.
5) Define the greatest reference point value. A reference point is a fraction in which the numerator can only be an odd number, and the denominator is always 2. The reference points define a sequence of intervals. The numerators define a set of consecutive odd numbers (Figure 1):

1/2 3/2 5/2 7/2 9/2 11/2 13/2 15/2 17/2 19/2 21/2 ..
| 1 <- | 2 <- | 3 <- | 4 <- | 5 <- | 6 <- | 7 <- | 8 <- | 9 <- | 10 <- | ..

Fig. 1. The reference points limiting the intervals

The denominators of all reference points being the same, the largest reference point value is computed by *[(number of intervals*2) + 1]/2*.
6) The dividend and divisor in the conventional division are represented as a fraction which is multiplied by the reciprocal value of each of the reference points. The values calculated this way are the modified reference points.
7) The comparison functions are simultaneously applied to all the numerators and denominators of the modified reference points computed in *step 5).* Of all the modified reference points there is only one pair of consecutive points which satisfies both of the following conditions:

$$\textbf{denominator} > \textbf{numerator} \quad \textit{for the right hand modified reference point} \tag{1}$$

$$\textbf{denominator} \leq \textbf{numerator} \quad \textit{for the left hand modified reference point}. \tag{2}$$

The integer contained in the interval limited by this pair of modified reference points is the accurate integer division result. If the conditions are not satisfied, the result is equal to 0.

This algorithm is focused on the Gaussian smoothing module. Its reliability and mathematical accuracy are demonstrated on the basis of Gaussian filter $\frac{1}{81}$ (Figure 2):

1	**2**	**3**	**2**	**1**
2	**4**	**6**	**4**	**2**
3	**6**	**9**	**6**	**3**
2	**4**	**6**	**4**	**2**
1	**2**	**3**	**2**	**1**

Fig. 2. Filter $\frac{1}{81}$

2.2. Proving the mathematical accuracy

There are two basic approaches to computing the Gaussian weighted average function:

- Computational variant # 1. 25 division operations are used here according to the expression

$$\sum_{i=1}^{N_C} \frac{R_{C_i}}{S_{coeff}} \tag{3}$$

where

N_C is the number of convolutions,

R_{C_i} is a convolution result,

S_{coeff} is the sum of filter's coefficients.

The greatest value of the dividend is: 9*255 = 2295. Normalization factor is 81. The number of intervals is 28 (2295/81 = **28**.3333). The number of reference points is: 28+1=29. The greatest reference point value is: [(28*2)+1]/2 = 57/2. The intervals and reference points are (Figure 3):

1/2 3/2 5/2 7/2 9/2 .. .. 51/2 53/2 55/2 57/2
| 1 <- | 2 <- | 3 <- | 4 <- | „ .. 25 <- | 26 <- | 27 <- | 28 <- |

Fig. 3. The intervals and reference points for computational variant # 1

Accuracy check # 1

Gaussian mask coefficient value: 9. Pixel value: 190. It must be calculated (9*190)/81.

The result of multiplying 1710/81 by the reciprocal value of each reference point is (Figure 4):

3420/81 3420/243 3420/405 3420/567 .. .. 3420 /4131 3420/4293 3420/4455 3420/4617
| 1 <- | 2 <- | 3 <- | „ .. 25 <- | 26 <- | 27 <- | 28 <- |

Fig. 4. Modified reference point values for 1710/81

The comparison of values defines one pair of modified reference points: 3420/3483 and 3420/3321. Therefore, the result of 1710/81 is an integer smaller than 43/2 and greater than or equal to 41/2, i.e. 21. Conventional division result: 1710/81 = **21. 11**111111.

Accuracy check # 2

Gaussian mask coefficient value: 9. Pixel value: 45. It must be calculated 405/81.

Multiplying 405/81 by the reference point reciprocal values (Figure 5):

810 /81 810 /243 810 /405 810/567 810/729 .. .. 810/4131 810/4293 810 /4455 810 /4617
| 1 <- | 2 <- | 3 <- | 4 <- | „ .. 25 <- | 26 <- | 27 <- | 28 <- |

Fig. 5. Modified reference point values for 405/81

After comparison the needed pair is: 810/891 and 810/729. The result of 405/81 is an integer smaller than 11/2 and greater than or equal to 9/2, i.e. 5. Conventional division result: 405/81 = 5.

- Computational variant # 2. There is only 1 division operation here according to

$$\frac{\sum_{i=1}^{N_c} R_{C_i}}{S_{coeff}} \tag{4}$$

Therefore, the number of intervals is a constant, and is equal to the maximum gray scale image pixel value. The number of reference points is 256 (Figure 6):

1/2 3/2 5/2 7/2 9/2 11/2 .. .. 505/2 507/2 509/2 511/2
| 1 <- | 2 <- | 3 <- | 4 <- | <- 5 | .. .. 252 <- | 253 <- | 254 <- | 255 <- |

Fig. 6. The intervals and reference points for computational variant # 2

Accuracy check # 1

The value of each of the 25 pixels is 255. It must be calculated 20655/81.

Multiplying 20655/81 by the reciprocal value of each of the reference points (Figure 7):

41310 /81 41310 /243 41310 /405 41310 /567 41310/729 .. .. 41310/40905 41310 /41067 41310/41229 41310/41391
| 1 <- | 2 <- | 3 <- | 4 <- | ,, .. 252 <- | 253 <- | 254 <- | 255 <- |

Fig. 7. Modified reference point values for 20655/81

After applying the comparison: 41310/41391 and 41310/41229. The result of 20655/81 is an integer smaller than 511/2 and greater than or equal to 509/2, i.e. 255. Conventional division result: 20655/81 = 255.

Accuracy check # 2

The total of modified coefficients multiplied by a pixels is 41. It must be calculated 41/81.

Multiplying 41/81 by the reciprocal value of each of the reference points (Figure 12):

82 /81 82 /243 82/405 82/567 82/729 .. .. 82/40905 82/41067 82/41229 82/41391
| 1 <- | 2 <- | 3 <- | 4 <- | ,, .. 252 <- | 253 <- | 254 <- | 255 <- |

Fig. 8. Modified reference point values for 41/81

After applying the comparison: 82/81 and 82/243. The result of 41/81 is an integer smaller than 3/2 and greater than or equal to 1/2, i.e. 1. Conventional division result: 41/81 = **0.50**61728395061728.

Therefore, the algorithm guarantees mathematical accuracy.

2.3. FPGA implementation

The RTL design of the algorithm with dividend and result registers is presented in Figure 9.

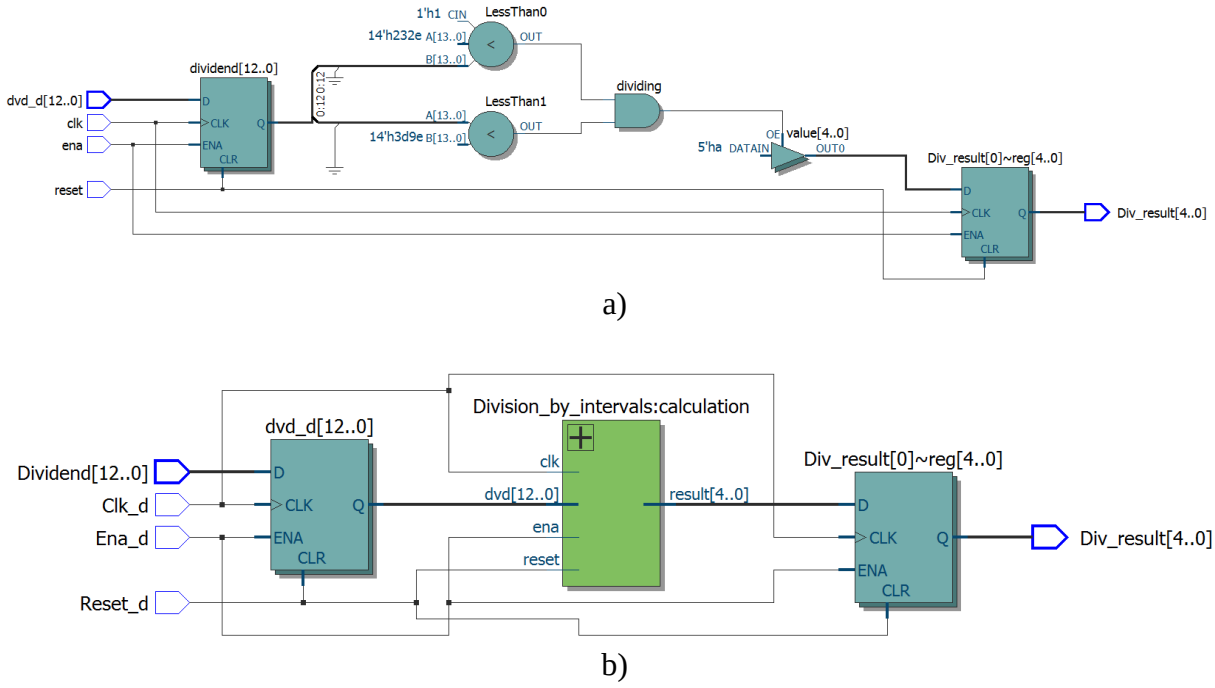


Fig 9. RTL design of: (a) a single interval calculation; (b) the entire integer division algorithm

3. Integer square root algorithm: technology of accuracy and speed

3.1. Computational mechanism

The difference Dsq between the squares of any two consecutive integers $n-1$ and n is a constant represented by an odd number: $Dsq=2(n-1)+1$. The difference between any two consecutive differences is a constant: $Dsq-(Dsq-1)=2$. Hence, the following sequence can be defined: $(((n+2)^2-(n+1)^2)-((n+1)^2-n^2))^{\infty}_{n=0}$. Therefore, every $n \in N$ is the accurate result of executing integer square root over each of the consecutive integers within the interval $[n^2-(n-1),n^2+n]$ whose left- and rightmost values include rounding and guarantee the mathematical accuracy. Hence, $n=\sqrt{[n^2-(n-1),n^2+n]}$. In FPGA based gradient magnitude, the result of square root is within $[0,2^8-1]$. Thus, all radicals are distributed across 2^8-1 intervals. Each interval is associated with a single integer within $[1,255]$. The boundaries of all intervals are checked simultaneously. Of all checks, only for a single interval the boolean result is true.

3.2. Proving the mathematical accuracy

Sample checks for proving accuracy by checking the interval boundary values are in Table 1.

Table 1. Sample results of checking the boundary values of intervals

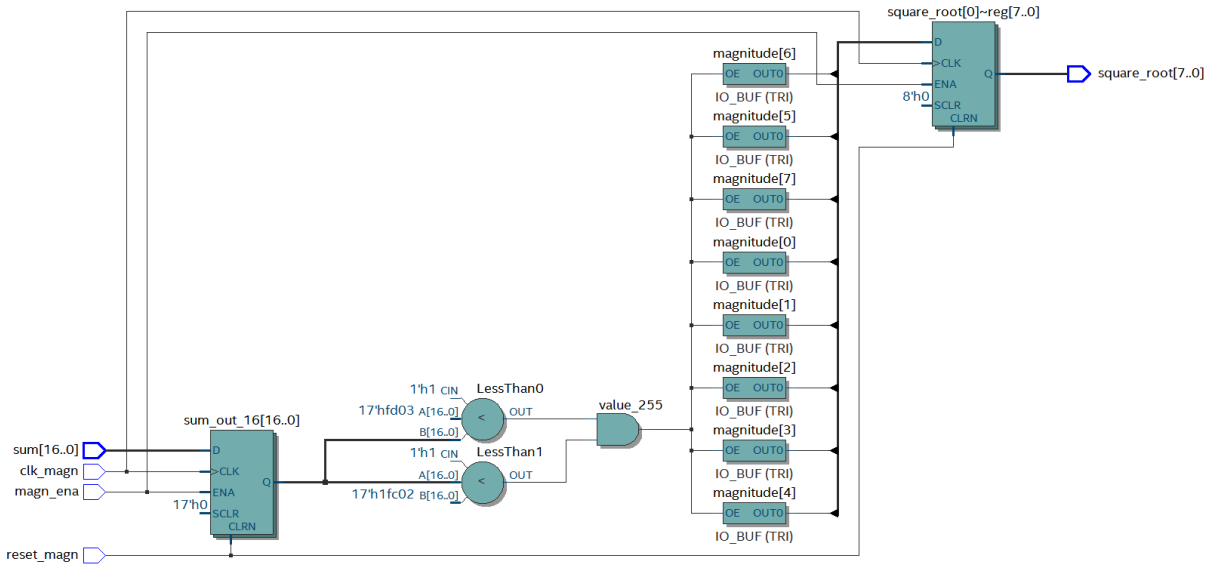
Intervals under test	Conventional square root result (before rounding)		Accurate integer square root result
	Leftmost value	Rightmost value	
[63253, 63756]	251.501491	252.499504	252
[46441, 46872]	215.501740	216.499422	216
[43057, 43472]	207.501807	208.499400	208
[32221, 32580]	179.502089	180.499307	180
[26083, 26406]	161.502321	162.499230	162
[10921, 11130]	104.503588	105.498815	105

[7657, 7832]	87.504285	88.498587	88
[4161, 4290]	64.505813	65.498091	65
[343, 380]	18.520259	19.493588	19
[91, 110]	9.539392	10.488088	10

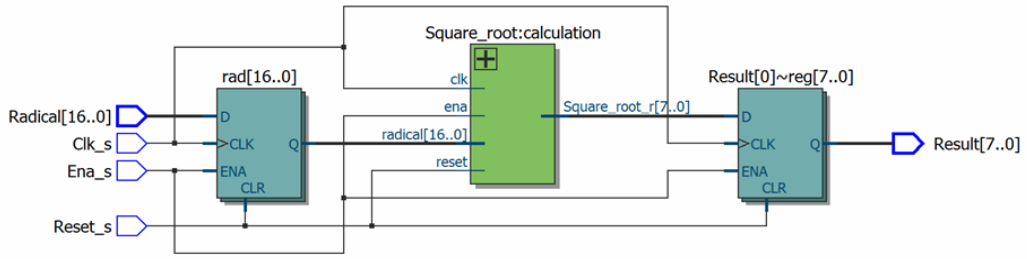
Therefore, the algorithm guarantees mathematical accuracy.

3.3. FPGA implementation

The RTL design of the algorithm is presented in Figure 10.



a)



b)

Fig. 10. RTL design of integer square root algorithm for: a) $result = 255$ and $radical = [64771,130050]$; b) entire algorithm

4. Investigating comparatively the speed capabilities of both algorithms: results and analysis

The designed algorithms for division and square root can be used as tools for achieving ultimate executuion speed in FPGA based gradient edge detection which uses Gaussian weighted average function only if the following inequalities are satisfied

$$\begin{aligned} F_{\max}(divInt) &> F_{\max}(mem) \\ nTclk_{\min}(divInt) &= const = 1 \\ F_{\max}(squareInt) &> F_{\max}(mem) \\ nTclk_{\min}(squareInt) &= const = 1 \end{aligned} \quad (5)$$

where

$F_{\max}(mem)$ is the maximum operating frequency of embedded memory,

$F_{max}(divInt)$ is the maximum operating frequency of the integer division algorithm,
$nTclk_{min}(divInt)$ is the minimum number of clock cycles taken by division to execute
$F_{max}(squareInt)$ is the maximum operating frequency of the integer square root algorithm
$nTclk_{min}(squareInt)$ is the minimum number of clock cycles taken by square root to execute.

Investigation methodology:

- $F_{max}(mem)$ of all embedded memory types available in the ten FPGA families using the highest speed grade with 8-bit values is investigated.
- Division algorithm is implemented using all the values calculated for Gaussian filter $\frac{1}{81}$.
- Square root algorithm is implemented using all values in $[0,(2^8-1)^2+(2^8-1)^2]$.

The obtained experimental results are presented below (Table 2, Table 3 and Table 4).

Table 2. $F_{max}(mem)$ of embedded memory types available in the ten Intel (Altera) FPGA families

FPGA family	$F_{max}(mem)$ **of embedded memory types available in the targeted Intel (Altera) FPGA families (in MHz)**							
	M4K	**M9K**	**M10K**	**M512**	**M144K**	**M20K**	**MLAB**	**M-RAM**
Cyclone	221							
Cyclone II	252							
Cyclone III		300						
Cyclone IV		307						
Cyclone V			310				412	
Stratix	283			310				280
Stratix II	428			439				403
Stratix III		539			505		577	
Stratix IV		541			507		583	
Stratix V						510	590	

Table 3 $F_{max}(divInt)$ and $nTclk_{min}(divInt)$ of the proposed integer division algorithm

FPGA family	**Technology of calculating the value of the filtered pixel**			
	Approach $\sum_{i=1}^{N_C}\frac{R_{C_i}}{S_{coeff}}$		**Approach** $\frac{\sum_{i=1}^{N_C}R_{C_i}}{S_{coeff}}$	
	F_{max} **(in MHz)**	$nTclk_{min}$	F_{max} **(in MHz)**	$nTclk_{min}$
Cyclone	255	1	195	1
Cyclone II	374	1	286	1
Cyclone III	418	1	320	1
Cyclone IV	421	1	322	1
Cyclone V	430	1	329	1
Stratix	377	1	289	1
Stratix II	541	1	414	1
Stratix III	703	1	538	1
Stratix IV	766	1	586	1
Stratix V	801	1	613	1

The obtained experimental results in the ten targeted Intel (Altera) FPGA families prove that:

- $F_{max}(divInt) > F_{max}(mem)$ for both variants (3) and (4) under all test conditions
- $nTclk(divInt) = const = 1$

- The values of $F_{\max}(divInt)$ obtained for (3) are greater than the values obtained for (4) because the maximum critical path delay for (3) is smaller than the delay for (4).

Therefore, it is proved that $F_{\max}(divInt)$ and $nTclk_{\min}(divInt)$ are not impacted by filter's size and coefficients' magnitudes.

Table 4. $F_{\max}(squareInt)$ and $nTclk_{\min}(squareInt)$ of the proposed integer square root algorithm

FPGA family	$F_{\max}(squareInt)$ **(in MHz)**	$nTclk_{\min}(squareInt)$
Cyclone	195	1
Cyclone II	286	1
Cyclone III	320	1
Cyclone IV	322	1
Cyclone V	329	1
Stratix	289	1
Stratix II	414	1
Stratix III	538	1
Stratix IV	586	1
Stratix V	613	1

All existing integer division algorithms are based on two successive stages: 1) calculation of quotient and remainde; 2) rounding operation. In the designed algorithm these two stages are combined into a single operation executed as a number of parallel comparisons. Therefore, $F_{\max}(divInt)$ depends on the propagation delay of ripple carry adder and sign check operation. Hence $F_{\max}(divInt)$ in approach (3) is greater than $F_{\max}(divInt)$ in approach (4) for all Gaussian filter sizes and coefficients' magnitudes under equal test conditions due to the fact that the input data widths in approach (3) are smaller than the input data widths in approach (4).

In the ten targeted FPGA families, $F_{\max}(divInt)$ is evaluated by comparing it with: 1) the obtained highest clock frequency of array divider $F_{\max}(divArray)$; 2) the obtained highest clock frequency of the algorithm which performs division by multiplying the dividend with the divisor's reciprocal $F_{\max}(MultByInvDiv)$. To obtain both $F_{\max}(divArray)$ and $F_{\max}(MultByInvDiv)$ a separate clock cycle is used for the rounding operation.

The data obtained under equal test conditions in the ten FPGA families show that:

- For (3), $F_{\max}(divInt)$ is higher than $F_{\max}(divArray)$ from 72.22% to 85.32%
- For (4), $F_{\max}(divInt)$ is higher than $F_{\max}(divArray)$ from 41.67% to 47.48%
- For (3), $F_{\max}(divInt)$ is higher than $F_{\max}(MultByInvDiv)$ from 37.29% to 69.48%
- For (4), $F_{\max}(divInt)$ is higher than $F_{\max}(MultByInvDiv)$ from 29.5% to 52.15%.

The filter's size, coefficients' magnitudes and count of clock cycles are selected to be optimal in terms of $F_{\max}(divArray)$ and $F_{\max}(MultByInvDiv)$.

The experimental results prove the speed capabilities of the proposed integer square root algorithm:

- $F_{\max}(squareInt) > F_{\max}(mem)$ for all values of the radical which can be calculated in FPGA based gradient magnitude under all test conditions.
- $nTclk_{\min}(squareInt) = const = 1$.

All existing integer square root algorithms have two stages: 1) execution of operation square root over a radical; 2) rounding operation. In the proposed integer square root algorithm these two stahes are combined into a single operation executed as a number of parallel comparisons.

Therefore, with respect to the technology of executing comparison in FPGA, $F_{\max}(squareInt)$ depends on the propagation delay of ripple carry adder and sign check operation.

The proposed algorithm's speed characteristics are assessed on a comparative basis using the radix-2 iterative square root algorithm. The comparison between $F_{\max}(squareInt)$ and the highest operating frequency of the radix-2 iterative square root $F_{\max}(IterativeSquare)$ is conducted on the basis of executing the iterative square root within two clock cycles - a separate clock cycle is used for rounding. The comparison results show that $F_{\max}(squareInt)$ is higher than $F_{\max}(IterativeSquare)$ from 82.9% to 87.1%.

5. Conclusions

None of the existing so far integer division and squarte root algorithms is capable of providing accurate result within a single clock cycle at clock frequency exceeding the maximum operationg frequency of embedded memory. Investigated in this paper are specifically designed FPGA based integer division and integer square root algorithms. The mathematical accuracy of the algorithms is analyzed and proved. Their speed capabilities are experimentally ascertained in ten Intel (Altera) FPGA families in terms of maximum operating frequency and minimum number of clock cycles. The obtained data with rrspect to the maximum operationg frequency of embedded memory proves that both algorithms can be used as tools for the purpose of achieving ultimate execution speed in FPGA based gradient edge detection which uses Gaussian filtering.

References

[1]. Addanki Purna Ramesh and I. Jayaram Kumar, Implementation of Integer Square Root, International Journal of Engineering Science and Innovative Technolog (IJESIT), Volume 4, Issue 1, January 2015, pp. 105-113

[2]. Aiman Zakwan Jidin and Tole Sutikno, FPGA Implementation of Low-Area Square Root Calculator, Telkomnika, Vol. 13, No. 4, December 2015, pp. 1145~1152

[3]. Anuja Nanhe, Gaurav Gawali, Shashank Ahire, K. Sivasankaran, Implementation of Fixed and Floating Point Square Root Using Nonrestoring Algorithm on FPGA, International Journal of Computer and Electrical Engineering, vol. 5, no. 5, 2013, pp. 533-537

[4]. Arpita Jena and Siba Ku Panda, FPGA-VHDL Implementation of Pipelined Square root Circuit for VLSI Signal Processing Applications, International Journal of Computer Applications, Volume 142 – No.5, May 2016

[5]. Ayan Palchaudhuri, Rajat Subhra Chakraborty, High Performance Integer Arithmetic Circuit Design on FPGA: Architecture, Implementation and Design Automation, Springer, 2016

[6]. Carl Hamacher, Zvonko Vranesic, Safwat Zaky, Naraig Manjikian, Computer Organization and Embedded Systems, McGraw-Hill, 2012

[7]. D. Kromichev, FPGA Based Canny: Advanced Integer Division Algorithm, 2021 12th National Conference with International Participation (ELECTRONICA), Sofia, Bulgaria, 2021, pp. 1-4

[8]. D. Kromichev, FPGA Based Edge Detection: Integer Division Algorithm with a Constant Divisor, 2022 13th National Conference with International Participation (ELECTRONICA), Sofia, Bulgaria, 2022, pp. 1-4

[9]. Dimitre Kromichev, FPGA Based EdgeDetection: Integer Square Root Algorithm, Proceedings of 16th International Engineering Conference on Communications, Electromagnetics and Medical Applications (CEMA'22), 2022, pp. 25-29

[10]. Dimitre Kromichev, Ultimate Execution Speed in FPGA Based Edge Detection: Technology of Accurate Rounding in Integer Division with a Variable Divisor, Computer Science and Technologies, Vol. 1, 2022, pp. 15-24

[11]. Dimitre Kromichev, Ultimate Execution Speed in FPGA Based Edge Detection: Investigating the Speed Parameters of Iterative Integer Division, Computer Science and Technologies, Vol. 1, 2022, pp. 25-35
[12]. Dinechin, F., Didier, L., Table-Based Division by Small Integer Constants, Reconfigurable Computing: Architectures, Tools and Applications. Lecture Notes in Computer Science, Volume 7199, 2012, pp. 53-63
[13]. Fernando Martin del Campo, Alicia Morales-Reyes, Roberto Perez-Andrade, Rene Cumplido and Aldo G. Orozco-Lugo Claudia Feregrino, A multi-cycle fixed point square Root and module for FPGAs, IEICE Electronics Express, Vol. 1 – No. 7, 2008, pp. 957-966
[14]. Florent de Dinechin, Mioara Maria Joldes, Bogdan Pasca, and Guillaume Revy, Multiplicative square root algorithms for FPGAs., International Conference on Field Programmable Logic and Applications, Aug 2010, pp.14-17
[15]. Florent de Dinechin, Silviu-Ioan Filip, Luc Forget, Martin Kumm, Table-Based versus Shift-And-Add constant multipliers for FPGAs, ARITH 2019 - 26th IEEE Symposium on Computer Arithmetic, 2019, pp.1-8
[16]. G. Anupama and A. Raghuram, Novel Square Root Algorithm and its FPGA Implementation, International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR), Vol. 3 (10), 2015, pp. 64-67
[17]. Kilts, S., Advanced FPGA Design. Architecture, Implementation, and Optimization, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2007
[18]. Moller, N., Granlund, T., Improved division by invariant integers, IEEE Transactions on Computers, Vol.60, 2011, pp. 165-175
[19]. Muhazam Mustapha, Burinieamman Jayabalan and Anis Shahida Niza Mokhtar, Intel/Altera FPGA Implementation of CORDIC Square Root Algorithm, Journal of Computer Science & Computational Mathematics, Vol. 11, Issue 3, September 2021, pp. 52-56
[20]. Purna Ramesh Addanki, Implementation of Integer Square Root, International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT), Vol. 4 (1), 2015, pp. 104-112
[21]. S. Lachowicz, H-J. Pfleiderer, Fast Evaluation of the Square Root and Other Nonlinear Functions in FPGA, IEEE International Symposium on Electronic Design, Test & Applications - DELTA, 2008, pp. 474-477
[22]. Tole Sutikno, An Optimized Square Root Algorithm for Implementation in FPGA Hardware, Telkomnika, Vol. 8, No. 1, 2010, pp. 1 – 8
[23]. Tole Sutikno, An Efficient Implementation of the Non Restoring Square Root Algorithm in Gate Level, International Journal of Computer Theory and Engineering, Vol. 3 (1), 2012, pp. 46-51
[24]. Tole Sutikno, Aiman Zakwan Jidin, Auzani Jidin and Nik Rumzi Nik Idris, VHDL Coding of Modified Non-Restoring Square Root Calculator, International Journal of Reconfigurable and Embedded Systems (IJRES) , Vol. 1 (1), 2012, pp. 37~42
[25]. Vladitiu, M., Computer Arithmetic: Algorithms and Hardware Implementations, 2012
[26]. Werbrouck, A. E. Cavagnino D., Efficient Algorithms for Integer Division by Constants Using Multiplication, The Computer Journal 51 (4), 2008, pp. 470-480
[27]. Zhongcheng Zhou and Jingchun Hu, A Novel Square Root Algorithm and its FPGA Simulation, Journal of Physics: Conference Series, Volume 1314, 3rd International Conference on Electrical, Mechanical and Computer Engineering 9–11 August 2019, pp. 168-176

For contacts:
Dimitre Zhivkov Kromichev, PhD
Department of Marketing and International Economic Relations
University of Plovdiv
e-mail: dkromichev@yahoo.com

THE EXPERIMENTAL BASIS OF INVESTIGATIONS IN FPGA BASED GRADIENT EDGE DETECTION WITH RESPECT TO ACCURATE CALCULATION OF GAUSSIAN AND SOBEL FILTERS

Dimitre Kromichev

Abstract: Gradien based edge detection which employs Gaussian weighted average function is one of the most widely implemented contour finding approachrs in FPGA. For the FPGA based gradient edge detection realizations to be objectively analyzed and assessed it is required that a wide range of Gaussian and Sobel filters with different coefficients should be tested in order to reach conclusive results. This defines a very specific demand for Gaussian and Sobel filters of different coefficients' magnitudes which are accurately calculated with no resorting to any approximation whatsoever as it has been the usual practice presented in the existing literature so far. To this end, the current paper focuses on experimentally investigating the speed of FPGA based gradient edge detection by using Gaussian and Sobel filters with a wide range of different accurately calculated coefficients.
Keywords: FPGA, gradient based edge detection, Gaussian filter, Sobel filter, coefficients

1. Introduction

Most of the studies of software and FPGA hardware implemented gradient edge detection use the smallest Gauusian filter size [5][9][8], and these studies prefer using Gauusian filter with the smallest coefficients' magnitudes [14][15][17]. Over the last decade in a number of works it has been pointed out that the analyses in gradient edge detection implementations, both in software and FPGA hardware, need to be realized on the basis of using Gaussian filters of diferent sizes and coefficients' magnitudes [2][7][18][19]. In both groups of studies, the issue of the accuracy of calcultating these filters and particularly the situation with the different coefficients' magnitudes are not addressed. Another problem to be found in the existing literure [3] is that the sigmas given for the used filter sizes and the coefficients' magnitudes do not correspond to the exact values. When the cited sigmas are used in the accurate calculation of the filters the results show that the obtained filters difffer from those presented in the published studies in terms of their coefficients [1]. This is due to the fact that cited sigmas are generaly given as decimal fractions with a single digit place after the decimal point which leads to deviations from accuracy when the resulting fractions are rounded to integer coefficient values. There is a number of FPGA implementations of 5x5 eight directional Sobel filters [12][20][21]. All employ different coefficients without mathematically sustainable technique by which they are obtained in order for the obtained edge detection results ro be convincing in terms of the technology of the Sobel computations and their speed characteristics. There are studies in which it is admitted that approximation techniques are used for applying Sobel filters [4][10][13][16].

The objective of this paper is to focus on the experimental basis of the unvestugation of the speed capabilities of FPGA based gradient edge detection by using a wide wide range of accurately calculating Gaussian and Sobel filters of various coeficients' magnitudes. The used tools: are: Scilab, VHDL, Quartus, TimeQuest Timing Analyzer, ModelSim. Ten Intel (Altera) FPGA families are employed in the investigations. Only gray scale images are relevant for the conducted analyses and the obtained experimental data.

2. Calculating Gussian filters: accuracy and functionality

The coefficients' magnitudes define the maximum operating frequency $F_{\max}$ of FPGA based Gussian filtering. The size of the filter defines the minimum number of clock cycles $nTclk_{\min}$ taken by the Gussian filtering to execute on the basis of the used organization of computations, thus directly impacting the pipelining efficiency in the entire FPGA based gradient edge detection method. This is due to the fact that it is an integer arithmetic operation in Gaussian filtering that produces the deepest logic in hardware based gradient edge detection.

There are two main technologies of calculating Gaussian filter size and coefficients.

1) Binominal expansion. This approach has serious limitations and and cannot produce the diversity of filters needed for the comprehensive investigation in FPGA based gradient edge detection.

2) Calculate size and coefficients directly from

$$G(x,y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

where

G is the Gaussian mask weight with coordinates x and y,

σ is the standard deviation of Gaussian distribution,

$\frac{1}{2\pi\sigma^2}$ is normalization constant

$$-w \le x, y \le w, \quad w = \frac{z-1}{2}, \quad w = \{1,2,..\}, \quad 0 < G(x,y) < 1.$$

There are two approaches depending on the inputs.

Approach #1. σ and z are given; looking for the integer representations of $G(0,0) = \frac{1}{2\pi\sigma^2}$.
To transform coefficients into natural numbers, two steps are required: a) select the positive real number V_{MINF} representing $G(w,w)$, $w = \frac{z-1}{2}$, $w = \{1,2,..\}$; b) select a natural number k such that $k * V_{MINF} = N, N = \{1,2,..\}$. Hence,

$$k = \frac{G(w,w)}{V_{MINF}} = \frac{N}{V_{MINF}} = V_{MAXN}, \; V_{MAXN} \in N. \quad (2)$$

To obtain all the integer coeffficients of Gaussian filter, each of the remaning $z*z-4$ floating point coefficients is multiplied by V_{MAXN} and rounded to an integer. The calculated integer coefficients must be multiplied by $\frac{1}{2\pi\sigma^2}$ and rounded to obtain the accurate integer coefficients.

Approach #2. $C_{MIN} \in N$, $C_{MIN} = \{1,2,..\}$, $C_{MAX} \in N$ and z are given; lookimg for σ. C_{MIN} is the coefficient at $G(w,w)$, $w = \frac{z-1}{2}$, $w = \{1,2,..\}$. C_{MAX} is the coefficient at $G(0,0)$. For $C_{MIN} = 1$ $\sigma = \sqrt{\frac{w^2}{\ln(C_{MAx})}}$, and for $C_{\min} > 1$ $\sigma = \sqrt{\frac{w^2}{\ln\left(\frac{C_{MAx}}{C_{MIN}}\right)}}$. For each decimal value a different σ is calculated. Therefore, every C_{MAX} for a particular $w = \frac{z-1}{2}$ represents an interval of σ's:

$$O(C_{MAX}) = \left[\sqrt{\frac{w^2}{\ln\left(\frac{C_{MAx}+0.4}{C_{MIN}}\right)}}, \sqrt{\frac{w^2}{\ln\left(\frac{C_{MAx}-0.5}{C_{MIN}}\right)}} \right] \quad (3)$$

3. The magnitudes of Gaussian filter's coefficients define the size of multiplier in FPGA

In FPGA, THE size of hard multiplier depends on C_{MAX} according to $\log_2(C_{MAx})-1$ Thus, $C_{MAX} \in [2^{nL}, 2^{nH}-1]$ for $w=\{1,2,..,n\}$, $nL \in N$, $nH \in N$. From (5) it follows that all O's are within $\left[\sqrt{\frac{w^2}{\ln\left(\frac{2^{nL}+0.4}{C_{MIN}}\right)}}, \sqrt{\frac{w^2}{\ln\left(\frac{(2^{nH}-1)-0.5}{C_{MIN}}\right)}} \right]$. 2^{nL} is defined for $w=\frac{z-1}{2}=1$ and $nL=\log_2\left(\sqrt{\sum_{i=1}^{z*z} c_i}\right)$, $c \in \mathbb{N}$. Defining the maximum input data width according to the multiplier size is based on $2^{nH}-1 \le 2^{\log 2^{(2^s)}}-1$ where s denotes the required input width of the multiplier. This inequality is satisfied for $C_{MAX} \le 2^s-1$.

4. Calculating Sobel filters: accuracy and functionality

There are two main technologies of calculating Sobel filters:
1) Using directional derivative vectors defined as the quotient of dividing the density difference by the distance to the neighbour. For 3x3 Sobel filter four directional gradients and a single distance to the neighbour are defined. For 5x5 Sobel filter eleven directional gradients and four distances to the neighbour are required. The calculations for the square neighbourhood in Figure 1 are

N1	**N2**	**N3**	**N4**	**N5**
N6	**N7**	**N8**	**N9**	**N10**
N11	**N12**	**N13**	**N14**	**N15**
N16	**N17**	**N18**	**N19**	**N20**
N21	**N22**	**N23**	**N24**	**N25**

Fig 1. Neighbourhood for calculating 5x5 Sobel filter

$$VSG = \frac{(N9-N17)}{D1}*\frac{[1,1]}{D1} + \frac{(N7-N19)}{D1}*\frac{[-1,1]}{D1} + (N8-N18)*[O,1] + (N14-N12)*[1,0] +$$
$$\frac{(N4-N22)}{D2}*\frac{[1,2]}{D2} + \frac{(N2-N24)}{D2}*\frac{[-1,2]}{D2} + \frac{(N5-N21)}{D3}*\frac{[2,2]}{D3} + \frac{(N1-N25)}{D3}*\frac{[-2,2]}{D3} +$$
$$\frac{(N10-N16)}{D2}*\frac{[2,1]}{D2} + \frac{(N6-N20)}{D2}*\frac{[-2,1]}{D2} + \frac{(N3-N23)}{D4}*\frac{[0,2]}{D4} + \frac{(N15-N11)}{D4}*\frac{[2,0]}{D4} \quad (4)$$

where

VSG denotes vector sum of the gradient

$D1$ denotes distance to the neighbour and $D1=\sqrt{2}$

$D2$ denotes distance to the neighbour and $D2=\sqrt{5}$

$D3$ denotes distance to the neighbour and $D3=\sqrt{8}$

$D4$ denotes distance to the neighbour and $D4 = 2$.

After replacing $D1$, $D2$, $D3$ and $D4$ with their values the denominators in (4) are 2, 4, 5 and 8. Needed is a number by which to multiply the numerators, thus obtaining integer coefficients.

By using different numbers to multiply various coefficients magnitudes can be obtained.

2) Direct calculation from the rows and columns of the neighbiurhood defined by the size of Sobel filter. Using the positions of the rows *i* and the columns *j* the 5x5 filters for x-gradient $Grad_X$ and y-gradient $Grad_Y$ are calculated by: $Grad_X = \frac{j}{i^2 + j^2}$ and $Grad_Y = \frac{i}{i^2 + j^2}$.

5. Experimental basis of FPGA based Gaussian filtering: investigating F_{max} and $nTclk_{min}$. Organization of computations

The tasks are:

1) Using accurate sigmas in accordance with Approach #1 ana Approach #2 from Section 2 calculate Gaussian filters of ten different sizes and for each filter size calculate a set of ten different coefficients with the central coefficient value being in the range of $2^4 - 1$ to $2^{17} - 1$.

2) Design an organization of computations in FPGA based Gaussian filtering in which:

- Image pixels are set at the Gaussian filter's input at a rate of a pixel per clock cycle
- Image is processed in a row-wise fashion
- Image pixels are set at Gaussian filter'sinput by columns, left to right.

3) Investigate the proposed organization of Gaussian filtering computations for F_{max} and $nTclk_{min}$.

F_{max} is a function of input data width which depends on the order of arithmetic operations. By using the distributive law the order is: *multiplication -> division -> addition*. This guarantees that the maximum accumulator width in Figure 2 is 8 bits. The RTL design implementing this concept is in Figure 3. The integer division algorithm from [6] is used. Multiplication produces the deepest logic. Therefore, hard multiplier defines the optimal value of F_{max} in FPGA based Gaussian filtering. Hard miltiplier's F_{max} depends on its size. Therefore, the selection of multiplier size is

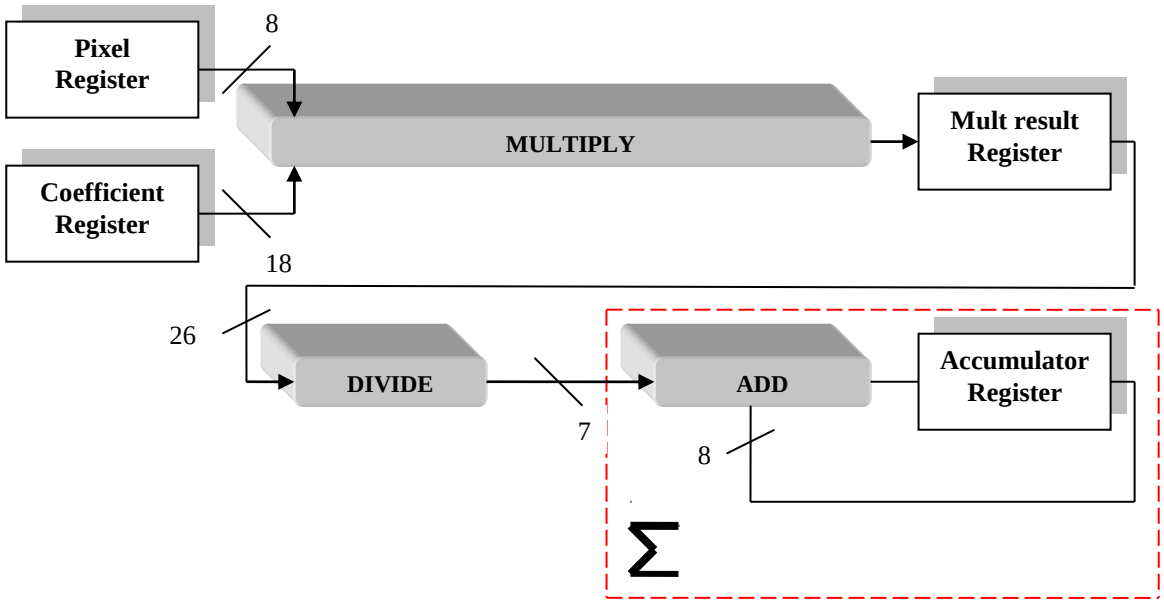


Fig. 2. Organization of computations implementing distributive law with input data widths

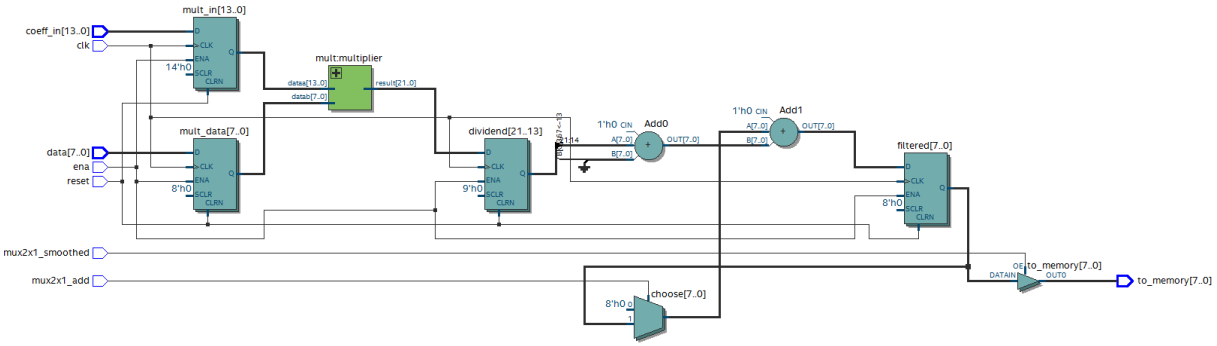


Fig. 3. RTL design of Gaussian filtering implementing distributive law

critical and it is realized on the basis of two criteria: a) it must be a single multiplier supported by all FPGA families; b) it must guarantee universality of Gaussian filtering computations for the widest range of coefficients' magnitudes. Of the two multiplier sizes supported by all FPGA families - 9x9 and 18x18, the criteria are satisfied only by 18x18,hard multiplier.

FPGA based Gaussian filtering is based on parallel computations according to

$$Taop(A1, A2,.., AF)(n-(n-m+1))+Taop(A1, A2,.., AF)(n-(n-m))<Tclk \quad (5)$$

where

$aop(A1, A2,.., AF)((n-(n-m)),..,(n))$ is a particular arithmetic operation from set A1, A2, .., AF.

$Taop(A1, A2,.., AF)(n-(n-m))$ is the propagation delay of every arithmetic operation in sets $A1, A2,.., AF$.

Parallelism guarantees that for a Gaussian filter of size zxz the number of input image pixels which are processed simultaneously is equal to z . This concept is presented in Figure 4.

The RTL design of the entire model of parallel Gaussian filtering computations for filter of size 5x5 is presented below (Figure 5).

According to the investigation methodology, the organization of computations is tested for all of the calculated filter sizes and coefficients' magnitudes. The representative data for filter 5x5 regarding F_{max} and $nTclk_{min}$ are in Table 1. Comparative results for $nTclk_{min}$ at F_{max} are in Table 2.

The experimental data show that F_{max} of the designed organization of computations is defined by F_{max} of the hard multiplier and cannot be impacted by the filter's size and the coefficients's magnitudes.For Cyclone II-V and Stratix I-V F_{max} using the division algorithm from [6] is from 84.3% to 86.3% higher than F_{max} using array divider. For Cyclone, F_{max} is 85.7% higher. In Cyclone II-V and Stratix I-V F_{max} using division algorithm from [6] is from 5.6% to 51.7% higher than F_{max} using division by multiplication with the reciprocal of $divisor$ .In Cyclone, F_{max} is 66% higher than F_{max} when using division by multiplication with the reciprocal of $divisor$.

The designed organization of computations is constantly executed for $nTclk_{min} = z + 1$, and it is from 81.3 to 83.4% faster than the array divider and from 77% to 80% faster than the division by multiplication with the reciprocal of $divisor$.

6. Experimental basis of FPGA based Sobel filtering: investigating F_{max} and $nTclk_{min}$. Organization of computations

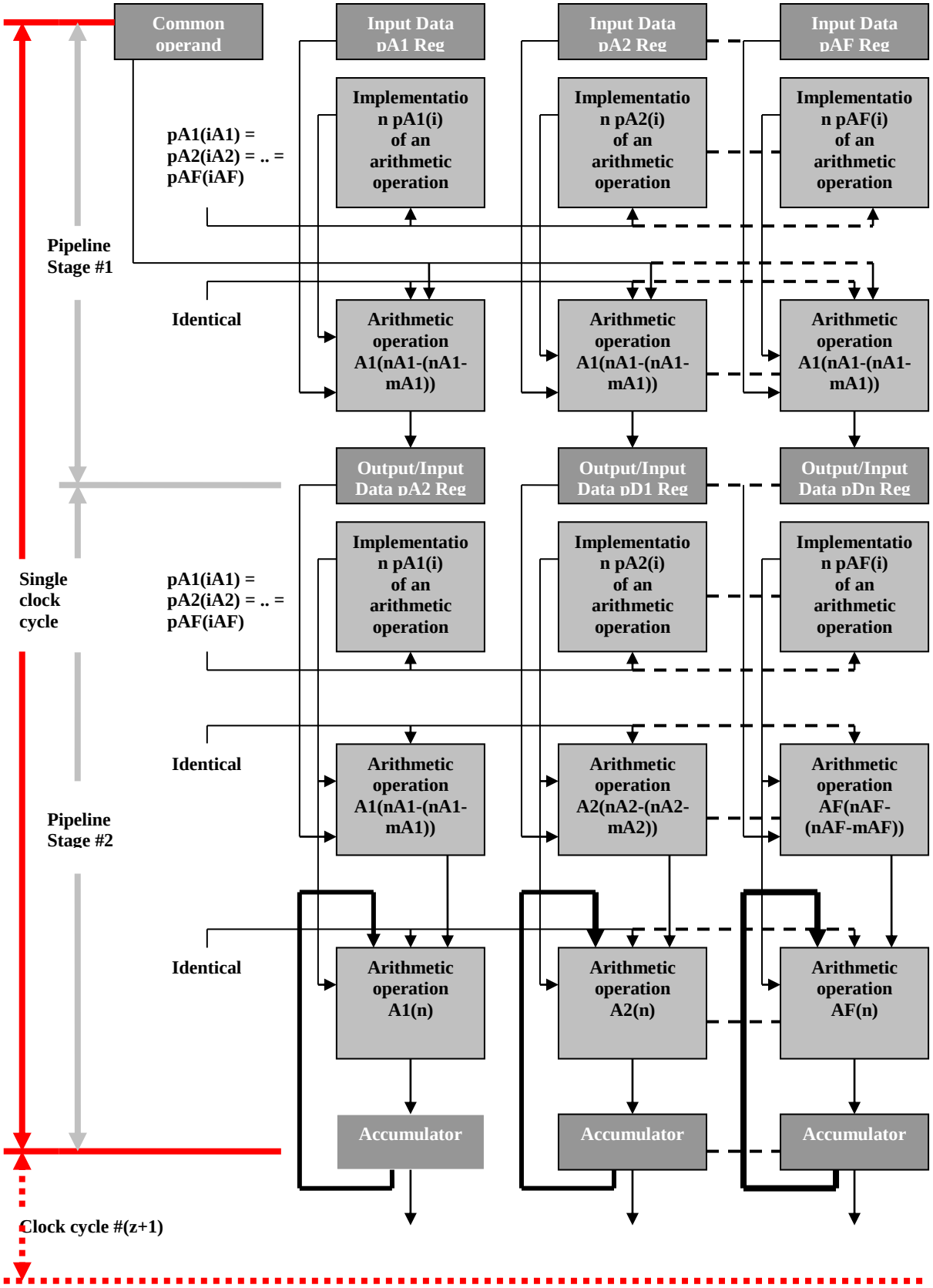


Fig. 4. The concept of parallel computations in FPGA based Gaussian filtering

The tasks are:

1) Using the accurate calculations Section 4 calculate Sobel filters of sizes 3x3, 5x5, 7x7 and 9x9, and for each filter size calculate a set of 5 different coefficients.

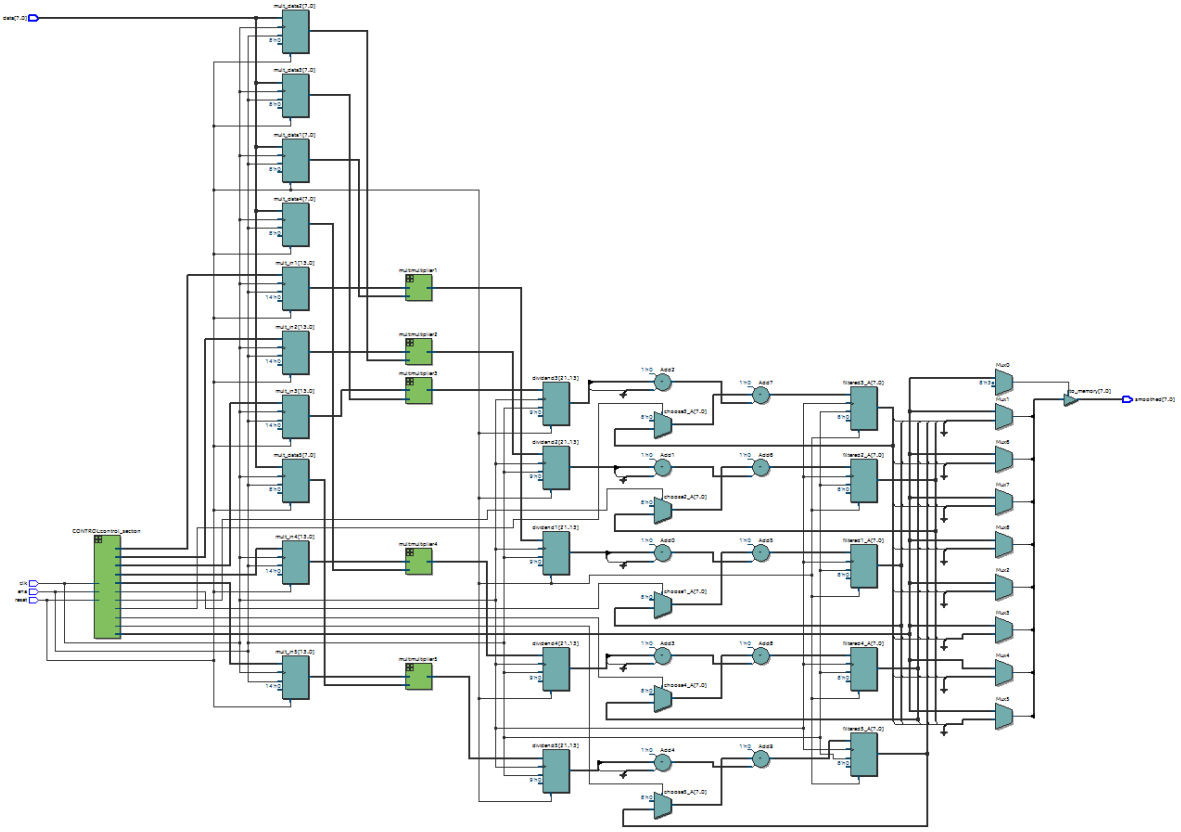


Fig. 5. RTL design of the entire model of parallel Gaussian fiiltering for filter of size 5x5

Table 1 Speed of Gaussian filtering for 5x5 filter and using integer division algorithm from [6]		
FPGA family	F_{max} **(in MHz)**	$nTclk_{min}$
Cyclone	132	6
Cyclone II	248	6
Cyclone III	291	6
Cyclone IV	159	6
Cyclone V	295	6
Stratix	278	6
Stratix II	401	6
Stratix III	503	6
Stratix IV	505	6
Stratix V	507	6

2) Design an organization of computations in FPGA based Sobel filtering

3) Investigate the proposed organization of Sobel filtering computations for F_{max} and $nTclk_{min}$.

In the designed organization of computations all identical calculations for x-gradient and y-gradient are executed in parallel and all pixels in the square neighbourhood must be accessible within a single clock cycle by both x-gradient and y-gradient caculations. Only positive integers or 0 are used as inputs to arithmetic operations. Mathematical accuracy is guaranteed on the basis of negative coefficients have fixed locations: the left column of x-gradient, and the upper row of y-gradient. The negative sign is replaced with the position of negative coefficients (Table 3). All arithmatic opertations in Stage I and Stage II are executed by using only positive coefficients. Stage III is critical to defining F_{max} .In stage IV the division algorithm from [6] is used.

Table 2. $nTclk_{\min}$ of Gaussian filtering at $F_{\max}$ by using different approaches with $z = 5$			
Organization of computations in Gaussian filtering	**By using integer division algorithm from [6]**	**By using array divider**	**By using multiplication with the reciprocal of *divisor***
Sequential	-	34	28
Separanility without applying distributive low by columns & rows	-	36	30
Separanility with applying distributive low by columns & rows	-	32	26
Symmetry with simultaneous multiplication	-	34	28
Symmetry with sequential multiplication	-	36	30
The designed organization of parallel computations	6	-	-

Table 3. Parallelism in Sobel for x- and y-gradients

Stage	**x-gradient**						**y-gradient**					
	>> 2	**< 1**	**Add**	**Sub**	**>0/ =0**	**Sign**	**>> 2**	**< 1**	**Add**	**Sub**	**>0/ =0**	**Sign**
	Input values $\in \mathbb{N}/=0$	**Input values** $\in \mathbb{N}/=0$	**Input values** $\in \mathbb{N}/=0$	**Input values** $\in \mathbb{N}/=0$	**Input** $\in \mathbb{Z}$	**+** **-** **0**	**Input values** $\in \mathbb{N}/=0$	**Input values** $\in \mathbb{N}/=0$	**Input values** $\in \mathbb{N}/=0$	**Input values** $\in \mathbb{N}/=0$	**Input** $\in \mathbb{Z}$	**+** **-** **0**
I		2	2					2	2			
II			2						2			
III				3	3	1				3	3	1
IV	1						1					

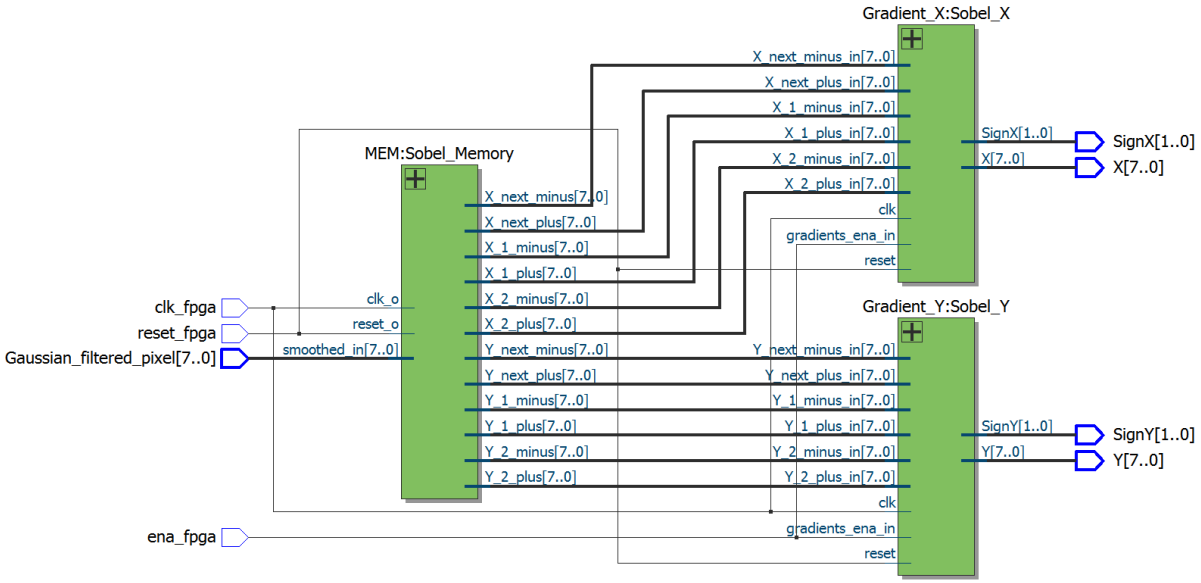


Fig. 6. RTL design of the proposed organization of Sobel filtering computations

The RTL design of the organization of Sobel computations based on parallelism is in Figure 6. According to the investigation methodology, the organization of computations is tested for all of thecalculated filter sizes and coefficients' magnitudes. Because there is no available accurate calculation of x- and y-gradients $F_{\max}$ and $nTclk_{\min}$ of the proposed organization of Sobel filtering computations cannot be tested on a comparative basis. The obtained results are shown in Table 4.

Table 4. F_{max} and $nTclk_{min}$ for the designed organization of Sobel filtering computations		
FPGA family	F_{max} **(in MHz)**	$nTclk_{min}$
Cyclone	232	4
Cyclone II	319	4
Cyclone III	367	4
Cyclone iV	370	4
Cyclone V	388	4
Stratix	331	4
Stratix II	464	4
Stratix III	589	4
Stratix IV	637	4
Stratix V	685	4

Analysis of the data for F_{max} of the proposed organizations of computations in Gaussian and Sobel filtering proves that F_{max} in Gaussian filtering is higher than F_{max} in Sobel filtering for all calculated Sobel filter sizes and coefficients' magnitudes under all test conditions. The key to this achivement is the new way of handling the negative coefficients and using parallelism. $nTclk_{min}$ calculated Sobel filter sizes and coefficients' magnitudes is a constant and is equal to 4.

7. Conclusions

Presented is an experimental investigation of the designed organization of computations in Gaussian and Sobel filtering for the purposes of FPGA based gradient edge detection. The emphasis is analyzing the speed capabilities of FPGA based Gaussian and Sobel filtering by implementing different filters with respect to size and coefficients' magnitudes which are accurately calculated. The obtained experimental data show that the proposed designof Gaussian filtering using parallelism and distributive law provides the highest F_{max} compared to the existing realizations. $nTclk_{min}$ of Gaussian filtering is a constant and is equal to the side of Gaussian filter plus one and is the fastest among the existing realizations.. $nTclk_{min}$ of Sobel filtering is a constant under all test conditions and is equal to four.

References

[1]. Alain Horé, Orly Yadid-Pecht, On the design of optimal 2D filters for efficient hardware implementations of image processing algorithms by using power-of-two terms Journal of Real-Time Image Processing Volume 6 Issue 2 April 2019 pp 429–457

[2]. Arun Mahajan, Paramveer Gill 2D Convolution Operation with Partial Buffering Implementation on FPGA I.J. Image, Graphics and Signal Processing, 2016, 12, 55-61

[3]. A. Al-Marakeby, Automatic Generation of Hardware Architecture of 2D Convolvers. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) Volume: 08, Issue: 04 Apr 2021 Page 1565 1570

[4]. Charu, P. Kumar and K. Singh, Hardware Model for Efficient Edge Detection in Images, 2020 IEEE International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON), 2020, pp. 798-802

[5]. Dehghani, A., Kavari, A., Kalbasi, M. et al., A new approach for design of an efficient FPGA-based reconfigurable convolver for image processing, The Journal of Supercomputing, 2021, pp. 54-62

[6]. Enzeng Dong, Yao Zhao, Xiao Yu, Junchao Zhu, Chao Chen, An Improved NMS-Based Adaptive Edge Detection Method and Its FPGA Implementation, Hindawi Publishing Corporation Journal of Sensors,Volume 10, 2016, pp. 512-520

[7]. F. Cabello, J. León, Y. Iano and R. Arthur, Implementation of a fixed-point 2D Gaussian Filter for Image Processing based on FPGA, 2015 Signal Processing: Algorithms, Architectures, Arrangements, and Applications (SPA),, 2015, pp. 28-33
[8]. G. Akkad, R. Ayoubi and A. Abche, Constant Time Hardware Architecture for a Gaussian Smoothing Filter, 2018 International Conference on Signal Processing and Information Security (ICSPIS), 2018, pp. 1-4
[9]. Hadise Ramezani, Majid Mohammadi and Amir Sabbagh Molahoseini, An Efficient Implementation of Low-Latency Two-Dimensional Gaussian Smoothing Filter using Approximate Carry-Save Adder, Journal of Circuits, Systems and Computers, Vol. 30, No. 02, 2021, pp. 52-58
[10]. Iman Kadhim Ajlan, AlaaAbdulhussein Al-magsoosi, Hayder G. Murad A Comparative Study of Edge Detection Techniques in Digital Images Journal of Mechanical Engineering Research and Developments, Vol. 44, No. 7, 2021 pp. 109-119
[12]. Kaiqiang Zhanga, Qiang Liao, FPGA implementation of eight-direction Sobel edge detection algorithm based on adaptive threshold, Journal of Physics: Conference Series 1678, 2020, pp.1-9
[13]. Kun Zhang, Yuming Zhang, Pu Wang, Ye Tian, Jun Yang, An Improved Sobel Edge Algorithm and FPGA, Implementation 8th International Congress of Information and Communication Technology (ICICT-2018), 131, 2018, pp. 243–248
[14]. M. Kalbasi and H. Nikmehr, A Fine-Grained Pipelined 2-D Convolver for High-Performance Applications, in IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, vol. 66, no. 1, Jan. 2019, pp. 146-150
[15]. M. Sreenivasulu and T. Meenpal, Efficient Hardware Implementation of 2D Convolution on FPGA for Image Processing Application, 2019 IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT), 2019, pp. 1-5
[16]. Shraddha Y. Swami, Jayashree S. Awati, Implementation of Edge Detection Filter using FPGA, International Journal of Electrical, Electronics and Data Communication, Volume-5, Issue-6, 2017, pp. 83-87
[17]. Sa'ed Abed, Implementation of Edge Detection Algorithm using FPGA Reconfigurable Hardware, Journal of Engineering Research, Vol 8, No 1, 2020, pp.867-872
[18]. W. Wang and G. Sun, A DSP48-Based Reconfigurable 2-D Convolver on FPGA, 2019 International Conference on Virtual Reality and Intelligent Systems (ICVRIS), 2019, pp. 342- 345
[19]. Tarun Tyagi, Vishal Mishra, 2D Gaussian Filter for Image Processing: A Study, IJSTE – International Journal of Science Technology & Engineering, Volume 3, Issue 06, December 2016, pp. 74-82
[20]. Yang, Y. and Wei, L. Grey Relevancy Degree and Improved Eight-Direction Sobel Operator Edge Detection, Journal of Signal and Information Processing, 12, 2021, pp. 43-55
[21]. Zou Xiangxi, Zhang Yonghui, Zhang Shuaiyan, Zhang Jian. FPGA implementation of edge detection for Sobel operator in eight directions. In: IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems. Chengdu. 2018, pp. 520-523
[22]. Z. Xiangxi, Z. Yonghui, Z. Shuaiyan and Z. Jian, FPGA implementation of edge detection for Sobel operator in eight directions, 2018 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems (APCCAS), 2018, pp. 520-523

For contacts:
Dimitre Zhivkov Kromichev, PhD
Department of Marketing and International Economic Relations
University of Plovdiv
e-mail: dkromichev@yahoo.com

БЛОКЧЕЙН ТЕХНОЛОГИИ, ПРИЛОЖИМИ В ЛОГИСТИКАТА

Венелин Г. Малешков

Резюме: Блокчейн технологиите имат потенциала да променят коренно логистиката и управлението на веригата за доставки. Използвайки възможностите на блокчейн технологиите, бизнесът може да увеличи ефективността и да намали разходите си, както и да подобри сигурността и доверието в операциите. Въпреки това, все още има трудности за преодоляване във връзка с възприемането и изпълнението. В тази статия са разгледани различните блокчейн технологии, приложими в сферата на логистиката, представени са ползите и ограниченията на блокчейн технологиите в този аспект и се предлага обобщена класификация на съществуващите технологии, използвани в логистичния сектор.
Ключови думи: блокчейн, логистика, управление на веригата за доставки

BLOCKCHAIN TECHNOLOGIES USED IN THE LOGISTIC SECTOR

Venelin G. Maleshkov

Abstract: Blockchain technologies have the potential to fundamentally change logistics and supply chain management. By leveraging the capabilities of blockchain technology, businesses can increase efficiency and reduce costs, as well as improve security and trust in operations. However, there are still difficulties to overcome in terms of adoption and implementation. This article examines the various blockchain technologies used in the logistic sector, presents the benefits and limitations of blockchain technologies in this aspect, and offers a summary classification of the existing technologies used in the logistics sector.
Keywords: blockchain technology, logistic, supply chain management

1. Въведение

Логистиката и управлението на веригата за доставки са важна част от днешните бизнес операции. Способността ефективно и ефикасно да се транспортират стоки и да се извършват услуги е ключова, за да може да се удовлетворят желанията и нуждите на клиентите, поддържайки конкурентоспособност. Въпреки това, традиционните логистични системи често са неефективни, непрозрачни и имат проблеми със сигурността [1]. В последните години блокчейн технологиите се доказват като потенциално решение на тези трудности [2]. Предоставяйки сигурна и децентрализирана среда за проследяване на активи и транзакции, блокчейн технологиите могат да подобрят прозрачността, проследяемостта и доверието в логистичните операции.

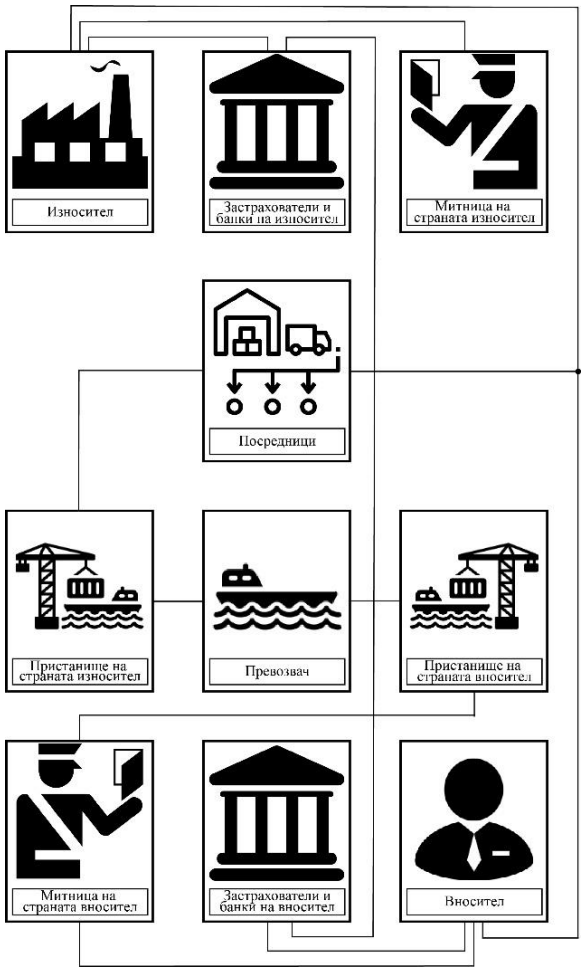
2. Блокчейн технологиите в съвременния бизнес

Същността на блокчейн технологиите се базира на концепцията за създаване на устойчиви на фалшифициране цифрови системи с времево клеймо (**tamper - proof timestamping systems**) [3], като началото е поставено през 1991 година от Stuart Haber и W. Scott Stornetta с метод за поставяне на времеви печат върху цифрови документи, използвайки криптографска структура, наречена Дървото на Меркел [4]. През 2008 година в [5] е представена на света първата успешна имплементация на блокчейн технология. Биткойн, криптовалутата, която е изградена на тази блокчейн технология, позволява сигурни peer - to - peer трансакции без нужда от одобрение от трета страна. Изобретяването на биткойн поставя основите на изследването на блокчейн технологията като децентрализирана и надеждна система.

След представянето на Биткойн, приложението на блокчейн технологиите започва рязко да се разширява [6],[7],[8],[9]. През 2013 година, Vitalik Buterin предлага Етериум като блокчейн платформа, която представя концепцията на умните договори (smart contract) [10]. Те позволяват изпълнението на програмируеми споразумения, отварящи възможност за разработването на децентрализирани приложения (DApps) и нови платформи, базирани на блокчейн технологията. Към настоящия момент има над 37000 такива разработени приложения в различни области - финанси, здравеопазване, образование, логистика или управление на веригата за доставки и др. [11] Всички те прилагат блокчейн технологиите, за да подобрят сигурността, прозрачността и ефикасността на съответния бизнес процес. От улесняването на задгранични трансакции до позволяването на непроменими записи относно произхода им, блокчейн технологиите се доказват като незаменима част от множество сектори.

Чрез блокчейн технологиите логистичните компании могат да постигнат бърз поток на стоки по веригата на доставки, като ги проследяват от произхода на стоката до нейната крайна дестинация, надеждно и прозрачно. Използвайки умни договори и токени, блокчейн технологиите могат да автоматизират голяма част от ръчните процеси, нужни за логистиката, като плащания, митнически освобождавания или проверка за съгласие.

3. Традиционен процес на логистика и верига на доставки



Фиг. 1 Традиционна логистична верига от край до край

Съвременните логистични процеси представляват сложна последователност от координирани стъпки, всяка от които може да бъде оптимизирана за по–голяма ефикасност и

прозрачност. Традиционната логистична верига е представена с абстрактен модел на фигура 1, като отделните модули имат следните функции:

- **Начало на логистичните процеси (Износител) -** В началото на логистичната верига експортиращата компания решава да изпрати пратка. Това решение може да бъде повлияно от различни фактори като клиентски поръчки, управление на инвентара и др. Съвременни инструменти като ERP (Enterprise Resource Planning) [12] системите спомагат за рационализирането на този етап чрез автоматизиране на управлението на поръчки и улесняване на проследяването на инвентара в реално време.
- **Финанси и застраховане (Банки и Застрахователи) -** Преди пратките да бъдат изпратени, нужните финанси трябва да са налични, както и да бъдат предвидени евентуални рискове. Износителят може да се обърне към банка за акредитив или други финансови услуги. В същото време застрахователните компании се включват в процеса, застраховайки износа срещу потенциални опасности като увреждане или загубване на пратките по време на превозването.
- **Митнически проверки (Митница на страната износител) -** Преди стоката да напусне страната на произход, първо трябва да се освободи от експортната митница. Документацията се проверява за съответствие с местните и интернационалните закони.
- **Пренасочване на стоки (Посредници) -** Спедиторските компании (посредници) отговарят за действителния превоз на стоките. Те планират пътя, избират превозвачите и определят таксите. Съществуват системи като TMS (Transportation Management Systems) [13], които помагат на спедиторите да оптимизират тези операции.
- **Товарене и транзит (Пристанище износител и превозвач) -** Стоките стигат до експортното пристанище, където се товарят на избрания вид транспорт – самолети, кораби, камиони и др. Технологии за проследяване на пратките в реално време, като GPS или IoT устройства, информират заинтересованите страни относно статуса и местоположението на стоките.
- **Пристигане и разтоварване (Пристанище вносител) -** След пристигането им в страната, пратките се разтоварват в импортното пристанище. Съвременните пристанища използват автоматизирани технологии, като роботизирани кранове или автоматично управлявани превозни средства (AGVs) [14], за подобряване на ефикасността и редуциране на времето за разтоварване.
- **Митнически проверки (Митница на страната вносител) -** Както при експортирането, пратките трябва да преминат през митницата на импортиращата държава. Стоките преминават през проверки за съответствия с държавните закони и се налагат всички приложими мита или данъци.
- **Разплащане (Банка и Застраховател на вносител) -** След като пратките са пристигнали успешно в импортиращата страна, банката на вносителя извършва плащането. Това може да включва изпълнение на акредитив или обработка на други предварително договорени методи за разплащане.
- **Доставка на стока (Вносител/Клиент) -**Последният етап от превоза е получаването на стоките от вносителя/клиента.

С внедряването на блокчейн технологиите в логистиката, традиционните процеси могат да бъдат улеснени, сигурни и ориентирани както към клиента, така и към производителя. Разглеждайки процеса на доставяне, транспортиране и складиране без използването на

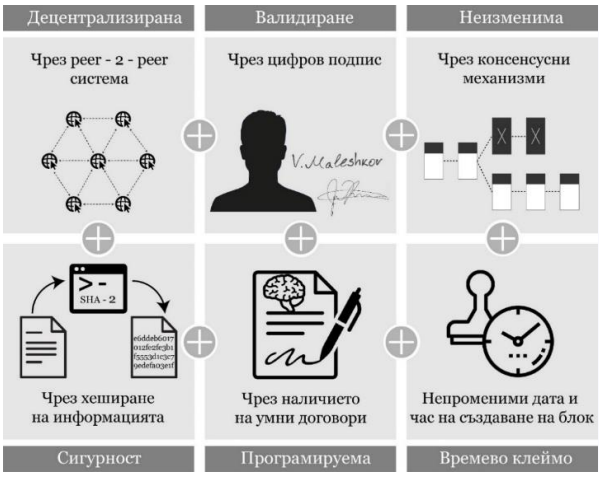
блокчейн, се идентифицират някои недостатъци и проблеми, които могат да възникнат, а именно:

- Липсата на прозрачност и контрол над стоките правят системата уязвима на кражби и злоупотреби.
- Недостатъчното прозрачно проследяване на пратките може да доведе до загуби.
- Неправилен мониторинг на съхранение на стоките може да доведе до тяхната повреда.
- Лимитираното наблюдение върху движението на стоките може да доведе до закъснения на доставките.
- Трудности в проследяването на служителите с цел оптимизиране на техния работен процес.
- Недостатъчно проследяване на движението и състоянието на превозните средства както в склада, така и по веригата на доставки.
- Необходимост от по–бързи и сигурни методи за трансакции и обработка на документи, за да се предотвратят евентуални измами или злонамерени действия.
- Липсата на анонимност може да доведе до изтичане на ценна информация за бизнес партньори, клиенти, предлагани преференциални цени, информация за доставчици, застрахователи и предлаганите от тях преференциални условия и др.
- Неправилно интегриране на застрахователните компании в логистичните процеси води до риск от неправилно покриване на застраховката и евентуални измами на застрахователните компании.

Имплементацията на блокчейн технологиите може да помогне за преодоляването на голяма част от тези недостатъци, осигурявайки по–добра прозрачност, сигурност и проследяване на стоките през всички логистични процеси. Може да повиши ефикасността на доставките, да предотврати кражби и злоупотреби, да осигури бързи и гарантирани плащания и да подобри управлението на складове, транспорт и ресурси. По този начин приложението на блокчейн технологиите може да доведе до подобрения в различни аспекти на бизнеса и да помогне за разрешаването на редица предизвикателства в логистичния сектор.

4. Логистичен процес базиран на блокчейн решения

Блокчейн технологията осигурява сигурен и децентрализиран начин да се записват и потвърждават трансакции без нуждата от трети страни като банки или други финансови институции. За логистичния сектор на фигура 2 са представени характеристиките на блокчейн технологията, които я правят атрактивно и желано технологично решение.



Фиг. 2 Характеристики на блокчейн технологиите

5. Използвани блокчейн технологии в логистичния сектор

Основно предизвикателство за по-широкото навлизане на блокчейн базираните решения в който и да е съвременен бизнес е липсата на стандартизация в блокчейн индустрията. Наличието на публични и частни блокчейн технологии, различните механизми на консенсус, различните начини на изграждане на мрежата от пиъри и доверието между тях, както и огромното разнообразие на криптовалути, с които са обвързани блокчейн технологиите, позволяващи изпълнението на умни договори, затруднява организациите в избирането на правилната технология за техните цели. Съгласно [15] блокчейн базирани решения в областта на логистиката и веригата за доставки се базират както на публични, така и на частни платформи, представени по-долу.

Ethereum [10]

Създадена през 2013 година като първата платформа, която позволява на разработчиците да създават децентрализирани приложения (Dapps), управлявани от умни договори. Това са самоизпълняващи се договори, като условията за споразумение между продавач и купувач са директно записани в кода. Самият код и споразуменията в него съществуват в децентрализирана блокчейн мрежа и не могат да бъдат управлявани от самостоятелен субект. Блоковата верига се състои от серия от блокове, всеки от които съдържа трансакции. Свързването им се осъществява като всеки блок съдържа референция към предишния във веригата. По този начин се създава неизменим регистър с трансакции, която не може да бъде променяна или изтривана. Първоначално Етериум е подсигурен чрез използването на Proof of Work (PoW) консенсусен алгоритъм. Това изисква от миньорите да решават сложни математически задачи и пъзели, за да могат да валидират трансакции и да създават нови блокове в блокчейна. Този процес обаче изразходва значителна изчислителна мощност и енергия. Затова разработчиците на Етериум се задължават да се премине към Proof of Stake (PoS) консенсусен алгоритъм, познат още като Beacon Chain [16]. В този модел потребителите, които създават нови блокове във веригата, валидирайки трансакции, се избират на база това с колко крипто токени разполагат и са готови да „заложат“ и съответно да загубят като обезпечение. Това преминаване към PoS консенсусен алгоритъм подобрява мащабируемостта, енергийната ефективност и сигурността на Етериум мрежите. Една от ключовите разлики между Етериум и Биткойн е начинът, по който се изпълняват трансакциите. Биткойн трансакциите са лимитирани до размяната на валута, докато Етериум трансакциите могат да се ползват за изпълнението на умни договори. Това позволява на Етериум да се използва за множество цели, а не само за обмяна на валута. Използвайки тези умни договори, логистичните компании могат да автоматизират голяма част от процесите си, да намалят разходите, както и да увеличат ефикасността. Основни недостатъци на тези решения са, че за всяко изпълнение на кода се дължи gas (0.001 от етера) [17], както и използването на публична мрежа с неизвестни за компанията пиъри. Ethereum е в основата на редица нови блокчейн базирани решения, подходящи за различни бизнеси, т.к. е първата криптовалута, предлагаща стандартизация с ERC20 [18] и ERC721 [19].

Hyperledger Fabric [20]

Hyperledger Fabric е частна блокчейн платформа с отворен код с позволение, която е разработена с идеята да бъде използвана в големи предприятия. Не е обвързана с криптовалута и позволява изпълнение на умни договори. Има модулна архитектура, висока производителност и функции за сигурност, като предлага ниско време на обработка на трансакциите и кратко забавяне на потвърждението. В същността си Hyperledger Fabric е

технология с разпределен регистър, която позволява на множество потребители да споделят база от данни, защитена от подправяне. За разлика от Bitcoin и Ethereum, които са отворени за всеки, Hyperledger Fabric е технология с позволение, което означава, че само оторизирани потребители могат да участват в мрежата. Това я прави полезна за използване от големи предприятия, където сигурността и конфиденциалността са от изключителна важност. Подходяща е за индустрии, които изискват висока пропускателна способност и ниска латентност като финансовите услуги, управлението на веригата за доставки или логистиката. Hyperledger Fabric е високо технологична платформа, която изисква дълбоко познаване на разпределените системи и криптографията. Това е една от най–популярните платформи сред предприятията, търсещи блокчейн базирани решения [21],[22],[23],[24],[25],[26],[27].

Например, IBM Food Trust [28] е комерсиално блокчейн базирано приложение, изградено върху Hyperledger Fabric. То се очертава като новаторско решение в хранителната индустрия. Използвайки предимствата на блокчейн технолгоията, IBM Food Trust променя начина, по който действа хранителната верига за доставки. IBM Food Trust подпомага напредъка в изследванията за безопасност на храните, позволявайки на учените да проследят и потвърдят произхода, качеството и безопасността на хранителните продукти с несравнима точност. Това иновативно приложение повишава стандартите за прозрачност и доверие в хранителната индустрия, както и отваря нови възможности за иновации в преследването на по–безопасна хранителна екосистема.

Corda [29]

Corda е технология с разпределен регистър, която също е подходяща за логистичната сфера и управлението на веригата за доставки [30],[31]. В логистичната сфера Corda може да бъде използван да рационализира логистичните процеси като осигурява сигурна и прозрачна платформа за проследяване на пратки и услуги. С Corda може да се създават умни договори, които да автоматизират проверката и изпълнението на трансакции, редуцирайки нуждата от посредници. Една от ключовите характеристики на Corda е способността за водене на многостранни преговори, полезна в логистичната индустрия, където множество страни са включени в цялостната верига на доставки [32]. Поточният фреймуърк на Corda предоставя програмен модел, който позволява на разработчиците да изпълняват милиони дълготрайни нишки, които могат да оцелеят дори след рестартиране на възлите. Това прави възможно създаването на комплексни работни потоци, в които участват множество страни като логистични компании, митнически служби и доставчици. Друго предимство на Corda е фокусът върху сигурността. За разлика от традиционните системи, Corda не разчита на глобална комуникация. Вместо това цялата комуникация е под формата на малки подпротоколи, наричащи се потоци. Това означава, че чувствителна информация може да се споделя надеждно между участниците, без да бъде видима от цялата мрежа.

Sweetbridge [33]

Sweetbridge е блокчейн технология, която има за цел да улесни световната търговия и логистиката, обвързана с нея. Ключовите ѝ характеристики включват ниско рискови споразумения, прозрачно счетоводство и понижаване на таксите. Този модел използва два токена - Sweetcoin и Bridgecoin, които служат като валута за разплащане в платформата. Използването на Sweetbridge в логистиката е все по-актуално, но и не е без своите недостатъци. Един от главните проблеми, които среща този блокчейн, е липсата на оперативна съвместимост с различните блокчейн платформи. Постигането на такава би било сложно и времеемко. Въпреки това потенциалните ползи от използването на Sweetbridge в сферата на логистиката и управлението на веригата за доставки са значителни. Чрез

осигуряването на прозрачни и сигурни трансакции с ниска цена може да се повиши ефикасността на системата, да подобри видимостта по веригата и да намали разходите.

IOTA [34]

IOTA е друга блокчейн технология с разпределен регистър, която е разработена да осигури сигурни и осовободени от такса трансакции между машини в екосистемата на интернет на обектите (IoT). За разлика от повечето блокчейн технологии, IOTA използва структура с насочена ациклична графика (DAG), наречена TANGLE, чрез която съхранява и обработва трансакции. Това ѝ позволява да бъде по–лека и мащабируема технология, правейки я подходяща за микротрансакции между IoT устройства. Чрез TANGLE всяка трансакция одобрява две предходни, създавайки мрежа от взаимосвързани трансакции, която расте с времето. Тази структура подобрява пропускателната способност и елиминира нуждата от миньори, които да валидират трансакциите. Това означава също, че няма такси за трансакциите, правейки IOTA идеална за микроплащания. За подобряване на сигурността IOTA използва квантово устойчиви схеми за цифров подпис като защита срещу бъдещ напредък в криптографията. Освен това IOTA разчита на устройство за финализиране на трансакциите, наречено Coordinator, което се поддържа от фондация IOTA. Въпреки това блокчейнът има своите недостатъци. Основните проблеми с IOTA са липсата на умни договори, което забавя ефективността на блокчейна [35]. Към момента познати решения, базирани на IOTA, са [36], [37], [38].

VeChain [39]

VeChain има богата история, която го откроява от други приложения, използвани в управлението на веригата за доставки. Създаден през 2015 година от Sunny Lu като помощник на Bitse, VeChain първоначално оперира върху Етереум. По–късно, през 2018 година, VeChain успешно преминава върху своя собствен блокчейн, позволявайки му по–добър контрол и персонализиране на технологията. Чрез своя блокчейн приложението успява да проследи данните на различни търгувани и транспортирани продукти, например храни, осигурявайки прозрачност и контрол на качеството по цялата верига на доставки. Това е възможно благодарение на използването на характерната за VeChain система за дигитална идентичност, която присвоява различна идентичност на всеки продукт, позволявайки проследяване и верификация в реално време. Желанието на разработчиците на VeChain да развиват приложението, превръщайки го в иновативно средство за решаване на специфични предизвикателства в индустрията, водят до създаването на спомагателни продукти като VeChain Toolchain [40]. Този софтуер служи като основа за системата за проследяване на VeChain, осигурявайки платформа за бизнеса, чрез която да интегрира и използва блокчейн технологията. VeChain изгражда силни връзки с редица технологични гиганти в областта на управлението на веригата за доставки като Walmart China и China Unicorn. Това му позволява да имплементира своята технология в голям мащаб, подобрявайки ефикасността и прозрачността в логистичните операции. В момента VeChain е на първо място по пазарна капитализация според [15].

TradeLens [41]

TradeLens е блокчейн базирана платформа, разработена като съвместно начинание между IBM и Maersk и стартирана през 2018 година с основната цел да преодолее неефективността и предизвикателствата, свързани с традиционната система, която често е причина за забавяне, човешки грешки и измами. TradeLens осигурява сигурна и ефикасна

обмяна на информация и търговска документация, позволявайки видимост от начало до край и дигитализация на работните процеси по веригата. Това подпомага ефикасността и позволява на компаниите да пренасочат усилията си към добавяне на дейности, увеличаващи стойността им.

6. Класификация на блокчейн технологиите в сферата на логистиката

Класификацията на блокчейн технологиите спомага за разработването на устойчиви и иновативни решения, които да отговарят на конкретни бизнес нужди, стремейки се към оптимизация на процесите и повишаване на сигурността и прозрачността. Класификацията позволява дефинирането и анализирането на различните видове блокчейн технологии, като по този начин способства за създаването на по–адаптивни и многофункционални логистични системи.

В [42] блокчейн технологиите са класифицирани чрез разделянето на техните основни компоненти на подкомпоненти. Всеки един от тях има различни оформления, които са сравнени помежду си. Основните компоненти са както следва: Консенсусен механизъм, Възможности на трансакциите, Токенизация, Разширяемост, Сигурност и поверителност, Кодиране, Управление на идентичността, Система за таксуване и награждаване.

В [43] авторите класифицират приложенията на блокчейн технологиите, разделяйки ги на шест основни области на приложение: Финансови трансакции, Умни договори, Управление на данни, Съхранение на данни, Комуникация и Класиране. Всяка от тях е разделена на подобласти с цел по–подробно класифициране.

В [44] се предлага модел, базиран на няколко основни характеристики: Анонимност, Разпределеност, Разнообразие на данни, Достоверност, Стойност, Времево клеймо, Сигурност, Единодушност, Неизменимост и Програмируемост (чрез наличието на умни договори). Тези характеристики на блокчейните също могат да се ползват като критерии за класификация.

За целите на приложението на блокчейн технологиите в логистичния бизнес и веригата на доставките се налага да се предложи класификация, на чиято база да се избира най-подходящата технология за конкретното приложение.

На база на направеното проучване и представения анализ на съществуващите блокчейн решения в областта на логистиката, най–значимите характеристики за оптимизиране на логистичните процеси са:

- **Достъп на участниците в мрежата** – чрез тази характеристика блокчейн технологиите могат да бъдат разделени на два вида – Частни и Публични [45]. Частните блокчейн технологии са затворени системи, в които достъпът е ограничен за определена група от участници. По този начин се позволява на компаниите да контролират и управляват своите логистични процеси ефективно, като същевременно поддържат висока степен на сигурност и конфиденциалност на данните. Предимствата на частните блокчейни включват по-бързи трансакции и по-ниски такси, поради ограничения брой участници, което може да бъде особено полезно в областта на логистиката, където времето е критичен фактор. Публичните блокчейн системи са отворени за всички участници, което позволява по-голяма степен на прозрачност и непроменимост на данните. Те създават устойчива и сигурна платформа за обмен на информация между различните страни в логистичния процес, улеснявайки автоматизацията и доверието между участниците в мрежата. Въпреки това, по-бавните трансакции и по-високите такси, в сравнение с частните блокчейни, са главните недостатъци на публичните системи.

- **Консенсусен механизъм -** тази характеристика играе важна роля за осигуряването на съгласуваност и сигурност на системата. Този механизъм представлява способ, по който участниците в мрежата достигат „консенсус“ относно валидността на трансакциите и информацията, записана в блоковете. Съществуват няколко различни вида консенсусни механизми, всеки със своите предимства и недостатъци:
    - **Proof of Work (PoW)** – изисква от участниците в мрежата да извършват сложни и енергоемки математически изчисления, за да валидират и добавят нов блок във веригата. Въпреки че предлага висока степен на сигурност, PoW е критикуван за липстата на енергоефективност.
    - **Proof of Stake (PoS)** – при този алгоритъм участниците се избира да валидират информацията, записана в блоковете, на база броя на техните токени, които са готови да „заложат“. PoS е по–енергоефективен от PoW и поддържа сигурността на системата чрез финансов стимул.
    - **Delegated Proof of Stake (DPoS)** – при този механизъм избрани от всички участници „делегати“ са отговорни за валидирането на трансакциите и добавянето на блоковете във веригата. Въпреки по–високата скорост на трансакции в секунда, се смята че DPoS потенциално може да доведе до централизация, тъй като мрежата зависи от малък брой делегати. Друг недостатък е възможността притежателите на голям брой токени да оказват съществено влияние върху избора, водейки до некоректна система.
    - **Practical Byzantine Fault Tolerance (PBFT)** – представлява консенсусен алгоритъм, при който клиент изпраща заявка до основния възел, който от своя страна разпраща тази заявка към резервни възли (наречение още реплики). Мрежата работи с предположението, че сред **n** възли, най – много **n - 1 / 3** възела могат да бъдат византийски (неизправни или злонамерени). Всички възли изпълняват получената заявка и изпращат отговор обратно към основния. Заявката се счита за успешна, когато основния възел получи поне 2f + 1 (където f е максималният брой византийски възли) съобщения от резервните възли.
- **Сигурност** – освен чрез консенсусни механизми, защитата на данните може да се осъществи и чрез хеш функции, които са неизменна част от всяка блокчейн технология. В същността си блокчейн е неизменим регистър – веднъж записана информация не подлежи на промяна. Хеш функциите подпомагат тази неизменимост, превръщайки всеки блок във веригата недвусмислено свързан с неговия предшественик чрез уникален хеш код. Този механизъм осигурява високо ниво на защита на информацията против неоторизирани промени и достъп. Освен осигуряване защита на трансакциите, хеш функциите улесняват и създаването на дървото на Меркел (Merkle tree). То представлява структура от данни, която събира множество хешове на трансакции в един, което позволява бързо и ефикасно потвърждение на голям обем от данни, оптимизирайки производителността на блокчейн системите.
- **Умни договори** – умните договори представляват самоизпълняващи се програми, които работят върху блокчейн мрежа. Предназначени са да улеснят, проверят и наложат условията при изпълнението на договор между две или повече страни, без нуждата от посредници. В същността си умните договори са компютърни програми, съхранявани на блокчейните и изпълняващи се автоматично, при определни обстоятелства.

В [46] се разглеждат ползите от използването на умни договори в логистичната сфера. Според авторите тези договори могат да подобрят доверието в логистичните процеси, чрез осигуряването на механизъм, който да потвърждава трансакциите. Също така умните договори могат да автоматизират някои логистични процеси като плащане и потвърждение за доставка, като по този начин се увеличава ефикасността на системата и се намаляват разходите.

- **Мащабируемост** – в логистиката забавянето на информацията може да доведе до значителна неефективност – от увеличаване на разходите до компрометиране на сигурността. Следователно, увеличаването на мащабируемостта на блокчейн мрежите е не само желателно, но и от съществено значение. Подобрявайки я, логистичните компании могат да използват анализи на данни в реално време или да рационализират операцитие, което може да доведе до оптимизирани маршрути, елиминиране на закъсненията и подобрено предоставяне на услуги. Според [47] най–големият проблем на дигиталните трансакции в контекста на мащабируемостта е ограниченият размер на блоковете и консенсусните механизми, при които всеки участник в мрежата трябва да одобри трансакцията, преди да бъде добавена към веригата. Този проблем се усилва с увеличаването на броя трансакции, изисквайки повече участници да поддържат мрежата, както и увеличаването на броя стъпки, нужни за постигането на пълен консенсус. Този недостатък е основна пречка, която спира масовото използване на блокчейн технологиите в реалния свят.
- **Проследяемост –** в индустрии като логистиката или управлението на веригата за доставки, проследяемостта е една от най–ценните характеристки на блокчейн системите, революционизирайки логистичните операции. Продуктите могат да бъдат проследени през всеки етап на техния път от точка А до точка Б или от суровия материал до крайния потребител. Това ниво на детайлизация е изключително важно за автентичността на продуктите, гарантирането на качеството и борбата с фалшивите стоки. Според [48] появата на високо автоматизирани производства в производствените системи в Индустрия 4.0 [49] прави проследяването на продукция в различните етапи на логистичните процеси актуални. Това се отразява не само на компании, които регулярно извършват своите логистични операции, но и на много други. В доклада също се споменава, че получаването на информация в реално време генерирана систематично чрез технологии за проследяемост, е един от ключовите фактори за дигитализацията на индустрията.

На база на избраните критерии за класификация в таблица 1 е представено обобщение на съществуващите блокчейн технологии, приложими в областта на логистиката, базирани на блокчейни. От направеното обобщение на съществуващите решения в областта на логистиката се стига до извода, че за по-голяма сигурност и конфиденциалност се предпочитат частните блокчейни, докато за приложения свързани с плащане, изискващи бързо и лесно одобрение, се избират публичните блокчейни с наличие на умни договори.

Поради утвърдената си позиция на световния пазар, всички представени тук блокчейн технологии постигат мащабируемост и използват различни техники за проследяване на стоки и трансакции. Най-много имплементирани решения са базирани на Ethereum, HyperLedger Fabric и IOTA, поради специфичната роля на блокчейна в конкретното решение.

Изборът на блокчейн платформата в голяма степен зависи от нуждите на бизнеса – скорост, поверителност, програмируемост или ефективност. Има и други блокчейн технологии, подходящи за различни аспекти на логистични процеси, но те все още не предлагат комерсиални или пилотни решения, а са на етап лабораторни прототипи.

Непрекъснатото развитие и усъвършенстване на блокчейн технологиите обещава на бизнеса все по-гъвкави и адаптируеми решения, подобряващи недостатъците на традиционните решения без приложение на блокчейн технологии.

Таблица 1. Блокчейн технологии, приложими в логистични процеси

Наименование на блокчейн	**Ethereum**	**Hyperledger Fabric**	**Corda**	**Sweet bridge**	**IOTA**	**VeChainThor**
Достъп на участниците в мрежата	Публичен	Частен	Частен	-	Публичен	Публичен
Консенсусен механизъм	PoW / PoS	PBFT, Kafka, Raft	По избор	Dual token model	DAG	PoA
Сигурност	Ethash	SHA - 256, P - 256, RSA	SHA - 256	SHA - 256	Troika	SHA - 256, ECDSA
Умни договори	Да	Да	Да	Не	Не	Да
Криптовалута	Ether	Не	Не	Sweetcoin Bridgecoin	IOTA	VET
Мащабируемост	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Проследяемост	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Съществуващи решения – тестови, пилотни, имплементирани	Viant, Modum, Provenance	IBM FoodTrust, ChainTrack, PharmaChain	CordaTrack, AgriChain, LiquorLens	Sweetbridge	IoTrace, IoTangle Logistics, SmartChain Iota	VeChain

Блокчейн технологията се възприема от 80% от световните публични компании. На различни етапи на внедряване като изследователски проекти, пилотни решения и прототипи, разработка и производство, компаниите поставят основите на нови подходи в бизнеса с тази процъфтяваща технология. През 2023 г. повече от 30 световни компании имат напълно функционални продукти, изградени на блокчейн. За функции като анализ на данни в реално време и проследимост блокчейнът създава огромно въздействие, когато се комбинира с анализ на големи данни и ще се ползва и в бъдеще.

7. Заключение

Блокчейн технологиите имат голям потенциал да променят начина, по който се управляват логистични процеси. Те могат да осигурят по-голяма прозрачност, сигурност и ефективност в тях, като същевременно намаляват разходите и времето за изпълнение на доставките. Въпреки това въвеждането на блокчейн технологии в логистиката среща и предизвикателства, като необходимостта от стандартизация и сътрудничество между различните участници във веригата. Възможностите за комбиниране на блокчейн технологиите с други иновативни технологии като изкуствен интелект или интернет на обектите (IoT), дават потенциала за постигане на по-голяма ефективност и оптимизация на логистичните процеси.

Литература

[1]. G. E. Smith, K. J. Watson, W. H. Baker & J. A. Pokorski II (2007) A critical balance: collaboration and security in the IT - enabled supply chain, International Journal of Production Research, 45:11, 2595 - 2613, DOI: 10.1080/00207540601020544

[2]. Tijan, E., Aksentijević, S. , Ivanić, K., & Jardas, M. (2019). Blockchain technology implementation in logistics. Sustainability, 11(4), 1185
[3]. Haber, S., & Stornetta, W. S. (1991). How to time-stamp a digital document (pp. 437-455). Springer Berlin Heidelberg.
[4]. Bayer, D., Haber, S., & Stornetta, W. S. (1993). Improving the efficiency and reliability of digital time-stamping. In Sequences II: Methods in Communication, Security, and Computer Science (pp. 329-334). Springer New York.
[5]. Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. Decentralized business review.
[6]. Baur, D. G., & Hoang, L. T. (2021). A crypto safe haven against Bitcoin. Finance Research Letters, 38, 101431.
[7]. Li, X., Wang, X., Kong, T., Zheng, J., & Luo, M. (2021, December). From bitcoin to solana–innovating blockchain towards enterprise applications. In International Conference on Blockchain (pp. 74-100). Cham: Springer International Publishing.
[8]. Khan, N., Ahmad, T., & State, R. (2019, October). Feasibility of Stellar as a Blockchain-Based Micropayment System. In International Conference on Smart Blockchain (pp. 53-65). Cham: Springer International Publishing.
[9]. Li, Y., Yang, G., Susilo, W., Yu, Y., Au, M. H., & Liu, D. (2019). Traceable monero: Anonymous cryptocurrency with enhanced accountability. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, 18(2), 679-691.
[10]. Ethereum whitepaper - https://ethereum.org/en/whitepaper/ - Последно посетен на 29.10.2023.
[11]. Number of Dapps - https://cointelegraph.com/news/decentralized-apps-on-polygon-hit-37-000-rocketing-400-this-year - Последно посетен на 29.10.2023.
[12]. Gupta, M., & Kohli, A. (2006). Enterprise resource planning systems and its implications for operations function. Technovation, 26(5-6), 687-696.
[13]. Griffis, S. E., & Goldsby, T. J. (2007). Transportation management systems: an exploration of progress and future prospects. Journal of Transportation Management, 18(1), 14.
[14]. Mehami, J., Nawi, M., & Zhong, R. Y. (2018). Smart automated guided vehicles for manufacturing in the context of Industry 4.0. Procedia manufacturing, 26, 1077-1086.
[15]. Blockchain based logistic solutions - https://coinmarketcap.com/ - Последно посетен на 29.10.2023.
[16]. Kapengut, E., & Mizrach, B. An Event Study of the Ethereum Transition to Proof-of-Stake. arXiv 2022. arXiv preprint arXiv:2210.13655.
[17]. Albert, E., Correas, J., Gordillo, P., Román-Díez, G., & Rubio, A. (2020, April). Gasol: Gas analysis and optimization for ethereum smart contracts. In International Conference on Tools and Algorithms for the Construction and Analysis of Systems (pp. 118-125). Cham: Springer International Publishing.
[18]. Fabian Vogelsteller, Vitalik Buterin , "ERC-20: Token Standard," *Ethereum Improvement Proposals*, no. 20 - https://ethereum.org/en/developers/docs/standards/tokens/erc-20/ - Последно посетен на 29.10.2023.
[19]. William Entriken, Dieter Shirley , Jacob Evans, Nastassia Sachs, "ERC-721: Non-Fungible Token Standard," Ethereum Improvement Proposals, no. 721 - https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-721 - Последно посетен на 29.10.2023.
[20]. Androulaki, E., Barger, A., Bortnikov, V., Cachin, C., Christidis, K., De Caro, A., ... & Yellick, J. (2018, April). Hyperledger fabric: a distributed operating system for permissioned blockchains. In Proceedings of the thirteenth EuroSys conference (pp. 1-15).
[21]. Aleksieva, V., & Valchanov, H. (2022, August). Smart contracts based on hyperledger fabric blockchain for the purpose of health and life insurance services. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2570, No. 1). AIP Publishing.

[22]. Antwi, M., Adnane, A., Ahmad, F., Hussain, R., ur Rehman, M. H., & Kerrache, C. A. (2021). The case of HyperLedger Fabric as a blockchain solution for healthcare applications. Blockchain: Research and Applications, 2(1), 100012.
[23]. Valchanov, H., & Aleksieva, V. (2022, November). Smart Contracts based on Hyperledger Fabric Blockchain for the Purpose of Higher Education Subsidizing. In 2022 International Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems (CIEES) (pp. 1-5). IEEE.
[24]. Wang, Q., & Qin, S. (2021). A hyperledger fabric-based system framework for healthcare data management. Applied Sciences, 11(24), 11693.
[25]. Valchanov, H., & Aleksieva, V. (2022, November). Novel Blockchain-Based Models for Healthcare and Life Science Solution. In 2022 International Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems (CIEES) (pp. 1-5). IEEE.
[26]. Visa b2b connect whitepaper - https://usa.review.visa.com/dam/VCOM/global/partner-with-us/documents/visa-b2b-connect-white-paper.pdf – Последно посетен на 29.10.2023.
[27]. Elghaish, F., Rahimian, F. P., Hosseini, M. R., Edwards, D., & Shelbourn, M. (2022). Financial management of construction projects: Hyperledger fabric and chaincode solutions. Automation in Construction, 137, 104185.
[28]. Nguyen, H., & Do, L. (2018). The Adoption of Blockchain in Food Retail Supply Chain: Case: IBM Food Trust Blockchain and the Food Retail Supply Chain in Malta.
[29]. Brown, R. G., Carlyle, J., Grigg, I., & Hearn, M. (2016). Corda: an introduction. R3 CEV, August, 1(15), 14.
[30]. Panda, S. K., Daliyet, S. P., Lokre, S. S., & Naman, V. (2022). Distributed ledger technology in the construction industry using Corda. The New Advanced Society: Artificial Intelligence and Industrial Internet of Things Paradigm, 15-41.
[31]. Mohanty, D. (2019). Supply Chain in Agriculture. In: R3 Corda for Architects and Developers. Apress, Berkeley, CA. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-4529-3_10
[32]. Hearn, M., & Brown, R. G. (2016). Corda: A distributed ledger. Corda Technical White Paper, 2016.
[33]. Nelson, J. S., Henderson, D., Jones, G., Roon, M., Zargham, M., Bulkin, A., ... & Crowley, C. (2017). A blockchain-based protocol stack for global commerce and supply chains. Sweetbridge White Paper.
[34]. Iota whitepaper - https://wiki.iota.org – Последно посетен на 29.10.2023.
[35]. Divya, M., & Biradar, N. B. (2018). IOTA-next generation block chain. Int. J. Eng. Comput. Sci, 7(04), 23823-23826.
[36]. Akhtar, M. M., Rizvi, D. R., Ahad, M. A., Kanhere, S. S., Amjad, M., & Coviello, G. (2021). Efficient data communication using distributed ledger technology and iota-enabled internet of things for a future machine-to-machine economy. Sensors, 21(13), 4354.
[37]. Wang, L., & Wang, Y. (2022). Supply chain financial service management system based on block chain IoT data sharing and edge computing. Alexandria engineering journal, 61(1), 147-158.
[38]. O. Lamtzidis and J. Gialelis, "An IOTA Based Distributed Sensor Node System," 2018 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps), Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/GLOCOMW.2018.8644153.
[39]. She, Z. (2022, January). Vechain: A renovation of supply chain management—A look into its organization, current activity, and prospect. In Proceedings of the 2022 International Conference on Educational Informatization, E-commerce and Information System, Macao, China (pp. 29-30).
[40]. VeChain’s Toolchain - https://www.vechain.com/ - Последно посетен на 15.09.2023.

[41]. Jovanovic, M., Kostić, N., Sebastian, I. M., & Sedej, T. (2022). Managing a blockchain-based platform ecosystem for industry-wide adoption: The case of TradeLens. Technological Forecasting and Social Change, 184, 121981.
[42]. Tasca, P., & Tessone, C. J. (2017). Taxonomy of blockchain technologies. Principles of identification and classification. arXiv preprint arXiv:1708.04872.
[43]. Labazova, O., Dehling, T., & Sunyaev, A. (2019, January). From hype to reality: A taxonomy of blockchain applications. In Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS 2019).
[44]. Aleksieva, V., Valchanov, H., Haka, A., & Dinev, D. (2023). Logistics Model Based on Smart Contracts on Blockchain and IoT. Engineering Proceedings, 41(1), 8.
[45]. Huliyan, A. General taxonomy of blockchain technologies // Computer Science andTechnologies , vol. 1 , 2020, Technical University of Varna
[46]. Dıaz, N. A., Herrera-Joancomartı, J., & Caballero-Gil, P. (2017, October). Smart contracts based on blockchain for logistics management. In Proceedings of the 1st International Conference on Internet of Things and Machine Learning, IML (Vol. 17, p. 73).
[47]. Chauhan, A., Malviya, O. P., Verma, M., & Mor, T. S. (2018, July). Blockchain and scalability. In 2018 IEEE international conference on software quality, reliability and security companion (QRS-C) (pp. 122-128). IEEE.
[48]. Granillo-Macías, R., Simón-Marmolejo, I., González-Hernández, I. J., & Zuno-Silva, J. (2020). Traceability in industry 4.0: A case study in the metalmechanical sector. Acta logística, 7(2), 95-101.
[49]. Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. Business & information systems engineering, 6, 239-242.

За контакти:
ас. инж. Венелин Г. Малешков
Катедра „Компютърни науки и технологии“
Технически университет – Варна
email: v.maleshkov@tu-varna.bg

DATA MINING SOFTWARE TOOLS

Svetlin M. Marinov, Dimitar S. Dimitrov

Abstract: The purpose of this article is to analyze the different types of software tools and describe their importance. At the end of the last century, with the rapid development of computers, human society entered the era of information technology. How to efficiently obtain a valuable information resource from huge amounts of data becomes particularly important. Data mining is a method that examines and analyzes large amounts of unstructured data to obtain potentially useful information and modeling. This document explains the definition, model, stage of development, classification, and commercial activity in the application of machining and highlights its role in data mining. Applying the various machining techniques helps select the right method for a particular application. Therefore, this article summarizes and analyzes the different types of big data processing software and discusses their advantages and disadvantages.
Keywords: Mining, data, Sowftware tools

1. Introduction

The era of big data has begun. Scientists, computer scientists, physicists, economists, mathematicians, political scientists, sociologists, and many others are clamoring for access to the vast amounts of information produced by and about humans that contain data and interactions between them. Different groups argue about the potential benefits and costs of analyzing information from Twitter, Google, Verizon, 23andMe, Facebook, Wikipedia, and any space where large groups of people leave digital traces and deposit data.

In addition, big data is important because it refers to an analytical phenomenon that is developing in academia and industry. Instead of proposing a new term, we use Big Data here because of its great popularity and because we want to draw attention to the phenomenon surrounding Big Data. This is the kind of data that encourages the practice of apophenia: seeing patterns where they don't actually exist, simply because vast amounts of data can suggest connections that radiate in all directions. It is therefore crucial to start asking questions about the analytical assumptions, methodological frameworks, and fundamental biases embedded in the Big Data phenomenon. While databases have been aggregating data for more than a century, big data is no longer the domain of academics alone. New technologies have enabled a wide range of people – including educators in the humanities and social sciences, marketers, government organizations, educational institutions, and motivated individuals – to produce, share, interact, and organize data are summarized and made available. Data is increasingly digital air: the oxygen we breathe and the carbon dioxide we exhale. They can be a source of both sustenance and abuse. [2]

2. Exhibition

2.1. Overview of similar developments

The work was reviewed by Chen Xiaojun, Graham Williams, and Hu Hiafei of the School of Computer Science and Technology at the Harbin Institute of Technology in Harbin, China, and Michael Goebel of Oakland University and Le Grunwald of the University of Oklahoma School of Computer Science. The first development explores open-source data mining systems. The article presents a survey of 12 popular open-source data mining systems available on the Internet. Their general characteristics, their sources, their functionality and usability are compared and shown in tables and diagrams. Important features of data mining systems are described, and the software is evaluated. [3]

The subject of the second article coincides with the subject of the first. The article contains information about data mining, possible problems related to the database, and information about software that is not included in the document. Other similar projects and studies have been reviewed. Data discovery tools were compared. Their general characteristics, their sources, and their functionality are described. The paper contains information on system qualification and future research. [4]

Data, and data mining in particular, is evolving at a very fast pace, and information needs to be updated frequently. Only necessary data is used in the document, and real user ratings are presented. The article is informative and of good quality; it can be read by people in the industry, but they can also share it with other non-data processing people. The types of data stores and the different types of storage are described. The data is synthesized, and the most current software at the time of the study is presented.

2.2. The 5V

Data scientists almost always describe "big data" as having at least three distinct dimensions: volume, velocity, and variety. Some then go on to add more items to the list to include volatility and value. Here's how the five vs. big data are defined and their impact on consumer care.

- Volume

Big data must first and foremost be “big”, and size in this case is measured as volume. From clinical data related to lab tests and doctor visits to administrative data around payments and payers, this source of information is already expanding. When these data are combined with the wider use of precision medicine, there will be a major explosion of data in healthcare, especially as genomic and environmental data become more prevalent.

- Velocity

Velocity in the context of big data refers to two related concepts familiar to everyone in healthcare: the rapidly increasing speed at which new data is created by technological advances and the corresponding need to ingest and analyze that data in near real time. For example, as more and more medical devices are designed to monitor patients and collect data, there is a high demand to be able to analyze this data and then transmit it back to clinicians and others. This healthcare "Internet of Things" will only increase the speed of big data in healthcare.

- Variety

With increasing volume and speed comes increasing variety. That third "V" describes exactly what you'd think: the vast variety of data types healthcare organizations see every day. Again, consider electronic health records and these medical devices: each may collect a different kind of data, which in turn may be interpreted differently by different doctors—or provided to a specialist but not to a provider. primary medical care. What is the challenge for health systems when it comes to data diversity? Standardize and disseminate all this information so that everyone involved is on the same page. With the growing adoption of population health and big data analytics, we are seeing a greater variety of data by combining traditional clinical and administrative data with unstructured notes, socioeconomic data, and even social media data.

- Variability

How care is delivered to each patient depends on all sorts of factors, and how care is delivered and, more importantly, how data is captured can vary from time to time or from place to place. For example, what the clinician reads in the medical literature, where they trained, or the professional opinion of a colleague down the hall, or how the patient expresses himself during his initial examination can all play a role in what happens next. Such variability means that data can only be meaningfully interpreted when the care setting and delivery process are taken into context. For

example, the diagnosis “CP” may mean chest pain when entered by a cardiologist or primary care physician, but may mean “cerebral palsy” when entered by a neurologist or pediatrician. Because true interoperability is still somewhat elusive in healthcare data,

- Value

Last but not least, big data must have value. That is, if you're going to invest in the infrastructure needed to collect and interpret data at a system-wide scale, it's important to ensure that the insights generated are based on accurate data and lead to measurable improvements at the end of the day.

Every clinician and health system is different, and so there is no "cookie-cutter" way to deliver high-quality patient care. The same is true of how we handle big data: organizations may use the same tools and technologies to collect and analyze the data available, but how they then put that data to work is ultimately up to them. [6]

2.3. Humanity seeks to digitize the world

This digitization process is often referred to as digital transformation and is profoundly changing the shape of business today, impacting companies in every industry and consumers around the world. Digital transformation is not about the evolution of devices; it is about the integration of intelligent data into everything we do. A data-driven world will always be on, always tracked, always followed, always listened to, and always watched. What we perceive as randomness will be constrained into patterns of normality by complex artificial intelligence algorithms that will deliver the future in new and personalized ways. Artificial intelligence will lead to even more automation in businesses and processes that will deliver new levels of efficiency that are tailored to business outcomes and individual customer preferences. Traditional paradigms will be redefined (such as vehicle ownership or white goods), and ethical, moral, and societal norms will be challenged, such as genomics, advanced DNA profiling, and the influence of health care directives, insurance premiums, and mate selection. Entertainment will literally transform before our eyes as virtual reality technologies transport us into new digital realities, and augmented reality will dramatically change the service industry as we know it today.

The use of data today is changing the way we live, work, and play. Businesses in industries around the world are using transformational data to become more agile, improve the customer experience, introduce new business models, and develop new sources of competitive advantage. Consumers live in an increasingly digital world, connected by online and mobile channels to friends and family, access to goods and services, and almost every aspect of their lives, even while they sleep. Much of today's economy relies on data, and that reliance will only increase in the future as companies’ capture, catalogue, and monetize data at every step of their supply chain. Enterprises are collecting massive amounts of customer data to deliver higher levels of personalisation and consumer integration of social media, entertainment, cloud storage, and real-time personalised services into their life flows. A consequence of this growing reliance on data will be an endless expansion in the size of the global data sphere. It is predicted to be 33 ZB in 2018. IDC predicts the global data realm will grow to 175 ZB by 2025. [7]

2.4. Databases vs. Hadoop vs. Cloud Storage

Good data handling has become especially important for the future, a future in which artificial intelligence (AI) augments business analytics and permeates operations. To work successfully, AI must have good-quality data for training, testing, and use. Furthermore, this data should cover all types, not just the typical static tables and reports generated by Microsoft Excel. Dynamic data from call centre records, chat logs, streaming sensor data, and other sources plays a major role in supporting AI initiatives and business needs.

Using AI and data involves looking beyond what business reports exist now, why they exist, and how different types of data, including semi-structured and unstructured data, can improve results. Companies take this next step by evaluating how their data architecture and technical programmes handle data usage. Moving data into the right environments for better manipulation requires understanding different technical solutions and how to fit the right ones into the data architecture of the enterprise.

McKnight recommends making three important decisions when considering a data architecture platform:

- Types of data storage:

Businesses choose between two data storage options: databases and using a file-based computer system. Basic data, specific data, and links with organized data. Relational database architecture accounts for over 90% of business data solution purchases. File-based systems such as Hadoop better store big data, which includes unstructured and semi-structured data.

- Placing it in the data warehouse:

Once a company has chosen its data storage platform, it must find a place to put it. Options include on-premises or in the cloud, where third-party providers host company information in their data centers. In the past, most enterprise data was typically on-premises. But as amounts of data continue to grow exponentially, the cloud—especially the public cloud—can scale business data better off-site with less cost.

- Workload architecture:

Data requests vary. Businesses need real-time data for business operations and short, frequent transactions such as sales and inventory. Companies also require post-operational data to analyse opportunities, forecast, and guide executive decision-making. Analytical workloads often result in longer and more complex queries, requiring a very different kind of data architecture than operational tasks. [5]

3. Software tools

Data mining is a world of its own, so it can easily become very confusing. There are an incredible number of data mining tools on the market. However, while some may be better suited for Big Data data mining work, others stand out for their data visualisation features. As explained in this article, data mining is all about discovering patterns in data and predicting trends and behavior. Simply put, it is the process of converting huge data sets into relevant information. There's not much use in having massive amounts of data if we don't know what it means.

Data mining is a process that involves statistics, artificial intelligence, and machine learning. By using intelligent methods, this process extracts information from the data, making it comprehensive and interpretable. The process of data mining makes it possible to discover patterns and relationships in data sets, as well as to predict trends and behavior. Technological advances have made automated data analysis faster and easier. The larger and more complex the data sets, the greater the chances of finding relevant insights. By identifying and understanding meaningful data, organisations can make good use of valuable information to make decisions and achieve proposed goals.

SPSS, SAS, Oracle Data Mining, and R are data mining tools with a predominant focus on the statistical side rather than the more general approach to data mining that Python (for example) follows. However, unlike other statistical programmes, R is not a commercially integrated solution. Instead, it's open source.

- IBM SPSS

SPSS is one of the most popular statistical software platforms. SPSS was an acronym for Statistical Package for the Social Sciences, indicating its original market (the fields of sociology, psychology, geography, economics, etc.). However, IBM acquired the software in 2009, and later in 2015, SPSS came to stand for Statistical Product and Service Solutions. The software's advanced capabilities provide a wide library of machine learning algorithms, statistical analyses (descriptive, regression, clustering, etc.), text analysis, big data integration, and more. In addition, SPPS allows the user to enhance their SPSS syntax with Python and R by using specialised extensions.

- 2R

R is a programming language and environment for statistical computing and graphics. It is compatible with UNIX platforms, FreeBSD, Linux, macOS, and Windows operating systems. This free software can perform a variety of statistical analyses, such as time series analysis, clustering, and linear and nonlinear modeling. Additionally, it is also defined as a statistical computing environment, as it is designed to provide a consistent system providing excellent data mining packages. Overall, R is a great and very complete tool that additionally offers graphical data analysis facilities and an extensive collection of intermediate tools. It is an open-source solution for statistical software such as SAS and IBM SPSS.

- SAS

SAS stands for Statistical Analysis System. This tool is an excellent option for text mining, optimisation, and data mining. It offers multiple methods and techniques to perform several analytical capabilities that assess the needs and goals of the organization. It includes descriptive modelling (useful for categorising and profiling customers), predictive modelling (useful for predicting unknown outcomes), and prescriptive modelling (useful for analysing, filtering, and transforming unstructured data, such as emails, comment fields, books, etc.). Additionally, its distributed memory processing architecture also makes it highly scalable.

- Oracle Data Mining

Oracle Data Mining (ODB) is part of Oracle Advanced Analytics. This data mining tool provides exceptional data prediction algorithms for classification, regression, clustering, association, attribute importance, and other specialised analyses. These qualities enable ODB to extract valuable data and ac.

Open-source data mining tools:

- KNIME

KNIME stands for Konstanz Information Miner. The software follows an open-source philosophy and was first released in 2006. In recent years, it has often been considered the leading data science software and machine learning platforms used in many industries, such as banking, life sciences, publishing, and consulting firms. Additionally, it offers both on-premises and cloud connectors, making it easy to move data between environments. Although KNIME is implemented in Java, the software also provides nodes so that users can run it in Ruby, Python, and R.

- RapidMiner

Rapid Miner is an open-source data mining tool with seamless integration with both R and Python. It provides advanced analytics by offering multiple products to create new data mining processes. It also has one of the best predictive analytics systems. This open-source code is written in Java and can be integrated with WEKA and R-tool. Some of the most valuable features include: remote analytics processing; creation and validation of predictive models; multiple data management methods available; built-in templates and repetitive workflows; filtering, merging, and joining data.

- Orange

Orange is an open-source Python-based data mining software. It's a great tool for those new to data mining, but also for experts. In addition to its data mining features, Orange also supports machine learning algorithms for data modelling, regression, clustering, preprocessing, etc. Orange also provides a visual programming environment and the ability to drag and drop widgets and links.

- Data mining tools for big data

Big data refers to a huge amount of data that can be structured, unstructured, or semi-structured. It covers the five V-characteristics: volume, variety, speed, credibility, and value. Big data typically includes several terabytes or petabytes of data. Because of its complexity, it can be difficult (not to say impossible) to process data on a single computer. Thus, the right software and data storage can be extremely useful for spotting patterns and predicting trends. In terms of data mining solutions for big data, these are our top picks:

- Apache Spark

Apache Spark stands out for its ease of use when working with big data, as it is one of the most popular tools. It has multiple interfaces available in Java, Python (PySpark), R (SparkR), SQL, and Scala and offers over eighty high-level operators, making it possible to write code faster. In addition, this tool is complemented by several libraries, such as SQL and DataFrames, Spark Streaming, GrpahX, and MLlib. Apache Spark also draws attention for its admirable performance, providing a fast platform for data processing and streaming.

- Hadoop MapReduce

Hadoop is a collection of open-source tools that process large amounts of data and other computational problems. Although Hadoop is written in Java, any programming language can be used with Hadoop Streaming. MapReduce is a Hadoop implementation and programming model. It is a widespread solution for performing complex data mining on big data. Simply put, it allows users to map and reduce functions that are commonly used in functional programming. This tool can perform large join operations on huge datasets. Additionally, Hadoop offers various applications such as user activity analysis, unstructured data processing, log analysis, text mining, and more.

- Qlik

Qlik is a platform that deals with analytics and data mining through a scalable and flexible approach. It has an easy-to-use drag-and-drop interface and responds instantly to modifications and interactions. In addition, Qlik supports multiple data sources and seamless integrations with various application formats through connectors and extensions, a built-in application, or API sets. It is also a great tool for sharing relevant analysis using a centralised hub.

Small-scale data mining solutions

- Scikit-learn

Scikit-learn is a free Python machine learning software tool providing exceptional data mining and data analysis capabilities. It offers a huge number of features, such as classification, regression, clustering, preprocessing, model selection, and dimensionality reduction.

- Rattle (R)

Rattle is developed in the R programming language and is compatible with macOS, Windows, and Linux operating systems. It is mainly used for commercial enterprises and businesses, as well as for scientific purposes (especially in the United States and Australia). The computing power of R enables this software to provide functions such as clustering, data visualisation, modelling, and other statistical analysis.

- Pandas (Python)

Data mining in Python Pandas is also a widely known open-source tool. It is a library that excels at working with data analysis and managing data structures.

- H3O

H3O is an open-source data mining software mainly used by organisations to analyse data stored in cloud infrastructure. This tool is written in the R language but is also compatible with Python for model building. One of the biggest advantages is that H3O enables fast and easy production deployment thanks to Java language support.

- Cloud solutions for data mining

Cloud solutions are becoming increasingly necessary for data mining. Implementing data mining techniques in the cloud allows users to extract important information from virtually integrated data warehouses, reducing storage and infrastructure costs.

- Amazon EMR

Amazon EMR is a cloud-based solution for processing large amounts of data. Users use this tool not only for data mining but also to perform other data science responsibilities such as web indexing, log file analysis, financial analysis, machine learning, etc. This platform uses various open-source solutions (e.g., Apache Spark and Apache Flink) and facilitates scalability in big data environments by automating tasks (e.g., setting up clusters).

- Azure ML

Azure ML is a cloud environment built for building, training, and deploying machine learning models. For data mining, Azure ML can perform predictive analytics and allow users to compute and manipulate volumes of data from the cloud platform.

- Google AI платформа

Like Amazon EMR and Azure ML, the Google AI platform is also cloud-based. This platform provides one of the largest machine learning stacks. The Google AI Platform includes several databases, machine learning libraries, and other tools that users can use in the cloud to perform data mining and other data science functions.

- Data mining tools for neural networks

Neural networks consist of assimilating data the way the human brain processes information. In other words, our brain has millions of cells (neurons) that process external information and then produce an output. Neural networks follow the same principle and can be used for data mining by turning raw data into relevant information.

- PyTorch

Pytorch is a Python package and deep learning framework based on the Torch library. It was originally developed by Facebook's AI Research Lab (FAIR) and is a very well-known tool in Data Science due to its Deep Neural Networks feature. It allows users to perform the data mining steps for programming an entire neural network: data loading, data preprocessing, model definition, training, and evaluation. Additionally, with strong GPU acceleration, Torch enables fast array computation. Recently, in September 2020, this library became R. The torch for R ecosystem includes torch, torchvision, torchaudio, and other extensions.

- TensorFlow

Like PyTorch, TensorFlow is also an open-source Python library for machine learning that the Google Brain Team originally developed. It can be used to build deep learning models and has a high focus on deep neural networks. In addition to a flexible ecosystem of tools, TensorFlow also provides other libraries and has a widely popular community where developers can ask questions

and share. Although it is a Python library, in 2017, TensorFlow also introduced an R interface from RStudio to the TensorFlow API.

- Data mining tools for data visualization

A data visualization is a graphical representation of the information extracted from the data mining process. These tools allow users to have a visual understanding of data (trends, patterns, and deviations) through graphs, charts, maps, and other visuals.

- Matplotlib

Matplotlib is an excellent data visualisation tool in Python. This library allows the use of interactive figures and the creation of quality graphics (e.g., histograms, scatterplots, 3D graphics, and image graphics) that can later be customised (styles, axis properties, font, etc.).

- ggplot2

ggplot2 is a data visualisation tool and one of the most popular R packages. This tool allows users to modify components within a plot with a high level of abstraction. It also allows users to build almost any type of graphics and improve graphics quality as well as aesthetics. [1] In addition, Oracle Data Mining includes APIs for SQL, PL/SQL, R, and Java.

4. Analysis of software tools based on various characteristics

To compare the best data mining tools, we will present different data for tools such as RapidMiner, WEKA, Orange, KNIME, and SAS. Users have been shown to use multiple programs because data extraction tools have different strengths that can be combined with each other. Data extraction tools are often compatible with each other. But even with just one good all-in-one tool, you can do a lot as a beginner. [11]

With so many tools available, one of the most difficult tasks in the entire data mining process is simply choosing the right tool for the user. Open-source tools are a good place to start, as they are constantly updated. Data mining tools share many characteristics, but there are a few key differences. Here are a few tabulated things to keep in mind when choosing the best data mining tools. [12]

Table 1. Characteristics of 12 different software tools. [8] [9][10]

Characteristic	IBM SPSS Statistics	Orange	Rapid Miner	Sisence	Datafari	IBM Process Mining	Oracle Data Mining	SAS Enterprice Miner	Blossom Federated AI Platform	Centralpoint	JMP	Datacadabra
Data mining	×	×	✓	×	✓	×	×	✓	✓	✓	✓	×
Data visualization	✓	✓	✓	✓	×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓
Fraud detection	×	×	✓	×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	×
Management of linked data	×	✓	✓	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×
Machine learning	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	✓	✓	✓	✓	✓
Predictive modeling	✓	✓	✓	×	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Semantic search	×	×	×	×	✓	×	×	✓	×	✓	✓	×
Statistical analysis	✓	✓	✓	✓	×	×	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Text mining	×	✓	✓	×	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×

Table 2. Average rating of 10 different software tools by at least 5 users, on a scale of 1 to 5. [8] [9][10]

User ratings (1-5)	IBM SPSS Statistics (573)	Orange (18)	Rapid Miner (22)	IBM Process Mining (13)	Oracle Data Mining (5)	SAS Enterprice Miner (21)	Blossom Federated AI Platform (14)	Centralpoint (8)	JMP (47)	Datacadabra (5)
Ease of Use	4.0	4.2	4.2	3.5	3.8	4.0	4.7	4.2	4.1	4.0
Data visualization	4.1	3.8	4.5	3.2	4.8	4.1	4.3	4.7	4.5	5.0
Customer Service	4.5	4.3	4.5	3.8	4.4	4.2	4.6	4.9	4.4	4.4
Characteristics	4.1	4.3	4.0	3.4	4.5	4.1	4.9	4.5	4.2	4.8

Table 3. Compatibility of software tools with different operating systems. [8] [9][10]

Implementation	IBM SPSS Statistics	Orange	Rapid Miner	Sisence	Datafari	IBM Process Mining	Oracle Data Minig	SAS Enterprice Miner	Blossom Federated AI Platform	Centralpoint	JMP	Datacadabra
Cloud, SaaS, Web-Based	✓	×	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	✓	×	✓
Desktop - Mac	✓	✓	✓	×	✓	×	×	×	✓	×	✓	×
Desktop – Windows	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	✓	✓	✓	✓	×
Desktop – Linux	✓	×	×	✓	✓	×	×	×	✓	×	×	×
Desktop – Chromebook	×	×	×	×	✓	×	×	×	×	×	×	×
On-Premise – Windows	×	×	✓	✓	×	×	×	×	✓	✓	✓	×
On-Premise – Linux	×	×	✓	✓	✓	×	×	×	✓	✓	✓	×
Mobile – Android	×	×	×	✓	×	×	×	×	×	✓	×	×
Mobile – iPhone	×	×	×	✓	×	×	×	×	×	✓	×	×
Mobile – iPad	×	×	×	✓	×	×	×	×	×	✓	×	×

Table 4. Different ways to connect to manufacturers software tools. [8] [9][10]

Support	IBM SPSS Statistics	Orange	Rapid Miner	Sisence	Datafari	IBM Process Mining	Oracle Data Mining	SAS Enterprice Miner	Blossom Federated AI Platform	Centralpoint	JMP	Datacadabra
Email/Help Desk	✓	×	✓	✓	✓	×	×	×	✓	✓	✓	✓
FAQs/Forum	×	×	✓	✓	×	×	×	×	×	×	✓	✓
Knowledge Base	×	×	✓	✓	✓	×	×	×	✓	×	✓	✓
Phone Support	✓	×	✓	×	×	×	×	×	✓	✓	×	✓
24/7 (Live Rep)	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	✓	✓	×
Chat	×	✓	✓	✓	✓	×	×	×	✓	✓	✓	×

Table 5. Different training methods for each application. [8] [9][10]

Trainings	IBM SPSS Statistics	Orange	Rapid Miner	Sisence	Datafari	IBM Process Mining	Oracle Data Mining	SAS Enterprice Miner	Blossom Federated AI Platform	Centralpoint	JMP	Datacadabra
In person	×	✓	×	×	✓	×	×	✓	✓	×	✓	✓
Live Online	×	✓	✓	✓	✓	×	×	✓	×	✓	✓	✓
Webinars	×	×	✓	✓	×	×	×	✓	✓	✓	✓	×
Documentation	×	×	✓	✓	✓	×	×	✓	✓	✓	✓	✓
Videos	×	×	✓	✓	×	×	×	×	×	✓	✓	×

5. Conclusion

In fact, in the beginning, the data was not so much, and there was no need for a database to collect it. More and more data will be generated over time. In other words, in practical applications, the growing amount of data is a problem to deal with. This article first briefly presents the state of data mining research and then provides a detailed description of data warehousing and data mining technology, including definitions, characteristics, and architecture. Second, this paper introduces the design of an economic intelligent system, including the design environment and the specific implementation process of the system. There are many methods of data mining, and this article looks at various data mining software. In future work, one can imagine how to further optimise and perform the software based on real work and apply the improved algorithms to the systems.

This article provides a detailed understanding of data mining, including its types and life cycle. The need for data-mining tools is understood. You have also explored the most popular and robust data mining tools. At the end of this article, some of the main advantages of data mining tools are presented. Data mining uses complex data from a diverse set of data sources such as databases, CRM, project management tools, streaming services, and marketing platforms. This can be quite challenging. Before making the final decision on which data mining tool to use, the user should delve into the business requirements. It should be well thought out only after finding appropriate answers to all business inquiries and making a decision.

References

[1]. Ajay Ohri, 2021. The 5V of Big Data: A Basic Guide. (March 2021). Retrieved January 2, 2022, from https://www.jigsawacademy.com/blogs/big-data/5v-of-big-data/

[2]. Danah Boyd, and Kate Crawford. 2017. “Six Provocations for Big Data.” OSF Preprints. January 4. doi:10.31219/osf.io/nrjhn

[3]. David Reinsel, John Gantz; John Rydning. 2018. The Digitization of the World From Edge to Core. November 2018. Retrieved January 2, 2022, from https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/idc-seagate-dataage-whitepaper.pdf

[4]. Mariana Berga, Pedro Coelho, Alicja Ochman. 2021. Top 21 Data Mining Tools. (March 2021). Retrieved 2 January 2022 from https://www.imaginarycloud.com/blog/data-mining-tools/

[5]. Michael Goebel, Le Gruenwald. 1999. A SURVEY OF DATA MINING AND KNOWLEDGE DISCOVERY SOFTWARE TOOLS. 3 – 12

[6]. Michelle Knight. 2022. Databases vs. Hadoop vs. Cloud Storage. (May 2022). Retrieved 2 January 2022 from https://www.dataversity.net/databases-vs-hadoop-vs-cloud-storage/#
[7]. Xiaojun Chen, Graham Williams, Xiaofei Xu. 2007. A Survey of Open-Source Data Mining Systems, (2007), 1 – 11
[8]. Capterra. 2022. Comparing 4 Data Mining Software Products. Retrieved from https://www.capterra.com/data-mining-software/compare/172019-237839-169949-157071/Datafari-vs-IBM-Process-Mining-vs-Oracle-Data-Mining-vs-SAS-Enterprise-Miner
[9]. Capterra. 2022. Comparing 4 Data Mining Software Products. Retrieved from https://www.capterra.com/data-mining-software/compare/250819-164505-148220-86955/IBM-SPSS-Statistics-vs-Orange-vs-RapidMiner-vs-Sisense
[10]. Capterra. 2022. Comparing 4 Data Mining Software Products. Retrieved from https://www.capterra.com/data-mining-software/compare/241081-161470-201927-151815/Blossom-Federated-AI-Platform-vs-Centralpoint-vs-Data-Cadabra-vs-JMP-Statistical-Software
[11]. Digital Guide IONOS. 2022. Data mining tools for better data analysis. Retrieved from https://www.ionos.com/digitalguide/online-marketing/web-analytics/a-comparison-of-data-mining-tools/
[12]. RapidMiner. 2018. Data Mining Tools. Retrieved from https://rapidminer.com/glossary/data-mining-tools/

For contacts:
Eng. Svetlin Miroslavov Marinov, PhD student
Department of Computer Systems and Technologies
University of Veliko Tarnovo St. Cyril and St. Methodius
E-mail: svetlinmarinov9@gmail.com

Eng. Dimitar Stiliyanov Dimitrov, PhD student
Computer Science and Engineering Department
Technical University of Varna
E-mail: d.dimitrov@tu-varna.bg

APPLICATION OF MACHINE LEARNING METHODS FOR SENTIMENT ANALYSIS ON EQUAL NUMBER NEGATIVE AND POSITIVE USER COMMENTS IN BULGARIAN

Daniela Iv. Petrova

Abstract: In the author's prior research, two datasets containing Bulgarian comments were created, comprising 18% negative and 82% positive user reviews. Various machine learning methods were employed for sentiment analysis, including the introduction of a novel ensemble method named att_SVM+biLSTM+lex_RF, which demonstrated superior performance compared to other tested methods. Despite the successes, discrepancies in final accuracy and a higher percentage of errors in predicting negative comments were observed in the experiments on the two datasets. This prompted the current paper, aiming to evaluate the outcomes of applying methods on datasets with an equal distribution of negative and positive comments.
Keywords: opinion mining, sentiment analysis, text mining, text classification, Bulgarian language

1. Introduction

In the contemporary digital era, where daily life is intricately linked with technology and the Internet, the abundance of web documents has grown significantly. Consequently, there is an imperative need for techniques and methodologies to render these web documents comprehensible to computers. Addressing this challenge are Natural Language Processing (NLP), and Sentiment analysis, a component of NLP, which focuses on categorizing user reviews and comments into positive or negative sentiments by discerning the opinions expressed in each sentence. [2] Numerous tools, methodologies, and applications have been developed to extract sentiment from texts in the English language. However, for less commonly used languages like Bulgarian, the landscape is distinct. There are only a few readily available tools for preprocessing, minimal datasets, and the research in this domain is still nascent, leaving ample room for improvement.[3][4]

The aforementioned factors motivated the author to initiate research in the realm of sentiment analysis specifically focused on the Bulgarian language. In the initial phase, they created two extensive datasets, each containing approximately 100,000 user comments in Bulgarian. Additionally, they formulated a customized stop words list for the preprocessing purposes.

After the preprocessing of the data, the two datasets have been equalized in order to be able correctly to compare and analyze the results. Table I shows the total count of the reviews in each datasets as well as the count of the positive and negative user comments. As it also can be seen from the figure, the negative comments are a lot less than the positive.[5]

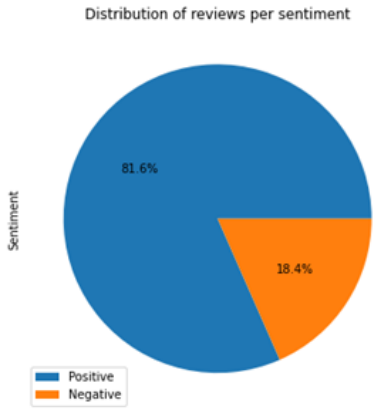


Fig. 1 Distribution of reviews per sentiment for Dataset 1 and 2

Table 1 Number of reviews in Dataset 1 and Dataset 2

User reviews	*Dataset 1*	*Dataset 2*
Positive	63 714	63 714
Negative	14 357	14 357
Total	**78 071**	**78 071**

Subsequently, the author conducted experiments using prevalent machine learning algorithms to determine the most effective approach for sentiment analysis in Bulgarian texts. These methods included the Naïve Bayes approach, Logistic regression, Support Vector Machines, Random Forest, and Recurrent Neural Network methods. While the outcomes were satisfactory, they also prompted further inquiries due to a notable accuracy discrepancy of approximately 5% in favor of Dataset 2 (refer to Table 2).

Building upon this quest for an optimal algorithm, they introduced an enhanced ensemble algorithm, named att_SVM+biLSTM+lex_RF. This approach combines two machine learning techniques, Support Vector Machines (SVM) and Recurrent Neural Network (RNN), through a stacking ensemble method, with Random Forest (RF) serving as the meta-classifier. To further enhance predictive accuracy, an attention mechanism— a technique focusing on specific parts of the input data—is implemented before applying SVM, and a lexicon-based approach is incorporated within the RF classifier.[6]

Table 2 Summary of the previous results of the author

Classification method Tf –IDF Bi-grams	**Dataset 1**		**Dataset 2**	
	without stemming	Stemming	without stemming	Stemming
Naïve Bayes	0,841	0,836	0,864	0,858
Logistic regression	0.899	0.901	0.940	0.940
Logistic regression +attention mechanism	0,898	0,901	0,937	0,941
Support Vector Machine	0.894	0,898	0,933	0,937
SVM+ attention mechanism	0,899	0,901	0,939	0,940
Random forest	0,861	0,872	0,900	0,908
LSTM	0,909	0,912	0,943	0,944
SVM + RF	0,904	0,903	0,943	0,942
SVM+LSTM	0,897	0,900	0,949	0,940
SVM+LSTM+ attention	0,905	0,907	0,942	0,943
att_SVM+biLSTM+lex_RF	0.905	**0.913**	0.944	**0,948**

The 4% difference observed in the two datasets prompted the authors to investigate the variation in results within the datasets, focusing on the datasets rather than the employed algorithms. This led to the implementation of complexity analysis using the Gunning Fog index formula, adapted for the Bulgarian language. Initially, the number of words, sentences, and complex words in each user review was counted. Subsequently, the Fog index (F) was computed for each comment, and finally, an average index was calculated for each dataset. [1] Although the disparity in results may not be substantial, following Boehm's classification, the outcomes fall into distinct segments. Dataset 1, characterized by F values under 12, aligns with typical business document readability. On the other hand, Dataset 2, exhibiting F values above 12, corresponds to a readability level often associated with software documentation.[7]

Table 3 Number of complex words and sentences in the comments

	Dataset 1	Dataset 2
Number of sentences above 20	22	0
Number of sentences between 10 - 20	732	51
Number of 1 sentences	43 789	43 986
Number of complex words above 40	24	0
Number of complex words between 20 - 40	397	4
0 complex words	14 219	11 720

In Table 3, it is evident that Dataset 1 contains comments with a higher number of sentences compared to Dataset 2. Specifically, Dataset 1 comprises 754 user reviews with more than 10 sentences in each review, whereas Dataset 2 has only 51. In terms of complex words, Dataset 1 again takes the lead, featuring 421 comments with more than 20 complex words, while Dataset 2 has only 4.

Another distinction in the word composition of the two datasets is the length of comments (refer to Table 3). In Dataset 2, the comments with the highest word count contain 84 words, while in Dataset 1, there are 1065 comments exceeding 84 words, with some extending up to 370 words in a user review.[7]

The bag of words in the two datasets varies significantly. Dataset 1 contains a notably higher number of complex words compared to Dataset 2, and it also includes more extended comments. This discrepancy could potentially explain why Dataset 1 yields a lower final accuracy when various sentiment analysis methods are applied. Although the presence of numerous reviews with just one sentence and zero complex words, along with the averaging of results, might not manifest a significant difference in the Fog index between the two datasets, a more thorough examination of their respective bags of words reveals the true distinction between them.

The inspiration behind this paper stems from the idea of merging the two datasets into one to increase the volume of negative comments, achieve a balance between positive and negative comments, and assess how this change will influence the accuracy of the above methods.

2. Application on various machine learning algorithms for sentiment analysis on equal positive and negative comments in Bulgarian

For the objectives of this paper, we merged the two datasets and selected an equal number of negative and positive comments. Consequently, a novel dataset (hereafter referred to as dataset 3) was generated, comprising a total of **57 386** comments, evenly divided between 28 693 positive and 28 693 negative user reviews. The distribution of positive and negative comments is illustrated in the figure 2.

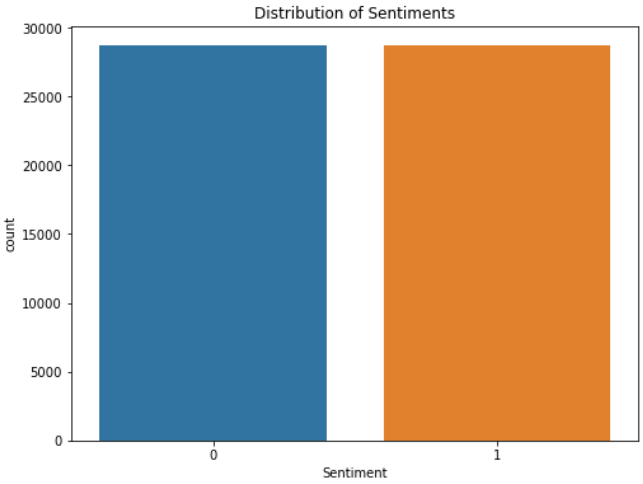


Fig. 2 Distribution of positive and negative comments

Figure 3 displays the prevalent words in dataset 3 after excluding stop words. This includes individual words as well as word combinations such as *'very satisfied*,' *'good*,' *'less*,' *'good services*,' *'very good*,' *'super*,' *'hotel*,' and others. Figure 4 shows the most informative words according to the applied attention mechanism. The word *'No'* has the highest weight, followed by the words *'recommend*,' *'hotel*,' and *'satisfied*.' Most of the words exhibiting the highest significance are also among the most frequently used.

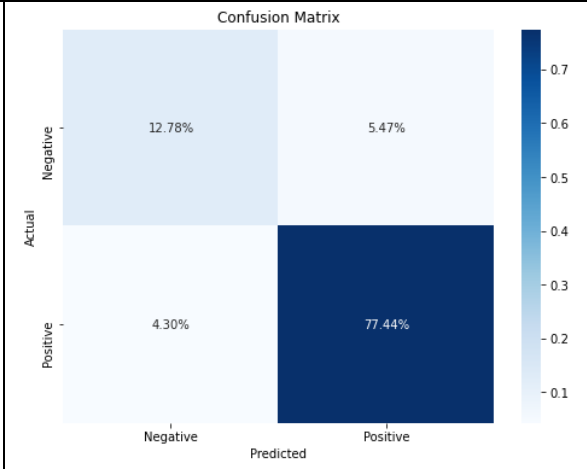
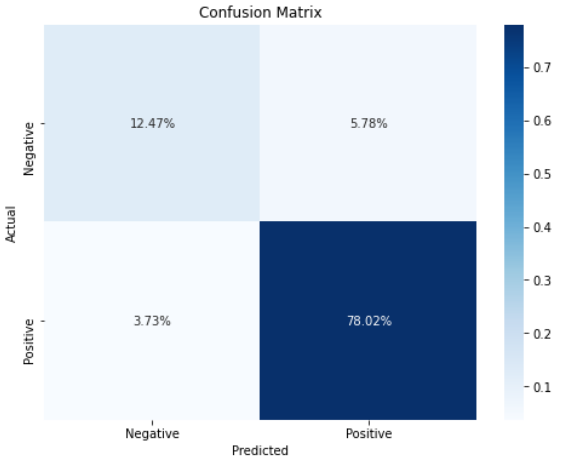
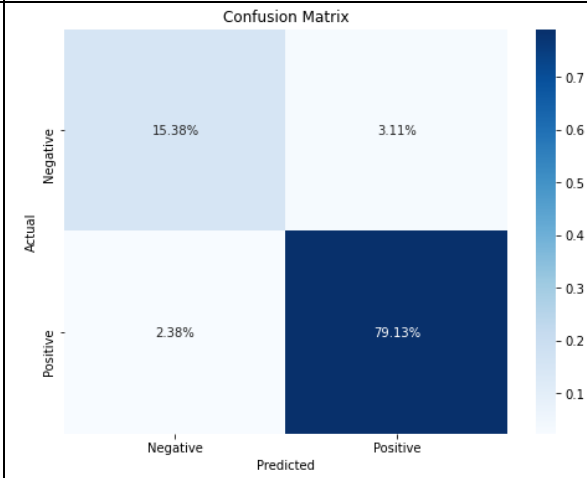
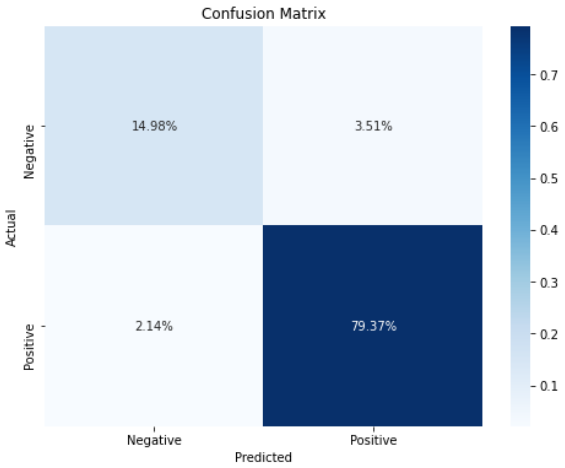
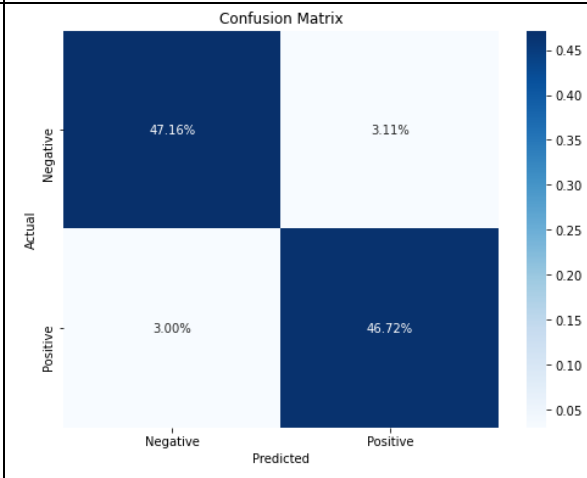
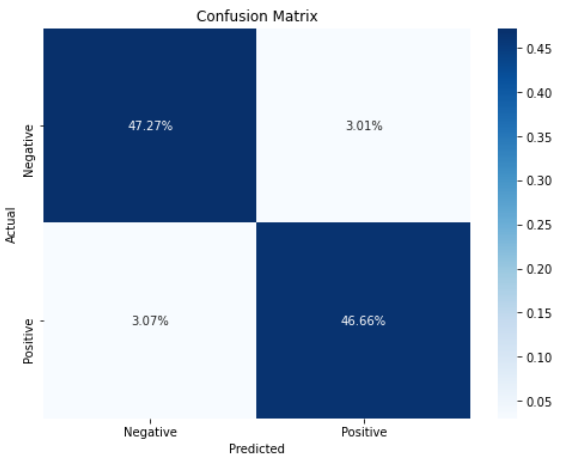
Fig. 3 Most common words in the dataset

не: 0.0021
препоръчвам: 0.0015
хотела: 0.0013
доволна: 0.0012
страхотно: 0.0012
благодаря: 0.0010
хотел: 0.0010
не доволна: 0.0010
вкусно: 0.0009
страхотна: 0.0009

Fig. 4 Most informative words after attention mechanism and their weights

To assess potential differences in the outcomes between the initial two datasets (as detailed earlier) and the newly formed dataset 3 featuring an equal distribution of positive and negative comments, the following tables depict the confusion matrices for all three datasets. Additionally, the accuracy obtained from the evaluated methods is provided. The initial presentation focuses on outcomes from commonly used methods, such as SVM and Logistic Regression, which can be seen in Table 4.

Table 4. Confusion matrix and Final accuracy with Tf-idf bigrams and stemmed data

Data used	Confusion matrix for SVM+attention and Final accuracy	Confusion matrix for Logistic regression +attention and Final accuracy
Dataset 1	 **0.9023**	 **0.9049**
Dataset 2	 **0.9451**	 **0.9435**
Dataset 3	 **0.9388**	 **0.9392**

SVM and Logistic Regression yield comparable accuracy results across the three datasets. As mentioned earlier, there is a 4% discrepancy in accuracy between dataset 1 and dataset 2, with

dataset 1 achieving an accuracy of 90.37% and dataset 2 achieving 94.24%. The accuracy achieved on dataset 3 is close to that of dataset 2 but slightly lower at 93.63%.

Examining the confusion matrices for the three datasets reveals notable distinctions. Dataset 1 exhibits a higher error rate of over 6% in incorrectly predicting negative comments as positive, whereas for dataset 2, this rate is only 3.85%. Additionally, there is a contrast in wrongfully predicting positive reviews as negative, with rates of 3.60% for dataset 1 and 2.14% for dataset 2. These discrepancies contribute to the 4% difference in accuracy between the two datasets. Dataset 3, formed by merging datasets 1 and 2 with an equal distribution of positive and negative comments, exhibits outcomes more akin to dataset 2. Notably, it records the lowest rate of incorrectly predicted negative reviews as positive, standing at 3.08%. These findings reinforce the notion underlying this evaluation: maintaining an equal balance between positive and negative reviews, particularly by increasing the volume of negative reviews, leads to enhanced accuracy and reduced percentages of misclassified comments.

As the subsequent phase of this project, the author's newly proposed sentiment analysis method, named att_SVM+biLSTM+lex_RF, was applied. This algorithm constitutes an ensemble method amalgamating SVM and LSTM, incorporating the attention mechanism within the SVM model, and employing a Random Forest meta-classifier. Additionally, it integrates a partial lexicon method. To facilitate a comprehensive evaluation, the confusion matrixes for the three datasets are provided once again.

Table 5 Application of att_SVM+biLSTM+lex_RF with Tf-idf bi-grams, stemmed data

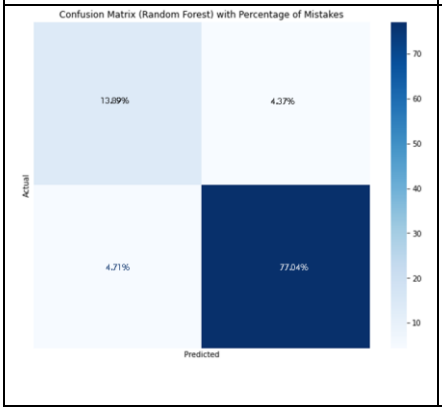
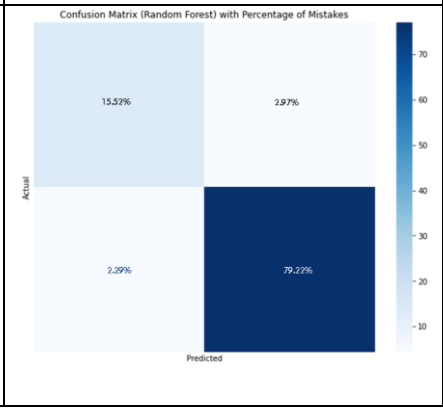
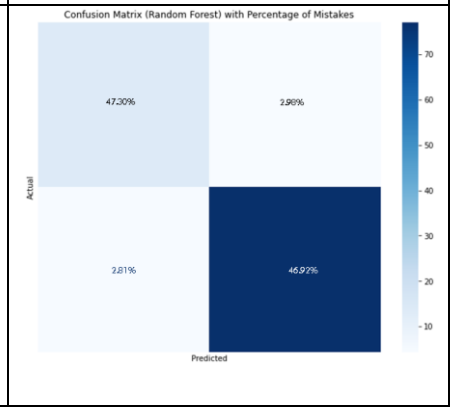
Dataset 1	**Dataset 2**	**Dataset 3**
0.9092	0.9474	0.9445
		

Table 5 reveals that the ultimate accuracy achieved across the three datasets using the proposed att_SVM+biLSTM+lex_RF method surpasses the performance of the author's previously examined methods. The enhancements, while modest in percentage, are notable. Additionally, it is noteworthy that the misclassification rate of negative comments as positive is consistent between dataset 2 and 3, and significantly lower than that observed in dataset 1. Similar patterns are observed in the misclassification rate of positive reviews as negative.

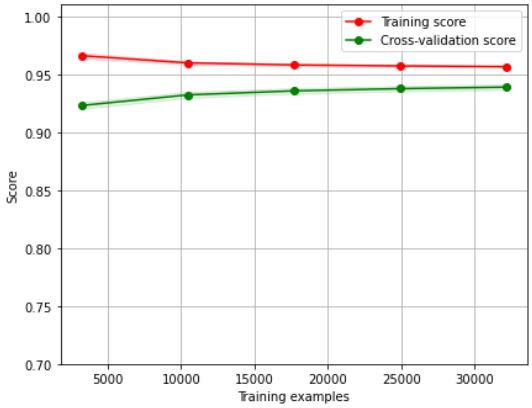


Fig. 5 Deviation of final accuracy with number of training comments

Figure 5 illustrates the variation in final accuracy concerning the number of training examples. It is evident that beyond 25,000 reviews, the accuracy remains constant. All experiments were conducted with a 70%-30% split between training and testing data, resulting in 40,170 instances in the training set and 17,217 instances in the testing set. This configuration provides ample comments for both training and testing in the thus-created dataset 3.

The aforementioned experiments provide evidence supporting the assertion that supplying machine learning methods with sufficiently large datasets containing equal proportions of positive and negative comments enhances accuracy and reduces prediction errors.

3. Conclusion

This study merged two previously created datasets to form a balanced dataset 3, resulting in improved accuracy in sentiment analysis. The att_SVM+biLSTM+lex_RF method proposed by the author outperformed previous approaches, demonstrating modest yet noteworthy enhancements. Importantly, maintaining an equal balance between positive and negative reviews contributed to superior accuracy and reduced misclassifications. These findings emphasize the significance of providing machine learning models with large, balanced datasets for optimal performance.

References

[1]. Dattatreya S. Understanding Text Complexity with Readability Formulas, Sep 10, 2019, https://medium.com/analytics-vidhya/visualising-text-complexity-with-readability-formulas-c86474efc730

[2]. Hajmohammadi M.S., R.Ibrahim, Z. Othman. A. Opinion mining and sentiment analysis: a survey. INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTERS & TECHNOLOGY, 2(3c), 171-178. https://doi.org/10.24297/IJCT.V2I3C.2717

[3]. Kapukaranov B., P.Nakov, Fine-grained sentiment analysis for movie reviews in Bulgarian, Proceedings of Recent Advances in Natural Language Processing, p. 266-274, Hisar, Bulgaria, Sep.7-9 2015. https://aclanthology.org/R15-1036.pdf

[4]. Nakov P.. (1998). BulStem: Design and Evaluation of Inflectional Stemmer for Bulgarian, Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/250443777_Design_and_Evaluation_of_Inflectional_Stemmer_for_Bulgarian

[5]. Petrova, D. (2021) Comparative assay on sentiment analysis on two databases in Bulgarian language, Interdisciplinary Conference on Mechanics, Computers and Electrics, Ankara, Turkey, 27-28 November 2021, ISBN: 978-625-409-707-2

[6]. Petrova D., V.Bozhikova (2023), „A new approach, by combination of SVM with attention mechanism and bi LSTM for sentiment analysis of Bulgarian user comments“, American Journal of Engineering Research (AJER), e-ISSN: 2320-0847 p-ISSN : 2320-0936, Volume-12, Issue-10, pp-91-97, https://www.ajer.org/current-issue.html

[7]. Petrova D., V.Bozhikova (2022) Sentiment and complexity analysis on two databases in Bulgarian language – final estimation, ICECCME, 16-18 November, Maldives, DOI: 10.1109/ICECCME55909.2022, Electronic ISBN:978-1-6654-7095-7

For contacts:
Daniela Petrova
Software and Internet Technologies
Technical University - Varna
E-mail: daniela.petrova@tu-varna.bg

СОФТУЕРНИ И ИНТЕРНЕТ ТЕХНОЛОГИИ

TU-Varna FCA Faculty of Computing & Automation

ОЦЕНКА НА РИСКА С ПРОГНОЗИРАНЕ НА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИ ПАРАМЕТРИ

Тодор Н. Тодоров

Резюме: Статията представя софтуерна система по проект ILIAD за ДППИ (Държавно предприятие Пристанищна инфраструктура), която подпомага диспечерите относно решения за допускане на корабите в пристанищните терминали. Данните са от мрежа метеорологически станции на ДППИ с информация за скорост и посока на вятъра, температура, налягане, влажност, видимост. Състои се от сървър за данните и клиентска програма за диспечерите на пристанището. Оценката на риска представлява прогноза дали ще бъдат спазени метеорологическите правила на пристанищния терминал. Представят се два метода за прогнозиране на метеорологическите параметри: регресионен анализ (авторегресии) и метод на сингулярния спектрален анализ (SSA).
Ключови думи: прогнозиране, метеорологически станции, скорост и посока на вятъра, температура, налягане, влажност, видимост, времеви серии, авторегресии, сингулярен спектрален анализ.

Risk Assessment with Forecasting Meteorological Parameters

Todor N. Todorov

Abstract: The paper presents a software system developed under the project “Iliad” for BPI Co. (Bulgarian Ports Infrastructure Company), which assists the dispatchers in making decisions on whether to admit ships to the port terminals. It works with data from a network of meteorological stations of BPI with information on: wind speed and direction, temperature, pressure, humidity, visibility. It consists of: a data server and a client program for the port dispatchers. The risk assessment is a forecast of whether the rules of the port terminal will be met. Two methods for forecasting the meteorological parameters are presented: regression analysis (autoregressions) and singular spectral analysis (SSA).
Keywords: forecasting, meteorological stations, wind speed and direction, temperature, pressure, humidity, visibility, time series, autoregressions, singular spectral analysis

1. Увод

Пристанищната логистика включва дейности, свързани с превоза, складирането и разпределението на стоки и товари. Една от основните и задачи е да осигури безопасно и ефективно акостиране и отплаване на корабите в пристанището. Това изисква вземане на решения от страна на диспечерите, които трябва да оценят риска от възникване на инциденти или аварии, свързани с метеорологичните условия, техническото състояние на корабите и пристанищната инфраструктура. Решенията на диспечерите имат значително влияние върху безопасността, ефективността и рентабилността на пристанищната логистика.

За подпомагане на работата на диспечерите е необходим непрекъснат анализ в реално време на данните, свързани с метеорологичните условия, корабните характеристики и пристанищните правила. Необходими са надеждни прогнози за развитието на метеорологическата обстановка в следващите часове, за да може да се оцени риска от възникване на неблагоприятни условия. За целта се използват методи с машинното обучение за анализ и прогнозиране.

През последните години се налагат следните групи методи за машинно обучение при прогнозирането на времеви серии: Чрез авторегресии, чрез спектрален анализ на сигналите и чрез невронни мрежи. В приложената литература са посочени изследвания, свързани с употребата на тези методи, както и някои техни варианти [16]. С развитието на

производителността на компютърната техника все повече се налагат методи с използване на невронни мрежи [12].

В настоящата статия е представена софтуерна система (фиг. 1), разработена по проект ILIAD [1] за ДППИ [3], която използва машинно обучение за управление на риска при акостиране и отплаване на корабите в Рристанище - Варна. Системата се базира на данни от мрежа метеорологически станции на ДППИ, които се използват за прогнозиране на силата на вятъра. Прогнозата се сравнява с правилата на пристанището, които определят допустимите граници на метеорологическите условия за безопасни корабни маневри. Доколкото системата работи в реално време, използваните методи за прогнозиране са оптимизирани откъм производителност и надеждност.

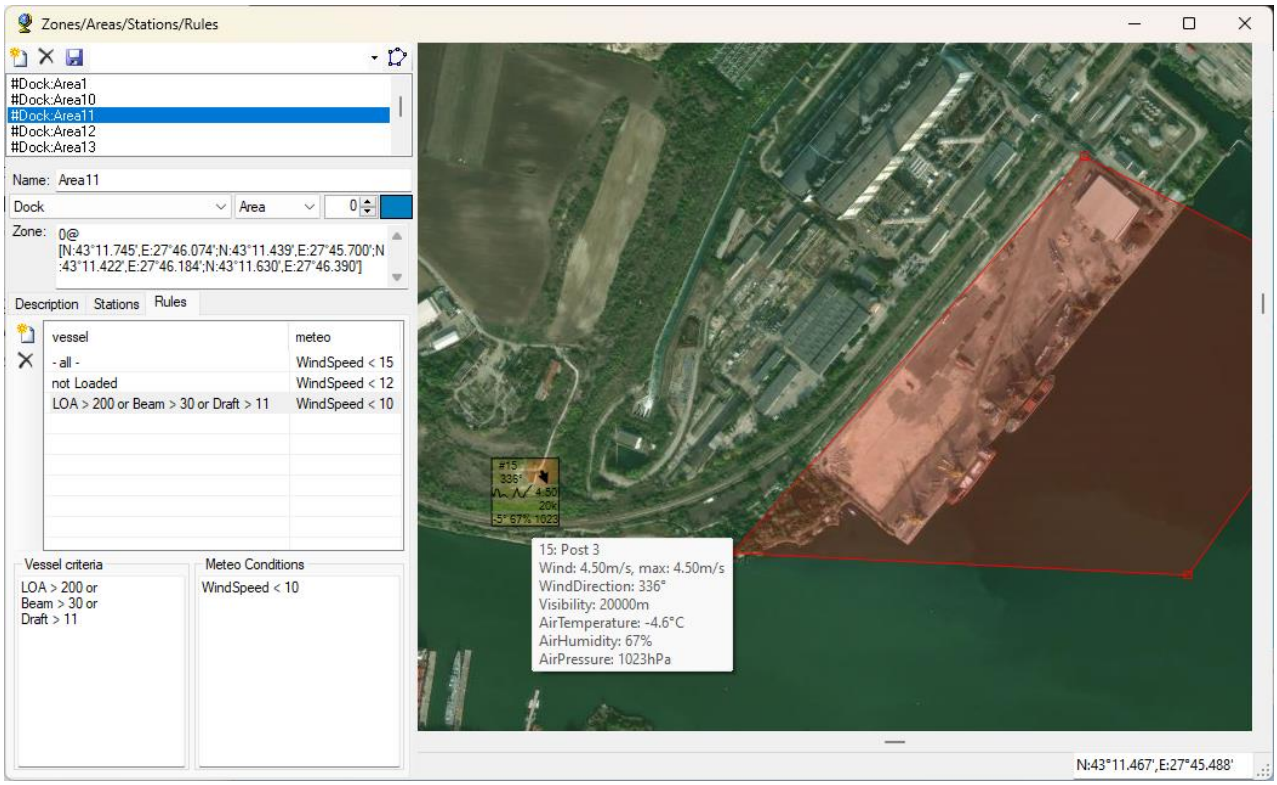
Фиг. 1. Приложение за оценка на риска за диспечерите на ДППИ

2. Изложение

2.1. Структура на данните, необходими за оценка на риска

Правилата на пристанището се определят от РАЗПОРЕЖДАНЕ № 1 - ИЗИСКВАНИЯ ЗА ОСИГУРЯВАНЕ БЕЗОПАСНОСТТА НА КОРАБОПЛАВАНЕТО В РАЙОНА НА ОТГОВОРНОСТ НА ДИРЕКЦИЯ „МОРСКА АДМИНИСТРАЦИЯ – ВАРНА” [2]. Те засягат много аспекти на корабните характеристики, които подлежат на директен контрол от служители на морска администрация. Ключов момент е оценката за безопасност на маневрите от дежурния диспечер на „Пилотска станция - Варна“ (Част II., точка 10.2), спрямо текущата метеорологическа обстановка и по-специално - съобразяване с Приложение №1 към т.30: „Хидрометеорологични ограничения при извършване на маневри в пристанище Варна“.

В този смисъл оценката на риска представлява оценка доколко метеорологическите условия (скорост на вятъра) в настоящия момент и за времето, необходимо на кораб да акостира/отплава в пристанищния терминал (до 2-3 часа), отговарят на изискванията.



Фиг. 2. Настройка на правилата за пристанищни терминали

На фигура 2 са показани въведените правила за терминал ТЕЦ Езерово:

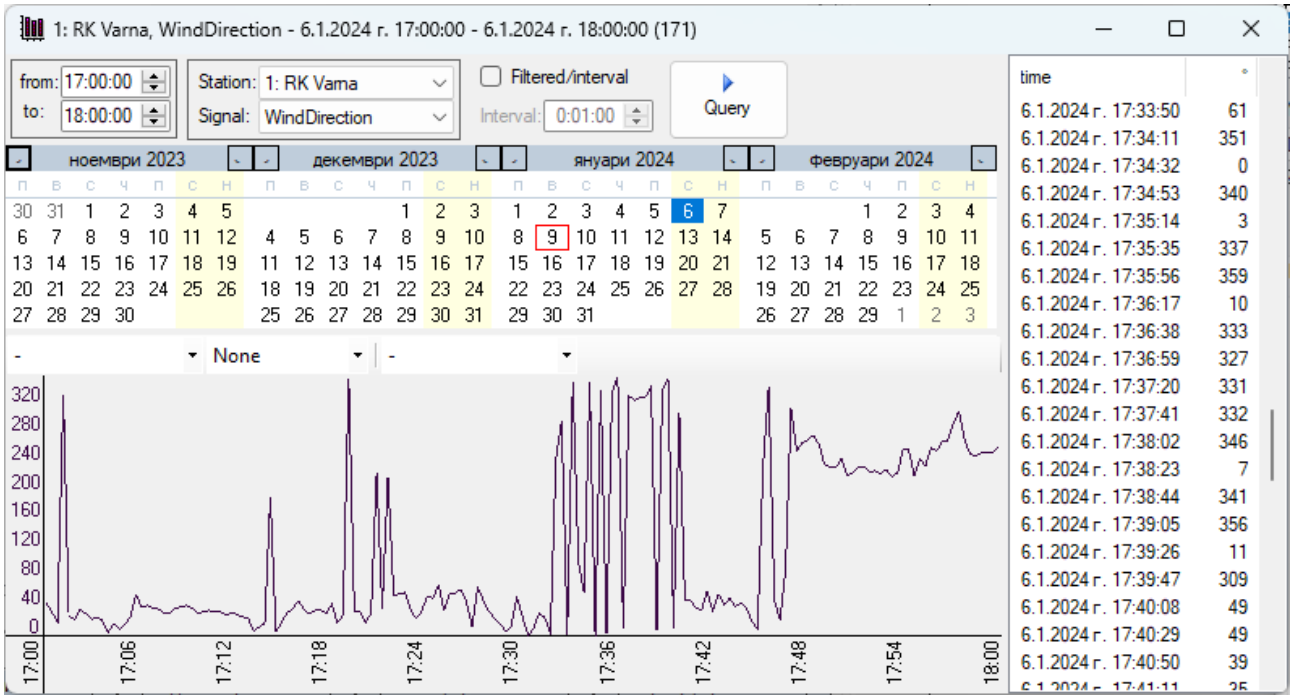
- за кораби с: LOA (=length overall – обща дължина) над 200 метра (LOA > 200) или Beam (най-голяма ширина) над 30 метра (Beam > 30) или Draft/Газене над 11 метра (Draft > 11) максимално допустимата скорост на вятъра за маневри е под 10м/с (WindSpeed < 10)
- за кораби, които не изпълняват горното условие, но са без товар (с баласт), максимално допустимата скорост на вятъра за маневри е под 12м/с (WindSpeed < 12)
- за останалите кораби (натоварени и под параметрите от първото условие), максимално допустимата скорост на вятъра за маневри е под 15м/с (WindSpeed < 15)

При въвеждане на идентификационен номер на кораб IMO (International Maritime Organization) или MMSI (Maritime Mobile Service Identity), то през AIS (Automatic Identification System), достъпна през VTS(Vessel Traffic Services), се получават характеристиките му. Те се анализират спрямо зададените правила на пристанищния терминал и прогнозите за метеорологическа обстановка.

2.2. Входни данни от метеорологически станции

За входни сигнали се използват данни от мрежа метеорологически станции на ДППИ, които тренират модел, на базата на който се прогнозират сигналите в следващите часове и се оценява съответствието им с правилата на пристанищния терминал. Мрежата метеорологически станции предава информация за скорост на вятъра, посока на вятъра (анемометрична – т.е. посока, от която духа), температура, налягане, влажност, видимост. Всяка станция предава през около 20 секунди. Посоката на вятъра е важен сигнал, но

доколкото е ъглова стойност (в случая – в градуси), тя има цикличност 360° = 0° и губи своята инертност около тези стойности. Това е показано на фигура 3.



Фиг. 3. Пример за неинертност на данните за посока на вятъра около стойност 0°,360°

Затова посоката на вятъра и скоростта на вятъра могат да бъдат заместени с векторни стойности – северна и източна компоненти на скоростта на вятъра. WindNorth=>WindSpeed*cos(WindDirection), WindEast=> WindSpeed*sin(WindDirection)

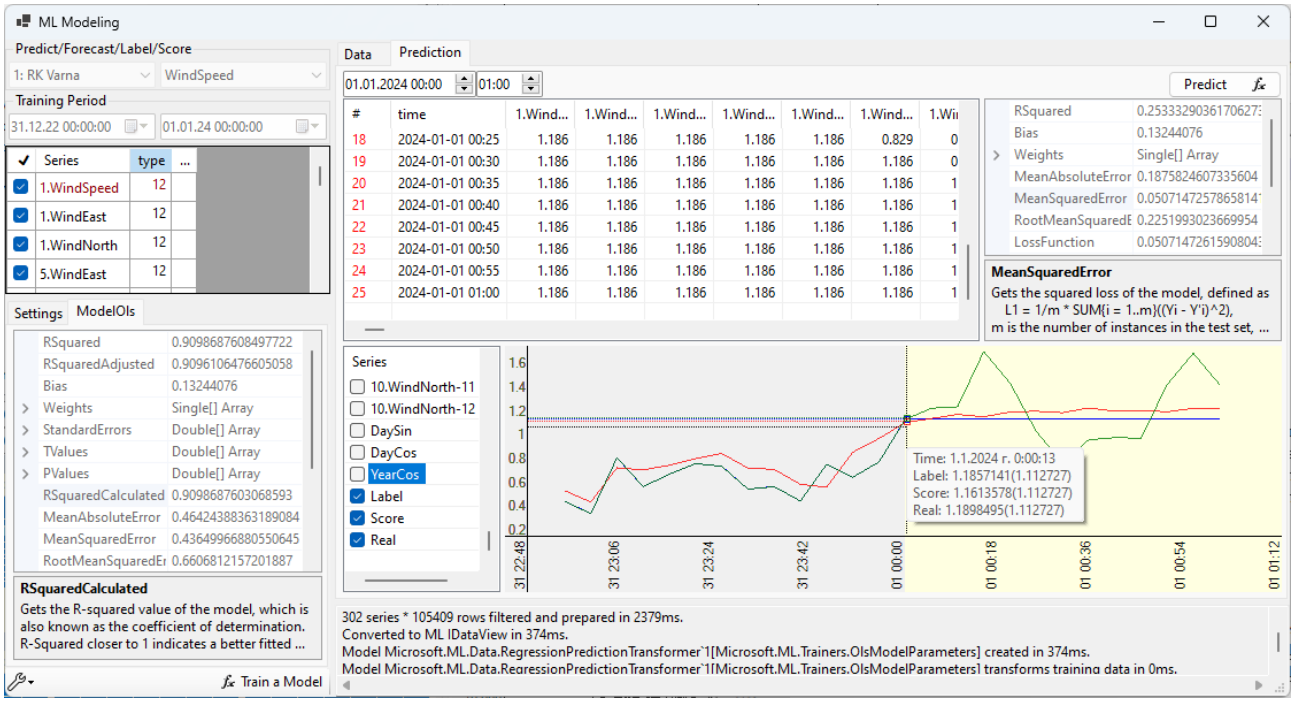
2.3. Методи за прогнозиране на метеорологическите условия:

За да бъде изготвена прогноза за метеорологическите параметри в следващите часове (за евентуална маневра на кораба), се използват методи за машинно обучение. На базата на съществуващите натрупани метеорологически данни се изготвя модел, който се прилага към текущия времеви момент и се изготвя прогноза (Timeseries Forecasting). Използваните методи/модели за прогнозиране са утвърденият регресионен анализ (авторегресии) и методът на сингулярния спектрален анализ (SSA).

2.4. Регресионно прогнозиране

Регресионното прогнозиране изследва връзките между настоящите и изминалите стойности на сигнала, който се прогнозира, както и между него и други свързани сигнали. За да се отрази сезонността, т.е. зависимостта на метеорологическите сигнали от времето в денонощието и сезоните, се добавят времеви серии – синусоиди за времето на деня и годината.

Фигура 4 илюстрира приложението за анализ на входните данни, което интегрира пакетите Microsoft ML.Net, TensorFlow, Keras. То осигурява методи за анализ, филтриране, нормализация, интерполация и други операции върху входните серии. Използва се за тестване, валидация и оценяване на моделите, както и за оптимизация на техните параметри. Дава възможност за гъвкаво изпълнение на тестови сценарии с разнообразни характеристики на тренировъчните серии. Приложението използва директни софтуерни методи, които осигуряват висока производителност при създаването/тренирането на модели.



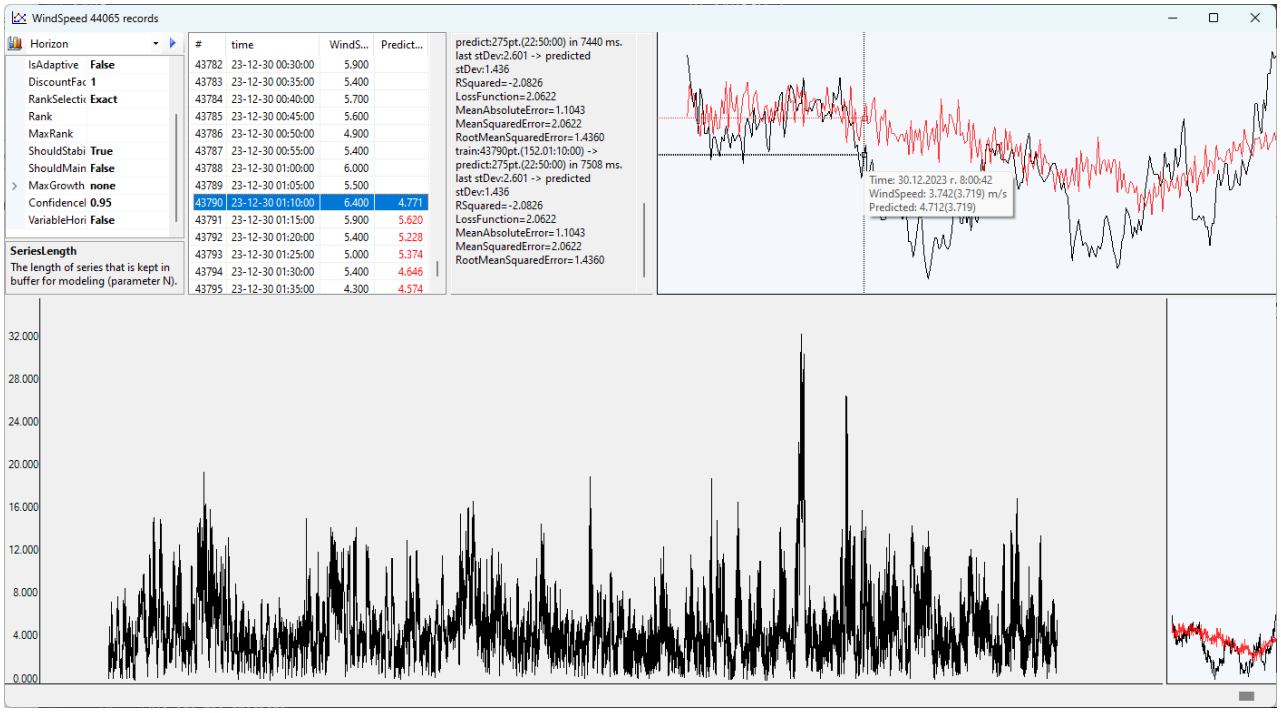
Фиг. 4. OLS регресионен модел + предсказване с данни за 1 година

Фигура 4 демонстрира генерирането на регресионен модел (тип Ordinary least-squares), базиран на данни от 302 серии по 105409 стойности (за 1 година, през 5 минути). Моделът се тренира (изчисляват се регресионните коефициенти) за 374 милисекунди на стандартна компютърна система. Това осигурява възможност за трениране на моделите в реално време.

2.5. Прогнозиране чрез сингулярен спектрален анализ (SSA)

Сингулярният спектрален анализ (SSA) се състои от две стъпки: първо, извлича периодичната компонента на времевия ред чрез Бързо преобразуване на Фурие (FFT – Fast Fourier Transformation) и изчислява спектралния остатък (Spectral Residual - SR), който отразява аномалиите; второ, използва остатъчната компонента за прогнозиране на бъдещите стойности на времевия ред и за изчисляване на вероятността за аномалия. Затова не се изисква предварително задаване на модел за тренда или периодичността на входната серия.

Пример за SSA модел за предсказване на скорост на вятъра е показан на фигура 5.



Фиг. 5. Пример за SSA модел за предсказване на скорост на вятъра

3. Експерименти и резултати

Таблица 1. Експериментални резултати за изследваните методи - OLS, SCDA и L-BFGS

		OLS	SCDA	L-BFGS
Модел	gen./ms	374	318	367
	RSqr/CD	0.9099	0.8866	0.7464
	Bias	0.1324	0.1626	0.4701
	MAE	0.4642	0.5016	0.6999
	MSE	0.4365	0.5491	1.2283
	RMSE	0.6607	0.741	1.1083
Предсказване	RSqr/CD	0.2533	0.4098	-44.5578
	Bias	0.1324	0.2549	0.4701

Изследвани са 3 вида регресии: Ordinary least-squares (OLS) regression, Stochastic Dual Coordinate Ascent (SDCA) regression – (двойствен подход и стохастична оптимизация), Limited Memory Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (L-BFGS) Poisson regression с еднакви данни за скорост на вятъра за 1 година (2023г) и прогнозиране на първия час от 2024. (Фигура 4 показва приложението.)

В Таблица. 1 е показано, че Root Mean Square Error (RMSE) е с най-малка стойност при OLS регресията. OLS моделът дава и най-надеждни и консистентни резултати за различните сигнали, локации и времеви интервали.

4. Заключение

Методът за прогнозиране на времеви сигнали чрез регресионен анализ/авторегресии е подходящ от гледна точка на използването на зависимостите между различните серии данни. От друга страна увеличаването на степента на авторегресивност (използване на данни по-

назад във времето), увеличава необходимите изчислителни ресурси. SSA (сингулярният спектрален анализ) от своя страна води до модел, много по-пълно отразяващ историята на динамиката на данните (анализ на спектъра на сигналите). Неговото ограничение е, че работи върху една времева серия (един сигнал).

Използваните методи водят до голяма скорост на генериране на прогнозни резултати. Това е необходимо при работа в реално време. Но в отделни случаи могат да доведат до неточни прогнози. Затова следващата стъпка е да се използва невронна мрежа за прогнозиране, която да комбинира анализа на много взаимозависими входни данни и да създаде по-пълен модел на данните, базиран на тяхната динамика.

Благодарности

Приложението, изследванията и резултатите са създадени по проект ILIAD "INTEGRATED DigitaL Framework FOR Comprehensive MARITIME DATA AND INFORMATION SERVICES", финансиран от Европейската Комисия по програма H2020 RIA, GA No.101037643/H2020-LC-GD-2020-4.

Литература:

[1]. ILIAD, Access The European Digital Twins of the Ocean Marketplace, https://ocean-twin.eu/
[2]. Агенция „Морска администрация", РАЗПОРЕЖДАНЕ № 1, гр.Варна, 10.09.2018 г., https://www.marad.bg/sites/default/files/old_docs/Vn_razp_1_2018.pdf
[3]. Държавно предприятие Пристанищна инфраструктура, http://www.bgports.bg/, https://vtmis.bg/bg/meteobg
[4]. Afrifa, E. Y., Mueller, U. A., Taylor, S., and Fisher, A. (2020). Missing data imputation of high-resolution temporal climate time series data. Meteorological Applications
[5]. Al Balasmeh, O., Babbar, R., and Karmaker, T. (2019). Trend analysis and ARIMA modeling for forecasting precipitation pattern in Wadi Shueib catchment area in Jordan. Arabian Journal of Geosciences
[6]. Nina Golyandina, Anton Korobeynikov. Basic Singular Spectrum Analysis and Forecasting with R. St. Petersburg State University, 2013 (https://arxiv.org/pdf/1206.6910.pdf)
[7]. Babu, C. N. and Reddy, B. E. (2014). A moving-average filter-based hybrid ARIMA–ANN model for forecasting time series data. Applied Soft Computing
[8]. Safia Amur Ali ALMarhoobi (2022). Time series analysis and forecasting with applications to climate science. School of Mathematics, Cardiff University, 2022.
[9]. Teodor Knapik, Adolphe Ratiarison, Hasina Razafindralambo (2023). An experimental evaluation of choices of SSA forecasting parameters. Université de la Nouvelle Calédonie, 2023.
[10]. A. Korobeynikov, A. Shlemov, K. Usevich, and N. Golyandina. Rssa: a collection of methods for singular spectrum analysus. The Comprehensive R Archive Network. 2021.
[11]. M. A. R. Khan and D. S. Poskitt. "A note on window length selection in singular spectrum analysis". In: Australian & New Zealand Journal of Statistics 55.2 (2013)
[12]. H. Hewamalage, C. Bergmeir, and K. Bandara. "Recurrent Neural Networks for Time Series Forecasting: Current status and future directions". In: International Journal of Forecasting 37.1 (2021)
[13]. R. Wang, H.-G. Ma, G.-Q. Liu, and D.-G. Zuo. "Selection of window length for singular spectrum analysis". In: Journal of the Franklin Institute 352.4 (2015)
[14]. Hui Liu, Xiwei Mi, Yanfei Li, Zhu Duan, Yinan Xu. Smart wind speed deep learning based multi-step forecasting model using singular spectrum analysis, convolutional Gated

Recurrent Unit network and Support Vector Regression, 2019, https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148119306998
[15]. Michael Leonard and Bruce Elsheimer. Automatic Singular Spectrum Analysis and Forecasting. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA, 2017
[16]. Maryam Movahedifar, Hossein Hassani and Mahdi Kalantari. Recurrent Forecasting in Singular Spectrum Decomposition. Institute for Statistics, University of Bremen, 28359 Bremen, Germany 2023
[17]. Rahman Khan, M.R.; Poskitt, D.S. Forecasting stochastic processes using singular spectrum analysis: Aspects of the theory and application. Int. J. Forecast. 2017
[18]. Muruganatham, B.; Sanjith, M.A.; Kumar, B.; Murty, S.A.V.; Swaminathan, P. Roller element bearing fault diagnosis using singular spectrum analysis. Mech. Syst. Signal Process. 2013
[19]. Golyandina, N.; Korobeynikov, A.; Zhigljavsky, A. Singular Spectrum Analysis with R; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2018
[20]. Vile, J. L., Gillard, J. W., Harper, P. R., & Knight, V. A. (2012). Predicting ambulance demand using singular spectrum analysis. Journal of the Operational Research Society, 63(11), 1556–1565.

За контакти:
докторант Тодор Н. Тодоров
катедра „Софтуерни и интернет технологии“
Технически университет – Варна
E-mail: tnt@abv.bg

СОФТУЕРНИ И ИНТЕРНЕТ ТЕХНОЛОГИИ

АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ПРОЦЕСА НА ОСЧЕТОВОДЯВАНЕ НА БАНКОВИТЕ ОПЕРАЦИИ В ПРЕДПРИЯТИЯТА

Иван Л. Игнев

Резюме: В статията се представя метод за автоматизиране на процеса на осчетоводяване на всички банкови плащания, отразени в справките, предоставяни от банките. Методът е разширение и допълнение на фукционалността на метод за автоматизация на плащанията на доставчици, представен в предходна статия [1]. Представеният метод обхваща всички известни банкови плащания, като лесно може да се адаптира към нови видове, неизползвани досега. Методът е приложим към всеки счетоводен софтуер, който има функционалност за импортиране на файл с данни, форматирани по определен стандарт. Предлага се алгоритъм за работа при софтуерната реализция на метода, който минимизира използването на човешки ресурси при отразяване на банковите плащания в счетоводните системи на предприятията.
Ключови думи:автоматизация, плащания, софтуер

AUTOMATION OF THE BANKING PAYMENT PROCESS IN COMPANIES

Ivan L. Ignev

Abstract: The article presents a method for automating the accounting process of all bank payments reflected in the statements provided by the banks. The method is an extension and addition to the functionality of a method for automating supplier payments presented in a previous article [1]. The presented method covers all known bank payments and can easily be adapted to new types not used before. The method is applicable to any accounting software that has the functionality to import a data file formatted according to a certain standard. An algorithm for work in the software implementation of the method is proposed, which minimizes the use of human resources when reflecting bank payments in the accounting systems of enterprises.
Keywords: automation, payments, software

1. Въведение

Информационните технологии успешно се използват в счетоводната отчетност като осигуряват скорост и качество на информацията, необходима за управлението на предприятията. Въпреки наличието на голямо разнообразие от софтуерни решения, преобладаващата част от фирмите, при счетоводното отразяване на банкови плащания, използват ръчно въвеждане на данни от квалифициран счетоводител. Въвежданата по този начин информация за паричните потоци е бавен и трудоемък процес, който зависи от квалификацията и индивидуалните способности на счетоводителя.

От друга страна информацията за паричните потоци е необходимо да бъде възможно най-бързо и коректно въвеждана и актуализирана, за да бъде своевременно използвана при вземането на управленски решения.

В предходната статия [1], която е фокусирана върху автоматизацията на банковите плащания на доставчици, е направен обзор и сравнителен анализ на функционалностите за автоматизиране на плащанията, предлагани от популярни софтуерни продукти. Пак там е представен метод и софтуер за автоматизация на процеса на плащане на доставчици, с който се решава широк набор от задачи, включително и осчетоводяването на банковите операции.

В настоящата статия на фокус е изложението върху проблемите, свързани с автоматизация на осчетоводяването на всички банкови операции.

Анализ на процеса на счетоводно отразяване на банковите операции и проблемите при автоматизирането му е представен в Таблица 1. Анализирани са предлаганите на пазара софтуерни решения за автоматизиране на плащанията.

Таблица 1. Сравнителна таблица на функционалностите за импорт на банкови извлечения, предлагани от популярни софтуерни продукти (извадка)

Софтуер	Описание	Функционалност за автоматизация на плащанията								Стойност на инвестицията в евро		
		Попълване на платежни документи	Заявки за плащане	Обобщаване в един документ на няколко фактури за плащания към доставчик	Генериране на файлове за импорт към системи за интернет банкиране	Осчетоводяване на група потвърдени преводни нареждания	Обвързване на фактура с плащане	Импорт на банкови извлечения	Самообучение	Минимална цена за базов софтуер	Минимална годишна подръжка	Цена на функционалност за плащания
Controlisy [2]	Софтуер за автомати-зиране на счетоводната дейност	НЕ	НЕ	НЕ	НЕ	НЕ	ДА	ДА	ДА		468	
McMaster [3]	Счетово-ден софтуер	ДА	ДА	НЕ	ДА	ДА	ДА	ДА	НЕ	300	100	
БулмарОфис [4]	Счетово-ден софтуер	ДА	НЕ	НЕ	НЕ	ДА	НЕ	ДА	НЕ		230	
Плюс минус [5]	ERP система	НЕ	НЕ	НЕ	ДА	НЕ	ДА	ДА	НЕ		120	

Само четири софтуерни продукта от разгледаните [1] предлагат възможност за импорт на банкови извлечения. От тях само Controlisy е софтуер, който предлага функционалност независимо от инсталирания вече счетоводен софтуер. Всяка една от останалите позиции в списъка представлява счетоводен софтуер, който осигурява функционалност само на тези, които са го закупили и го използват като основен счетоводен софтуер.

В настоящата статия е представен метод за автоматизирано въвеждане на банкови операции в счетоводна база от данни с минимално човешко участие. Методът е приложим към всеки счетоводен софтуер, който има функционалност за импортиране на файл с данни, форматирани по определен стандарт. Настоящото изследване представлява допълнение и разширение на разработките, описани в предходна статия [1], в следния смисъл - осъществява автоматизация на счетоводното отразяване на всички банкови операции, отразени в банковите извлечения.

2. Осчетоводяване на банкови операции

2.1.Анализ на процеса на осчетоводяване на банкови операции.

Платежните операции, извършвани посредством банки, са ежедневие и необходимост. В края на всеки месец банките предоставят на своите клиенти извлечение за платените и получените суми през месеца по всяка една банкова сметка, които за краткост по-долу в текста ще наричаме банкови операции. Извлечението представлява опис на банковите операции със следния минимум данни за всяка отделна операция: дата (вальор), описание, валута, получена сума или преведена сума, данни за контрагента, други данни по преценка на банката.

В масовия случай извлечението се предоставя от обслужващата банка на титуляра на сметката по един следните начини: (а) като разпечатан хартиен документ; (б) като файл в популярен формат (pdf, txt, xls, doc), изпратен по електронна поща; (в) като файл, генериран и изтеглен от сайт за електронно банкиране. И в трите случая резултатът е един и същ – счетоводството на предприятието получава разпечатани на хартия описи на банковите операции, осъществени през месеца по всяка банкова сметка на предприятието. Получаването на извлечението е началото на процеса на осчетоводяване на банковите операции.

От гледна точка на посоката на паричния поток банковите операции са входящи (в сметката влизат суми, приход на пари) и изходящи (от сметката излизат суми, разход на пари). Всяка операция от извлечението, в зависимост от нейното съдържание, трябва да се въведе от счетоводител в счетоводната база от данни на предприятието. В едно работещо предприятие банковите операции за един месец по една банкова сметка могат да бъдат в диапазона от 10 до 100 и повече. В бюджетните предприятия плащанията в брой са сведени до минимум, съответно преобладаващата част от плащанията са по банков път.

Необходимото време за осчетоводяване на банковите операции пряко зависи от техния брой и разнообразието на икономическото им съдържание. Влияние на количеството банкови операции оказва както мащабът на дейността, така и видът дейност на предприятието. Например: търговията на дребно и ресторантьорството предполагат повече плащания през POS терминали, но на по-малки суми. По отношение на разнообразието на икономическото съдържание: колкото повече операции с различно икономическо съдържание има, толкова повече време е необходимо за тяхното осчетоводяване.

Примери за най-често използваните банкови операции, които може да са както входящи така и изходящи, са: плащане на/от контрагент, получаване/предоставяне на заем, банкова такса, лихва, теглене/внасяне в брой, транзакция от POS терминал, прехвърляне на суми между две сметки на едно и също лице, покупка/продажба на валута, плащане на заплати.

Търговците масово използват POS терминали за получаване на плащания от клиенти. Практиката показва, че ако няма изрично договаряне с обслужващата банката, то всяко едно плащане чрез POS терминал е отделна банкова операция в банковото извлечение. При едни търговци на дребно такива плащания са стотици при други - хиляди. И дори да се сведат до една сума за месеца, то трябва да се търсят в хронологията на извлечението, сред другите банкови операции и да се сумират ръчно.

От гореизложеното следва, че осчетоводяването на банково извлечение с много на брой, даже еднотипни по икономическо съдържание банкови операции, представлява сериозен разход на време и човешки ресурси.

Трябва да се има предвид, че в Република България, чрез специален закон, се въведе забрана за плащания в брой над 10 000 лева, което доведе до постепенно увеличаване дела на банковите плащания в страната и съответно до увеличаване броя на банковите операции между икономическите субекти.

Анализът на процеса на осчетоводяване на банкови операции установява, че съществува необходимост от ускоряване на процеса посредством неговата автоматизация.

2.2.Автоматизация на процеса при осчетоводяване на банкови операции

За да е възможна автоматизацията на този процес, са необходими следните предпоставки:

• Възможност за получаване на банковото извлечение в стандартен файлов формат, годен за обработка (txt, csv, xls).

• Налична функционалност в счетоводния софтуер за импорт на файл със счетоводни операции.

• Софтуер, който да преобразува електронното банково извлечение във файл за импорт на счетоводни операции.

Задължителни условия за автоматизация на осчетоводяването на банкови операции са:

• **Идентификация на контрагента**. Основният индентификатор на контрагента е номерът на неговата банкова сметка (IBAN). Необходимо е да се създаде таблица за съпоставяне на банкова сметка с номер от счетоводната номенклатура, като се има предвид, че един и същи контрагент може да има няколко банкови сметки, но само един номер от счетоводната номенклатура. Когато е вътрешно банкова операция (такса, лихва, обмен), за индентификатор може да се използва сигнатурата на банката в банковото извлечение за този вид операция.

• **Определяне на вида банкова операция (входяща/изходяща).** В банковото извлечение входящите и изходящите суми са в различни колони, което улеснява много определянето на вида на банковата операция.

• **Определяне на счетоводната сметка.** В стандартните случаи се определя дали контрагентът е доставчик или клиент от комбинацията индентификатор на контрагента/вид операция (идентифициран контрагент с изходящ превод – доставчик, с входящ превод – клиент). За всеки друг конкретен случай освен банковата сметка на контрагента, трябва да се използва допълнителна комбинация от фактори, например сигнатура на банката за конкретна операция и ключови думи в описанието на операцията.

От извършения анализ на процеса и възможностите за неговото автоматизиране може да се направи изводът, че към настоящия момент съществуващите софтуерни решения са функционалности на конкретен счетоводен софтуер.

Изключението Controlisy е специализиран софтуер с подходяща фукнционалност, но с висока цена за малкия и среден бизнес.

Софтуер за автоматизация на осчетоводяването на банкови плащания е необходим на фирмите от малкия и средния бизнес, но на приемлива цена и с възможност за съвместно използване с вече инсталирания счетоводен софтуер.

2.3. Метод за автоматизиране на плащанията

Основавайки се на анализите и изводите, посочени в т.2.2, се стигна до разбирането, че разработката на софтуер за автоматизиране на процеса на осчетоводяване на банкови операции трябва да се основава на следните принципи:

1. Създава се и се актуализира база от данни с банкови сметки на предприятието и съответстващите им счетоводни сметки.

2. Идентифицира се банковата сметка на предприятието и съответстващата и счетоводна сметка.

3. От банково извлечение, представено като файл във формат txt, csv или xls, се създава база от данни с банкови операции, която съдържа минимум следните данни за всяка

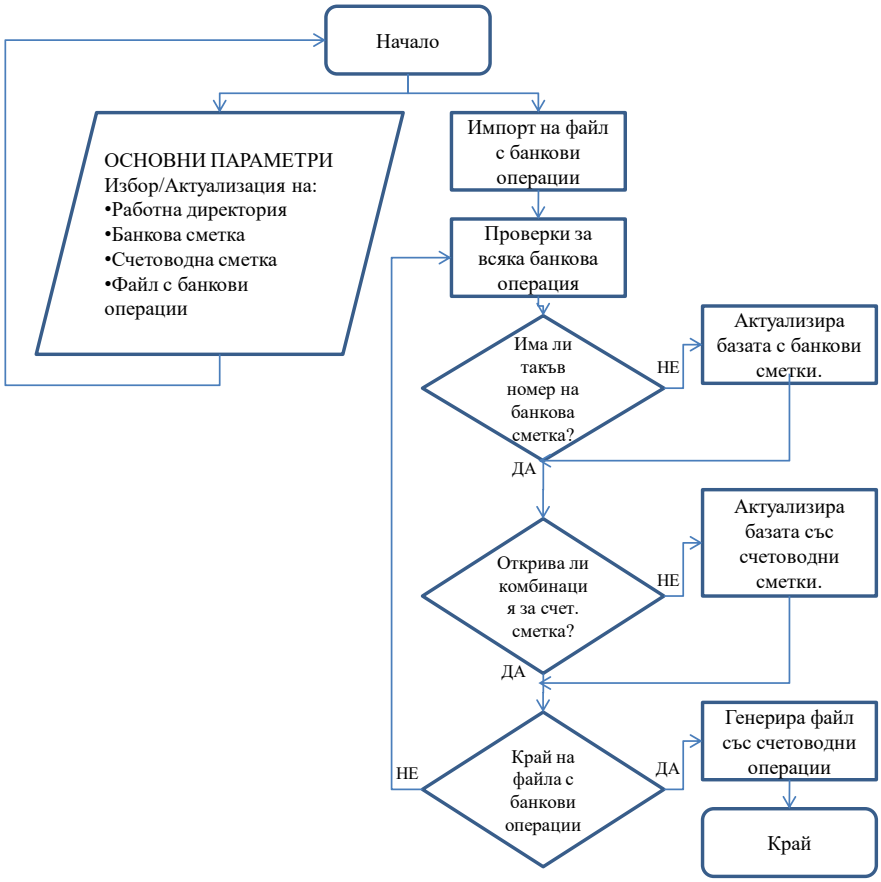
операция: дата (вальор), банкова сметка (IBAN) на контрагента, вид на операцията (входяща/изходяща), описание, вътрешнобанков идентификатор, друга информация, предоставена от банката.

4. Създава се и се актуализира база от данни за банкови сметки на контрагенти, която да съдържа следната информация: номер на банкова сметка (IBAN), счетоводен номер на контрагента. При липса на номер на банкова сметка се използва всяка друга информация, налична в извлечението, с която може да се идентифицира контрагентът.

5. Посредством базата от данни, посочена в т.4., се идентифицира контрагентът на операцията и се определя номера му от счетоводната номенклатура на предприятието.

6. Идентифицира се счетоводната сметка за контрагента, като за целта се създава и актуализира база от данни, в която всяка счетоводна сметка е определена с уникална комбинация от вида на операцията, наличие или липса на ключови думи от описанието на операцията и вътрешнобанковия идентификатор на операцията.

7. След установяване за всяка банкова операция в конкретно банково извлечение на: счетоводната сметка, съответстваща на банковата сметка на предприятието, контрагента, счетоводната сметка за контрагента, датата, сумата, вида и описанието на операцията, се генерира файл със счетоводни операции, форматиран според стандарта на конкретния счетоводен софтуер.



Фиг. 1. Алгоритъм за автоматизиране на осчетоводяването на банковите операции

Описание на алгоритъма за автоматизиране на осчетоводяването на банковите операции (фигура 1)

Избор на основни параметри: Избира се номер на банкова сметка на предприятието и се определя съответстващата ѝ счетоводна сметка. Определя се работната директория и името на файла с банкови операции.

Обработка на файл с банкови операции: Отваря се файлът с банкови операции. Извършва се проверка дали всяка банкова сметка във файла е налична в базата от данни за банкови сметки на контрагенти. Ако не е налична, се добавя заедно със съответния номер на контрагента от счетоводната номенклатура. Определя се счетоводна сметка за контрагент по следния начин: а) за стандартни плащания към доставчици и от клиенти се използва комбинация от вида плащане (входящо/изходящо) и банкова сметка; б) за вътрешно-банкови плащания като банкови такси, начисляване на лихви, се използва комбинация от сигнатурата на банката и вида на плащането; в) за други плащания се прави уникална комбинация, като се използват начините, посочени в т.а и/или т.б, плюс ключова дума или израз от описанието на операцията. Всички комбинации от номер на сметка или сигнатура, вид плащане и ключова дума/израз от описанието, заедно със съответстващата им счетоводна сметка, се съхраняват в отделна база от данни, която се допълва и актуализира при възникнала необходимост.

Генериране на файл със счетоводни операции: След обработката на файла с банкови операции, за всяка банкова операция са определени: дата на операцията, счетоводна сметка, съответстваща на банковата сметка на предприятието, счетоводна сметка и номер от счетоводната номенклатура на контрагента по всяка банкова операция, вид на операцията (плащане/получаване), сума, описание на операцията. Така определени счетоводните параметри на всяка банкова операция са необходимото и достатъчно условие за генериране на файл със счетоводни операции, форматиран за импорт по стандарта на съответния софтуер.

3. Заключение

В тази статия е направен анализ на процеса на осчетоводяване на банковите операции и съществуващите софтуерни решения за автоматизацията му. Представена е теоретична разработка на универсален метод за автоматизиране осчетоводяването на банковите операции. Разработеният алгоритъм е следствие от проучване на счетоводната практика в реални предприятия и обсъждане със счетоводители на проблемите при осчетоводяване на банкови операции. Методът е в основата на разработката на софтуер, предоставящ необходимата функционалност. Софтуерът е в процес на създаване и тестване и представлява развитие на вече създадения софтуер за автоматизация на плащанията на доставчици.

Литература

[1]. Игнев, И., „Автоматизация на процеса на плащане по банков път в предприятията”, списание „Компютърни науки и технологии”, Факултет по изчислителна техника и автоматизация към Технически университет – Варна, брой 2/2022

[2]. https://accounting.controlisy.com/index.php?page=news_details&news_id=23

[3]. https://sistechnology.com/schetovoden-softuer/

[4]. http://www.bulmaroffice.com/bg/продукти/преглед/15/счетоводство-+/категория/1/описание/

[5]. https://plusminus.com/bg/schetovoden-softuer

За контакти:
докторант Иван Л. Игнев
катедра „КНТ”
Технически университет-Варна
E-mail:ignev.ivan@gmail.com

PLC-БАЗИРАН РЕГУЛАТОР НА СЪСТОЯНИЕТО С ИНТЕГРИРАНЕ И ПРЯКА ВРЪЗКА С ИНВЕРСЕН МОДЕЛ

Никола Н. Николов

Резюме: Съвременните PLC разполагат с вградени функционални блокове или алгоритми, реализиращи стандартните разновидности на ПИД закон за управление. Те са много подробно описани в литературата и чрез тях бързо и лесно се изграждат различни контури за автоматично регулиране, реализирани чрез обратна връзка по регулируемия технологичен параметър.
Много по-оскъдна е информацията за възможностите да бъде изградена система за управление на даден технологичен процес, базирана на PLC, чрез обратна връзка по състоянието на обекта на управление (ОУ). В статията е представен един вариант на система за управление с регулатор на състоянието (РС), базирана на PLC на Schneider Electric. В структурата на системата е вградена интегрираща съставка и пряка връзка с инверсен модел.
Ключови думи: PLC, пространство на състоянията, регулатор на състоянието, наблюдател на състоянието, пряка връзка, инверсен модел, m-функция, MATLAB Simulink, Unity Pro XL, SISO.

PLC-Based State Controller with Integration and Direct Connection with Inverse Model

Nikola N. Nikolov

Abstract: Modern PLCs have built-in function blocks or algorithms implementing the standard varieties of PID control law. They are described in great detail in the literature, and by means of them, various automatic control loops realized by feedback on the adjustable technological parameter can be quickly and easily built.
Much less information is available on the possibilities of building a PLC-based control system for a given technological process through feedback on the state of the control object. Below is an example of a control system with state controller based on a Schneider Electric PLC. An integrating component and a direct connection via an inverse model are built into the system structure.
Keywords: PLC, state space, state controller, state observer, direct connection, inverse model, m-function, MATLAB Simulink, Unity Pro XL, SISO.

1. Увод

Управлението е целенасочено въздействие върху обекта на управление (ОУ), в резултат на което той се привежда в желано състояние, а желаното състояние се определя от изискванията на технологичния процес.

За да може една линейна дискретна система, описана в пространството на състоянията (ПС), да се приведе в желано състояние, е необходимо това състояние да може да се измерва или да се оценява [2]. Ако състоянието $\mathbf{x}(k)$ може да се измерва директно във всеки момент $k=0, 1, 2, \ldots$, се говори за управление при пълна информация. Когато състоянието не може да се измерва директно, а се оценява по други величини чрез наблюдател на състоянието (НС), се говори за управление при непълна информация.

Описанието на SISO (Single Input Single Output) обект в ПС във вид на линейна дискретна стационарна система може да се представи със следните уравнения [1,2]:

$$\hat{\mathbf{x}}(k+1) = \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}}(k) + \mathbf{b}u(k), \quad k = 0,1,2,... \tag{1}$$

$$y(k) = \mathbf{c}^{\mathrm{T}}\hat{\mathbf{x}}(k), \quad k = 0,1,2,... \tag{2}$$

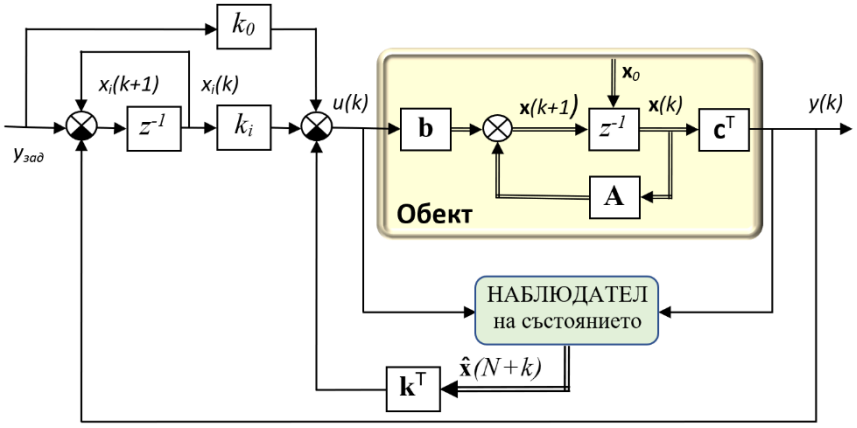
Прието е [1,2,5], когато обратната връзка в една система за управление се осъществява

посредством вектора на състоянието, регулаторът в тази система да се нарича регулатор на състоянието (РС).

Задачата за синтез на РС се свежда до определянето на такива стойности на вектора на обратната връзка **k**, че преходният процес на затворената система, състоящ се в изменение на вектора на състоянието от началната стойност $\mathbf{x}_0$ до някаква крайна стойност $\mathbf{x}(k)$, да удовлетворява даден критерий. Най-широко разпространение са получили следните методи за синтез на вектора **k**:

- ✓ синтез по зададени полюси (т.нар. модално управление) – характерът на преходния процес се задава неявно чрез подходящо разположение на полюсите на затворената система, което се осъществява чрез избора на вектора **k**;
- ✓ синтез при квадратичен критерий на качеството – векторът **k** се определя въз основа на минимизацията на функционал, включващ променливите на състоянието и управлението.

Структурната схема на дискретна система за управление на SISO обект чрез модален РС (МРС) с интегрираща съставка и пряка връзка с инверсен модел при непълна информация за състоянието $\mathbf{x}(k)$ е показана на фигура 1 [7].



Фиг.1. Структурна схема на система за управление на SISO обект с МРС с вградена интегрираща съставка и пряка връзка с инверсен модел

Обратната връзка по състоянието се осъществява чрез n-мерния вектор **k**, а $u(k)$, $y(k)$ и $y_{зад}$ са скаларни величини.

За управляващото въздействие в тази система, при период на дискретизация $T_0=1$ може да се запише

$$u(N+k)=k_i x_i(N+k)-\mathbf{k}^\top\hat{\mathbf{x}}(N+k)+k_0 y_{зад},\quad k=0,1,2,... \tag{3}$$

В горното уравнение с N е означен броят на тактовете начално оценяване на вектора на състоянието. Това уравнение може да се представи и по следния начин

$$u(N+k)=\begin{bmatrix}k_i & -\mathbf{k}^\top\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_i(N+k)\\ \hat{\mathbf{x}}(N+k)\end{bmatrix}+k_0 y_{зад},\quad k=0,1,2,... \tag{4}$$

Коефициентът на пряката връзка k_0 се определя от следното уравнение

$$k_0=\left[\mathbf{c}^\top\left(\mathbf{I}-\hat{\mathbf{A}}+\hat{\mathbf{b}}\mathbf{k}^\top\right)^{-1}\hat{\mathbf{b}}\right]^{-1}. \tag{5}$$

При структурата от фигура 1, в началния момент от време предавателната функция по правия канал е равна на единица. Това води до форсиране на процеса и наподобява действието на диференцираща съставка в системата за управление. От друга страна наличието на интегриращата съставка гарантира астатичното управление.

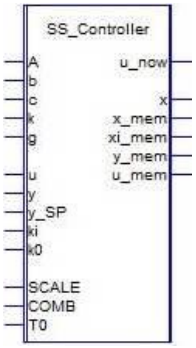
Важно е да се отбележи, че тази структура е приложима за управление на минимално фазови обекти. При неминимално фазовите обекти е възможно да се получи неустойчива система.

Изграждането на РС с PLC изисква нестандартен подход и детайлно познаване на възможностите на контролера, който ще се използва. По-долу е представен един вариант на система за управление с МРС, базирана на PLC на Schneider Electric и реализираща структурата от фигура 1.

2. Синтезиране на PLC-базиран МРС с интегрираща съставка и пряка връзка с инверсен модел

За конкретния пример регулаторът на състоянието е синтезиран в програмна среда Unity Pro XL, осигуряваща PLC от серията M340 на Schneider Electric. Той е разработен като отделен функционален блок [3,4] с наименование „SS_Controller“ и видът му е показан на фиг. 2.

За да е възможно функционирането на регулатора, е необходимо непрекъснатият модел на обекта на управление да се представи като дискретен, а след това да бъде описан в пространството на състоянията.



Фиг. 2. Функционален блок на РС в Unity Pro

Програмно във функционалния блок са заложени идентичен наблюдател на състоянието на D. Luenberger и изчисляване на управляващото въздействие. Част от програмния код е показан по-долу.

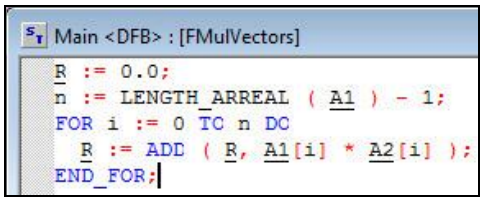
```
(* Изчислява се скалара след вектора g -> [y(k)-c^T*x(k)] *)
MulVectors ( c, x_mem, g_inov );
g_inov := PV_mem - g_inov;

(* Извиква функцията FMulVectors за изчисляване на произведението A[i][j]*x_mem[i] *)
(* Наблюдател на състоянието от пълен ред (идентичен наблюдател на Luenberger) *)
FOR i := 0 TO 9 DO
  MulVectors ( A[i], x_mem, x[i] );
  x[i] := x[i] + b[i] * u_mem + g[i] * g_inov;
END_FOR;

(* Изчислява се произведението на k[i]*x[i] *)
MulVectors ( k, x_mem, kx );
(* Избор на режим на работа на регулатора:                    *)
(* - При COMB=0 и SCALE=1 - работа с мащабиращ коефициент*)
(* - При COMB=0 и SCALE=0 - работа с интегратор                *)
(* - При COMB=1          - работа с мащабиращ коефициент и интегратор *)
IF COMB THEN
  xi := xi_mem + SP - PV_mem;
 u_now := LIMIT (MN := uMin, IN := ki * xi_mem + kx + k0 * SP, MX := uMax);
ELSE
  IF SCALE THEN
    u_now := LIMIT (MN := uMin, IN := k0 * SP + kx, MX := uMax);
  ELSE
    xi := xi + SP - PV_mem;
    u_now := LIMIT (MN := uMin, IN := ki * xi_mem + kx, MX := uMax);
  END_IF;
END_IF;
```

За разработката на функционалния блок на регулатора е използван програмен език ST (structured text), от стандарт IEC 61131-3. При тази реализация е възможно да се управлява едномерен (SISO) обект до 10-ти ред.

При синтез на регулатора на състоянието операциите са предимно с матрици (масиви) и десетични дроби. Използването на целочислена обработка на матриците не е добро решение, тъй като за извличане на значимите стойности след десетичната запетая трябва да се умножава с големи числа, които в последствие нарастват още повече. Затова се използва една спомагателна функция FMulVectors (фиг. 3.) за умножаване на матрици, запълнени с десетични дробни числа, [4].



Фиг. 3. Функция FMulVectors

За да може да се използва функционалният блок SS_Controller, е необходимо той да се извика от библиотеката на Unity Pro, след което да се свърже с посочените в *Таблица 1* параметри.

Таблица 1. Параметри на PC в Unity Pro

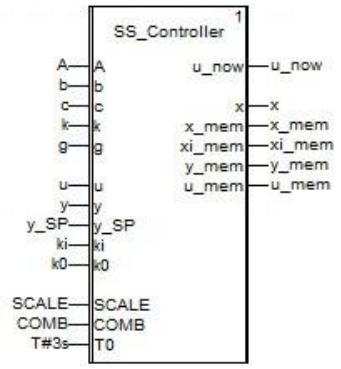
Означение	**Тип**	**Описание**
Входни параметри		
A	ARRAY[0..n, 0..n] OF REAL	Системна матрица на обекта в ПС
b	ARRAY[0..n] OF REAL	Входен вектор на обекта в ПС
c		Вектор на изхода на обекта в ПС
k		Матрица на ОВ
g		Синтезиран по желани полюси
u	REAL	Измерено управляващо въздействие
y	REAL	Измерен изход на обекта
y SP	REAL	Задание
ki	REAL	Коефициент на интегриране
k0	REAL	Мащабиращ коефициент
SCALE	BOOL	Избор на режим с k_0 или с k_i
COMB	BOOL	Режим инв. модел (k_0 и k_i)
T0	TIME	Период на дискретизация
Изходни параметри		
u_now	REAL	Текущо управляващо въздействие
x	REAL	Вектор на състоянието в текущия момент
x_mem	REAL	Вектор на състоянието в предният момент
xi_mem	REAL	x_i в предходния момент
y_mem	REAL	Изхода от обекта в предходния момент
u_mem	REAL	Управляващо въздействие в предходния момент

Тези параметри са предварително въведени като променливи в символната таблица на проекта, създаден в Unity Pro XL.

За да се провери работоспособността на синтезирания SS_Controller, се извършват симулационни изследвания с обекти от $2^{-ри}$ и $5^{-ти}$ ред. Това изисква представяне на предавателните функции на обектите в пространството на състоянията (ПС) чрез програмната среда MATLAB. После се изчислява векторът на обратната връзка **k** чрез алгоритъма за модално

управление [6] и се определя векторът **g**, чрез синтез по желани полюси в MATLAB така, че собствените стойности на наблюдателя да са в центъра на единичната окръжност [2].

В Unity Pro се създават променливи и се въвеждат определените параметри на обекта в ПС. Създава се нова подпрограма, в която се извиква блокът SS_Controller и се параметризира със създадените променливи и константи във вида показан на фигура 4.



Фиг. 4. Параметризиран функционален блок на МРС

В средата Simulink на MATLAB се съставят две структури за обект от 2-ри и 5-ти ред. Осъществява се комуникация между CPU симулатора на Unity Pro и Simulink, в която се предава входното въздействие *u_now* към обекта в Simulink и се четат входното въздействие *u* и изхода от обекта *y* на всеки такт на дискретния регулатор на състоянието.

За целите на симулационното изследване се използват два типови модела на обекти, заимствани от Ролф Изерман [1]:

1. Едномерен обект от 2-ри ред с нискочестотна характеристика, чиято предавателна функция е:

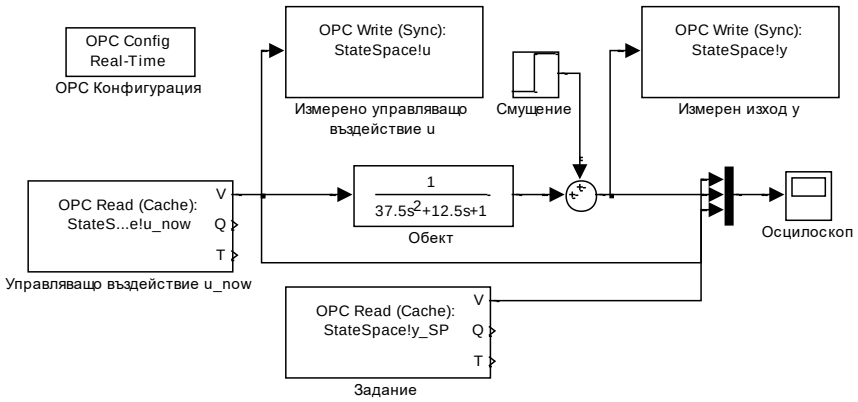
$$W(p)=\frac{1}{(7.5p+1)(5p+1)}=\frac{1}{37.5p^2+7.5p+1} \tag{6}$$

2. Едномерен обект от 5-ти ред (модел на паропрегревател), чиято предавателна функция е:

$$W(p)=\frac{(1+13.81p)^2(1+18.4p)}{(1+59p)^5} \tag{7}$$

За представянето на обектите в ПС се създава m-файл в средата на MATLAB и се изпълнява следната последователност от действия:

1) Обектът се дискретизира с период T_0 и се представя в ПС като се използва фазово-координатна канонична форма с матрица на Фробениус [1];
2) Изчислява се векторът на обратната връзка **k**, като се използва [6] m-функцията k = smodal (a, b, 0.5) в MATLAB (желаните полюси на затворената система се разполагат на окръжност с радиус 0,5);
3) Определя се векторът **g** за идентичния наблюдател на D. Luenberger;
4) Изчислява се коефициентът на пряката връзка k_0;
5) Така получените стойности се въвеждат в Unity Pro за инициализиращи.
6) Съставя се структурата от фигура 5 в Simulink, която се свързва със симулатора на Unity Pro посредством OPC сървър и позволява четене/ запис на данни от PLC.

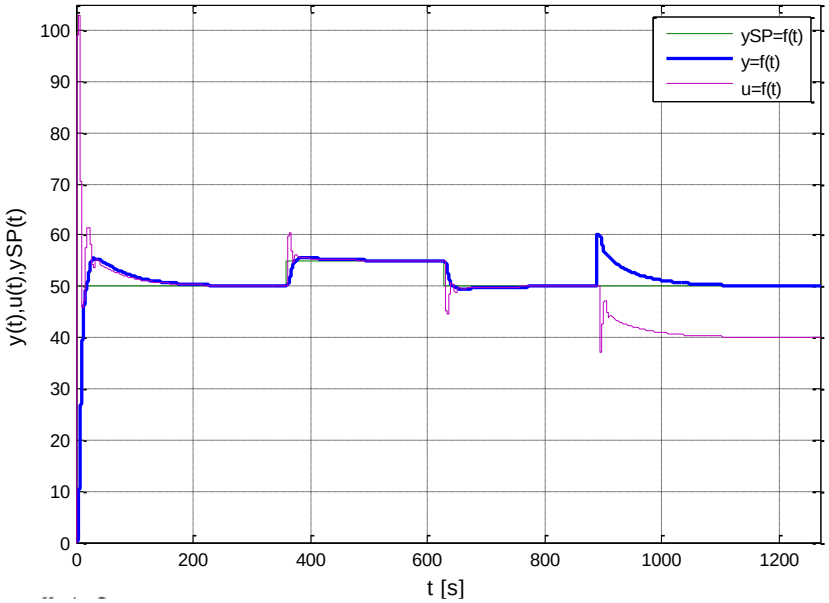


Фиг. 5. Структура за симулационно изследване на MPC в реално време чрез MATLAB Simulink

Направени са симулационни изследвания с двата обекта. На всяка от фигурите по-долу е показан вида на управляващото въздействие *u(t)* (в розово), изходната реакция *y(t)* (в синьо) и заданието $y_{зад}$ (в зелено).

Обектът от 2-ри ред е дискретизиран с период $T_0=3s$. На фигура 6 са показани резултатите от симулацията. Коефициентът на пряката връзка $k_0=1.981$, коефициентът на интегриране $k_i=0.08$, заданието $y_{зад}$ = ySP=50. При $t=370s$ заданието се променя на $ySP=55$, а при $t=635s$ отново се връща на $ySP=50$. При $t=890s$ се появява смущение $f(t)=10$.

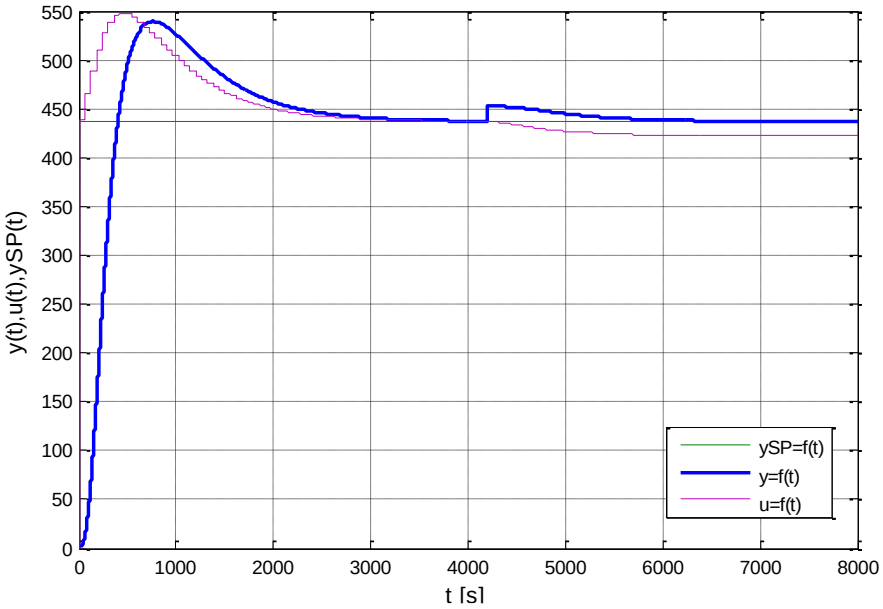
От фигура 6 е видно, че в началото има форсиране на процеса, което се дължи на наличието на пряка връзка с инверсен модел. Това наподобява действието на диференциращa съставка в системите с ПИД регулатор. От друга страна наличието на интегриращата съставка гарантира точното отработване на заданието. MPC отработва бързо промяната на заданието с малко по стойност динамично отклонение и без статична грешка. Това се наблюдава както при увеличаване, така и при намаляването на заданието. MPC веднага реагира на смущението и сравнително бързо го отработва.



Фиг. 6. Преходен процес при управление на обект от 2-ри ред

Обектът от 5-ти ред е дискретизиран с период $T_0=60s$. На фигура 7 са показани резултатите от симулацията. Коефициентът на пряката връзка $k_0=1.0054$, коефициентът на интегриране $k_i=0.08$, заданието $y_{зад}$ = ySP=437. При $t=4200s$ се появява смущение $f(t)=15$.

Преходните процеси от фигура 7 са сходни с тези от предходния експеримент.



Фиг. 7. Преходен процес при управление на обект от 5-ти ред

3. Заключение

В настоящата статия доклад е представен пример за един практически реализируем регулатор на състоянието на базата на PLC.

В преобладаващата част от системите за автоматизация, изградени с помощта на PLC, за управление на линейни непрекъснати SISO обекти, се използва вграденият функционален блок или алгоритъм на ПИД регулатор. Настоящата разработка акцентира не върху предимствата на регулатора на състоянието пред тези на ПИД регулатора, а представя реализацията на дискретен модален регулатор на състоянието и потвърждава работоспособността му с едномерни линейни стационарни обекти, посредством симулация в реално време с програмен продукт MATLAB Simulink.

Съставен е функционален блок на MPC в програмна среда Unity Pro, обезпечаваща PLC от серията M340 на Scneider Electric. Наименованието на блока е SS_Controller. С него могат да се управляват SISO обекти до 10ти ред.

SS_Controller позволява използване на повече от една инстанции в програмите за управление. Това гарантира използването му в повече от една SISO системи за автоматично управление, изградени на PLC M340.

Настоящата разработка дава хоризонт за развитие на синтезирания регулатор в други по-сложни структури за управление. Такива са адаптивните системи.

Литература

[1]. Isermann R., Digital Control Systems, Fundamentals, Deterministic Control, Springer-Verlag, 1989.

[2]. Маджаров Н., Е. Хараланова, Инженерни методи за изследване на линейни системи, ТУ-София, 2004.

[3]. Райков Р., Умножение на вектори в UnityPro достъпен на: http://ruevit.tk/?p=376, 2013.

[4]. Schneider Electric, Unity Pro Operating Modes, 2010.

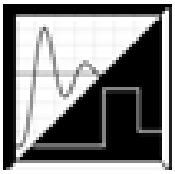
[5]. Gambier A., H. Unbehauen, Adaptive Predictive State-Space Control of a Multivariable 3-Tank System, Proc. 38th IEEE-CDC, Pfoenix, Arizona, 1234-1239, 1999.

[6]. Nikola Nikolov, Mariela Alexandrova, Veselin Lukov, “Development of an algorithm for modal control of SISO linear time-invariant discrete systems”, 2017 15th International

Conference on Electrical Machines, Drives and Power Systems (ELMA), IEEE, Proceedings, pp. 203-206, 01-03 June 2017, Sofia, Bulgaria, DOI: 10.1109/ELMA.2017.7955432

[7]. Nikola Nikolov, Mariela Alexandrova, Rano Gaziyeva and Shakhnoza Ubaydullayeva, State Controller with Improved Response Speed for Linear Discrete SISO Systems, 2022 International Conference Automatics and Informatics (ICAI), IEEE, Proceedings, pp. 35-38, October 6-8 2022, Varna, Bulgaria, DOI: 10.1109/ICAI55857.2022.9960102

За контакти:
доц. д-р инж. Никола Н. Николов
катедра „Автоматизация на производството”
Технически университет - Варна
E-mail: nn_nikolov@tu-varna.bg



TU-Varna FCA Faculty of Computing & Automation

ПРЕДАВАНЕ НА СПЕЦИФИЧНА ИНФОРМАЦИЯ С МРЕЖОВО ОБОРУДВАНЕ В УСЛОВИЯ НА ОГРАНИЧЕНИ РЕСУРСИ

Георги Николов

Резюме: Статията е предназначена да покаже постижима функционалност в приемлив вариант за оптимално предаване на информация, актуална в реално време, в условия на ограничения. Като такива се разглеждат лимити по отношение на адресно пространство, изчислителни алгоритми и протоколи, използвани от мрежовото оборудване за обмен на данни, както и степента на знания и умения на мрежовите администратори.
Ключови думи: Интернет протокол, мрежови адресни блокове, класови маршрутизиращи протоколи, Протокол за информация за маршрутизиране, маршрутизираща таблица.

Transmission of specific information with network equipment under limited resources

Georgi Nikolov

Abstract: The article is intended to show achievable functionality in an acceptable variant for optimal transmission of information, updated in real time, under conditions of constraints. As such, limits are considered in terms of address space, computational algorithms and protocols used by network equipment to exchange data, as well as the level of knowledge and skills of network administrators.
Keywords: Internet Protocol, network address blocks, classful routing protocols, Routing Information Protocol, routing table.

1. Въведение

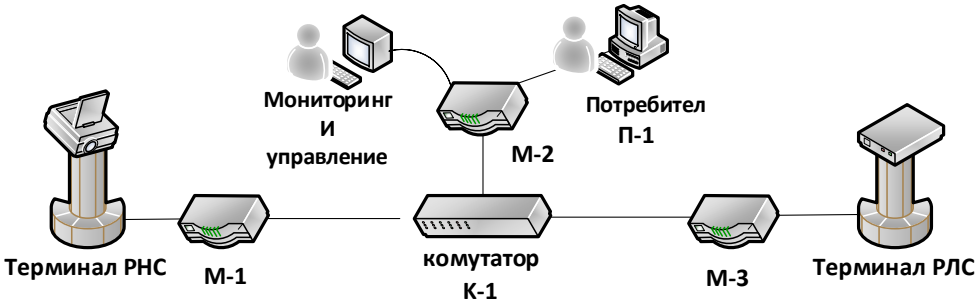
При предаване на информация с определена специфика чрез ресурсите на мрежово оборудване е целесъобразно да се определят ефективността и крайните резултати от реализираните процеси с балансирани технологични и времеви разходи.

Като специфична информация може да се даде пример с радиолокационна и радионавигационна такава (представена след преобразуване във вид на данни), обменяна с подходящи протоколи в реално време. Важно е уточнението, че от една страна тези видове информация за крайните потребители са полезни само в строго конкретни моменти от време (актуалност), а от друга е необходима висока степен на достоверността им. Казано конкретно, едновременно се изисква както своевременност, така и прецизност в съдържанието. Такива изисквания може да не се поставят към информация, която се съхранява дълготрайно и не е критично важна секундната ѝ актуализация, или информация, допускаща толеранс (в определени граници) в пълнотата си при скоростно предаване. Това важи например за данни от сайтове със статии, документи и др. в единия случай и обменянето на гласова и видеоинформация в другия. Мрежовото оборудване има във функционалностите си съответни ресурси за постигане на тези цели с намирането на баланс между „необходимо“ и „достатъчно“, при наложени лимити в организационен и технологичен аспект.

2. Реализация на функционалните възможности на мрежово оборудване за предаване на информация при наложени ограничения

2.1. Постановка на задачата

В настоящата статия се разглежда вариант за обмен на информация с използване на мрежово оборудване във вътрешна мрежа (клон) за споделен достъп (фигура 1).



Фиг. 1. Среда за взаимодействие на терминални и комуникационни изделия

На фигура 1 са показани терминални съоръжения от радионавигационна система (РНС) и радиолокационна станция (РЛС), свързани помежду си в мрежа с маршрутизаторите М-1 и М-3, а посредством комутатор К-1 чрез маршрутизатора М-2 към потребителя на информация П-1. Показан е също терминал за мониторинг и управление на мрежата, който може да се включва с конзолен достъп както към М-2, така и към М-1 и М-3 за възможно конфигуриране на процесите и наблюдение на резултатите.

Подробностите за вида и съдържанието на самата радиолокационна и радионавигационната информация не са обект на проведеното изследване. Достатъчно е, че те позволяват да бъдат представяни във формат, позволяващ IP-адресиране и мрежова комуникация по Интернет протокол (в настоящия случай, Версия 4 – „IPv4“).

Интернет протоколът е предназначен за използване във взаимосвързани системи от комуникационни мрежи с комутация на пакети. Интернет протоколът предвижда предаване на блокове от данни, наречени „дейтаграми“, от източници до получатели, където източници и получатели са „хостове“, идентифицирани по адреси с фиксирана дължина [1], [2].

Терминът „хост“ се отнася до всяка система, генерираща и/или приемаща като крайна такава IPv4 пакети, а „маршрутизатор“ се отнася до всяка система, препращаща IPv4-пакети от един „хост“ или маршрутизатор към друг [3].

Първоначално структурата на IP-адресите и IP-маршрутизирането са проектирани около понятието класове на номера на мрежата (мрежи от клас A/B/C) (RFC 790). В началото на 90-те години разрастването на Интернет изисква значителни подобрения както в скалируемото структуриране на системата за маршрутизиране в Интернет, така и в използването на IP-адресното пространство. Класовата структура на IP-адресното пространство и свързаното с нея класово маршрутизиране се оказват неадекватни, за да отговорят на изискванията, така че през периода 1992 - 1993 г. Интернет приема безкласово маршрутизиране между домейни (CIDR) [3], [4].

Обръщайки внимание на този цитат е видно първото ограничение, към което настоящата публикация е ориентирана – класовете мрежи (по отношение на адресното пространство) и класовото маршрутизиране. В процеса на разсъждения и резултатите от направените изследвания се доказва, че е възможно определянето им и като „адекватни“ и то без използване на особено сложни процедури.

IPv4 използва 32-битово адресно поле и разделя този адрес на „мрежова част“ и „локална адресна част“. Разделението е в три форми или класове [5].

Първият тип адрес или „клас А“ има 7-битов мрежов номер и 24-битов локален адрес. Най-високият бит е зададен със значение 0. Това позволява 128 мрежи от „клас А“. Вторият тип адрес, „клас В“, има 14-битов мрежов номер и 16-битов локален адрес. Двата бита от най-висок ред са зададени със значение 1-0. Това позволява 16 384 мрежи от „клас В“. Третият тип адрес, „клас С“, има 21-битов мрежов номер и 8-битов локален адрес. Трите бита от най-висок ред са зададени със значение 1-1-0. Това позволява 2 097 152 мрежи от „клас С“ [5].

Таблица 1. Разпределение на IP-адресите по класове [5]

	Обхват на публични IP-адреси	Обхват на частни IP-адреси	Мрежова маска	Брой мрежи	Брой хостове за мрежа
Клас А	От 1.0.0.0 до 127.0.0.0	От 10.0.0.0 до 10.255.255.255	255.0.0.0	128	16,777,214
Клас В	От 128.0.0.0 до 191.255.0.0	От 172.16.0.0 до 172.31.255.255	255.255.0.0	16,384	65,534
Клас С	От 192.0.0.0 до 223.255.255.0	От 192.168.0.0 до 192.168.255.255	255.255.255.0	2,097,152	254

След така направените уточнения може да се формулира задачата за решение с наложени конкретни ограничения:

В изградена вътрешна мрежа (клон) с равнопоставен достъп (фигура 1) да се осъществи мрежова комуникация в сегмент най-много от 254 частни адреса (само една частна мрежа „клас С“), включващи мрежовите такива и тези за „хостове“, разделени в подмрежи, като се използва класов маршрутизиращ протокол, минимален разход на време и команди за конфигуриране на устройствата и уникално идентифициране („видимост“) и достъпност на всяка една от тях в маршрутизиращите таблици.

2.2. Изследване на процесите и решение на задачата

2.2.1. По отношение на достъпа между устройствата може да се използва „Ethernet” протокол. Стандартен метод за капсулиране на Интернет Протокол (IP) [1] „дейтаграми“ в „Ethernet“. IP-„дейтаграмите“ се предават в стандартни „Ethernet“ рамки. Полето за тип на „Ethernet“ рамките трябва да съдържа шестнадесетичната стойност „800“. Полето за данни съдържа IP-заглавие, последвано непосредствено от IP-данните. Минималната дължина на полето за данни на пакет, изпратен през „Ethernet“, е 46 октета.

Ако е необходимо, полето за данни трябва да бъде допълнено (с нулеви октети), за да отговаря на минималния размер на рамката на „Ethernet“. Тази „подложка“ не е част от IP-пакета и не е включена в полето за обща дължина на IP-заглавието.

Минималната дължина на полето за данни на пакет, изпратен през „Ethernet“, е 1500 октета, следователно максималната дължина на IP-„дейтаграма“, изпратена през „Ethernet“, е 1500 октета. Реализациите се насърчават да поддържат пакети с пълна дължина. Реализациите на пропускащите устройства трябва да бъдат пригодни да приемат пакети с пълна дължина и да ги фрагментират, ако е необходимо [6].

С посочените възможности на ‚Ethernet”, въпросът за формата за представяне на формираните IP-пакети в съответстващ тип рамка се удовлетворява.

2.2.2. При изследванията и решаването на задачата се използва комуникационно оборудване с лицензирана операционна система, както следва:

А) Маршрутизатори - Cisco® 1900 Series Integrated Services Routers (фигура 2), които имат много добро съотношение продуктивност-цена и са с мултифункционални възможности.

Новите платформи са проектирани така, че да позволят следващата фаза от еволюцията на клоновете, осигурявайки богато медийно сътрудничество и виртуализация на клона, като същевременно максимизират спестяванията на оперативни разходи [7].

Фиг. 2. Cisco® 1900 Series Integrated Services Routers, източник: [7]

```
M-2#show version
Cisco IOS Software, C1900 Software (C1900-UNIVERSALK9-M), Version 15.1(4)M4, RELEASE SOFTWARE (fc2)
Technical Support: http://www.cisco.com/techsupport
Copyright (c) 1986-2007 by Cisco Systems, Inc.
Compiled Wed 23-Feb-11 14:19

ROM: System Bootstrap, Version 15.1(4)M4, RELEASE SOFTWARE (fc1)
cisco1941 uptime is 6 minutes, 1 seconds
System returned to ROM by power-on
System image file is "flash0:c1900-universalk9-mz.SPA.151-1.M4.bin"
Last reload type: Normal Reload

This product contains cryptographic features and is subject to United
States and local country laws governing import, export, transfer and
use. Delivery of Cisco cryptographic products does not imply
third-party authority to import, export, distribute or use encryption.
Importers, exporters, distributors and users are responsible for
compliance with U.S. and local country laws. By using this product you
agree to comply with applicable laws and regulations. If you are unable
to comply with U.S. and local laws, return this product immediately.

A summary of U.S. laws governing Cisco cryptographic products may be found at:
http://www.cisco.com/wwl/export/crypto/tool/stqrg.html
```

Фиг. 3. Информация за използваната версия на маршрутизаторите

Б) Комутатор - WS-C2960-24TT-L (фигура 4). Комутаторите от серията Cisco® Catalyst® 2960-Plus са бързи „Ethernet“ комутатори с фиксирана конфигурация, които осигуряват комуникация на Layer-2 за корпоративен клас клонове, конвенционални работни пространства и инфраструктурни приложения. Те позволяват надеждни и сигурни операции с по-ниска обща цена на притежание чрез редица софтуерни функции на Cisco IOS®, включително Cisco Catalyst Smart Operations [8].

Фиг. 4. Комутатори от серия Cisco Catalyst 2960-Plus, Източник: [8]

```
K-1#show version
Cisco IOS Software, C2960 Software (C2960-LANBASE-M), Version 12.2(25)FX, RELEASE SOFTWARE (fc1)
Copyright (c) 1986-2005 by Cisco Systems, Inc.
Compiled Wed 12-Oct-05 22:05

ROM: C2960 Boot Loader (C2960-HBOOT-M) Version 12.2(25r)FX, RELEASE SOFTWARE (fc4)

System returned to ROM by power-on

Cisco WS-C2960-24TT (RC32300) processor (revision C0) with 21039K bytes of memory.

24 FastEthernet/IEEE 802.3 interface(s)
2 Gigabit Ethernet/IEEE 802.3 interface(s)

63488K bytes of flash-simulated non-volatile configuration memory.
Base ethernet MAC Address       : 0010.1154.39EE
Motherboard assembly number     : 73-9832-06
Power supply part number        : 341-0097-02
Motherboard serial number       : FOC103248MJ
Power supply serial number      : DCA102133JA
Model revision number           : B0
Motherboard revision number     : C0
Model number                    : WS-C2960-24TT
System serial number            : FOC1033Z1EY
Top Assembly Part Number        : 800-26671-02
Top Assembly Revision Number    : B0
Version ID                      : V02
CLEI Code Number                : COM3K00BRA
Hardware Board Revision Number  : 0x01

Switch   Ports  Model              SW Version            SW Image
------   -----  -----              ----------            ----------
*    1   26     WS-C2960-24TT      12.2                  C2960-LANBASE-M
```

Фиг. 5. Информация за използваната версия на комутатора

2.2.3. В изследванията за мрежов комуникационен сегмент с допустим максимум от 254 реални частни адреса (само една частна мрежа „клас С“) се използва 192.168.2.0 / 24, т.е. от 192.168.2.1 до 192.168.2.254 и адрес за свободно разпространение (broadcast) 192.168.2.255.

2.2.4. Като класов маршрутизиращ протокол се използва RIPv1. Този протокол е най-полезен като „вътрешно-маршрутизиращ протокол“. В национална мрежа, като сегашния Интернет, е много малко вероятно един единствен протокол за маршрутизиране да се използва за цялата мрежа. По-скоро мрежата ще бъде организирана като съвкупност от „автономни системи“. Една автономна система като цяло ще се администрира от един субект или поне ще има някаква разумна степен на технически и административен контрол. Всяка автономна система ще има своя собствена технология за маршрутизиране. Това може да е различно за различните автономни системи. Протоколът за маршрутизиране, използван в рамките на автономна система, се нарича вътрешно-маршрутизиращ протокол или IGP. За интерфейс между автономните системи се използва отделен протокол. RIP е проектиран да работи с мрежи с умерен размер, използващи сравнително хомогенна технология. По този начин той е подходящ като IGP за много кампуси и за регионални мрежи, използващи серийни линии, чиито скорости не варират значително. Не е предназначен за използване в по-сложни среди [9].

Недостатъци - Основният сред тях е, че RIPv1 е класов протокол за маршрутизиране. RIP-пакетите не носят отделна информация за префиксни маски. Дължината на префикса се извежда от адреса. За нелокални адреси префиксът винаги е „естествената“ (класова) дължина. (напр. 24 бита за мрежов адрес „клас С“). За мрежи, към които съществува локален интерфейс, ако интерфейсът е подмрежов с някаква специфична маска, тогава RIPv1 приема, че маската, използвана локално, е правилната маска, която да се прилага за всички подмрежи на тази мрежа [10].

Това е съпроводено с редица ефекти:

1) RIPv1 не може да се използва с подмрежи с променлива дължина. При наличието на подмрежи с променлива дължина той постоянно ще тълкува погрешно дължините на префикса.

2) RIPv1 е труден за използване със „супермрежи“. Всички CIDR-супермрежи трябва да бъдат експлоатирани и обявявани към RIPv1 като отделни „естествени“ класови такива.

3) Дори когато самите мрежи, изпълняващи RIPv1, са само подмрежи с фиксирани дължини, ако останалата част от мрежата има подмрежа с променлива дължина, тогава трябва внимателно да се провери, че RIPv1 не унищожава информацията за маската, когато преминава през тези подмрежи, работещи с RIPv1 [10].

С така уточнените функционалности, има възможно намиране на предимства и избягване на недостатъците на протокола. Преди всичко, предимство е лесното му конфигуриране - само с две команди (1), (2) на всеки маршрутизатор, например:

M-2(config)#router rip (1)

M-2(config-router)#network 192.168.2.0 (2)

RIPv1 не позволява указване на маска към мрежовия IP адрес. Използва тази по подразбиране за съответния клас (справка – Таблица 1). Това определено е предимство, защото не се изисква компетентност от администратора за допълнителни познания по синтаксиса на командите.

Въпросът е: „Ще бъде ли достатъчен само определения в Параграф 2.2.3 сегмент?“

Очакванията, че ресурсът на мрежата 192.168.2.0/24 не е достатъчен, поради това, че тя е „клас С“ и всички маршрути в маршрутизиращите таблици ще бъдат асоциирани с маската по подразбиране (255.255.255.0 - префикс 24), са основателни (което ще се потвърди в Параграф 2.2.5.), но не съвсем (което пък ще се потвърди с постигане на решението в Параграф 2.2.6.). Ключовият фактор за успеха е в пряка зависимост от начина на адресиране!

2.2.5. Адресиране с разделяне в подмрежи с различен брой IP-адреси за потребителите и споделената среда между маршрутизаторите:

А) Първи вариант - Сегментите с броя реални „хост“-адреси за терминалите на РНС, РЛС и потребителя П-1 са равни помежду си (от по 30 адреса) и са по-големи от сегмента за споделен достъп (от 14 адреса). Разпределението е показано в Таблица 2.

Таблица 2. Първи вариант на неравномерно разпределение на IP-адресите

	M-1		M-2		M-3	
	Gi0/0	Gi0/1	Gi0/0	Gi0/1	Gi0/0	Gi0/1
	192.168.2.241 /28	192.168.2.1 /27	192.168.2.242 /28	192.168.2.33 /27	192.168.2.243 /28	192.168.2.65 /27
РНС	X	192.168.2.2/27	X	X	X	X
П-1	X	X	X	192.168.2.34/27	X	X
РЛС	X	X	X	X	X	192.168.2.66/27
Споделен достъп	192.168.2.240/28	X	192.168.2.240/28	X	192.168.2.240/28	X

При това адресиране (което е трудоемко като пресмятане), не е налична комуникация с прозвъняване „ping” между потребителя и терминала на РНС (РЛС). В маршрутизиращата таблица на М-2 (М-1 и М-3) не са налични маршрути за мрежите, към които РНС, РЛС и П-1 принадлежат, освен ако не са „директно свързани“ такива. Констатира се с първоначалната проверка от потребителя П-1 през маршрутизатор М-2 към терминала на РНС (фигура 6). С мониторинг, чрез конзолен достъп към маршрутизатора М-2, се наблюдават два интересни факта – първо, същият има свързаност към М-1 и М-3 (фигура 7) и второ – в

маршрутизиращата таблица е наличен записът „192.168.2.0/24 is variably subnetted, 4 subnets, 3 masks“ (фигура 8). Този запис е показателен, че е регистрирано наличие на разделяне в подмрежи, но маршрутизаторът М-2 „вижда“ само своите „директно свързани мрежи“!

```
C:\> ping 192.168.2.33
Pinging 192.168.2.33 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.2.33: bytes=32 time=1ms TTL=255
Reply from 192.168.2.33: bytes=32 time<1ms TTL=255
Reply from 192.168.2.33: bytes=32 time<1ms TTL=255
Reply from 192.168.2.33: bytes=32 time<1ms TTL=255
Ping statistics for 192.168.2.33:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
Approximate round trip times in milli-seconds:
    Minimum = 0ms, Maximum = 1ms, Average = 0ms

C:\> ping 192.168.2.2
Pinging 192.168.2.2 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.2.33: Destination host unreachable.
Reply from 192.168.2.33: Destination host unreachable.
Reply from 192.168.2.33: Destination host unreachable.
Reply from 192.168.2.33: Destination host unreachable.
Ping statistics for 192.168.2.2:
    Packets: Sent = 4, Received = 0, Lost = 4 (100% loss),
```

Фиг. 6.. Първа проверка на свързаността между потребител П-1, маршрутизатор М-2 и терминал РНС

```
M-2#ping 192.168.2.241
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.2.241, timeout is 2 seconds:
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 0/0/1 ms

M-2#ping 192.168.2.243
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.2.243, timeout is 2 seconds:
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 0/0/1 ms
```

Фиг. 7. Първа проверка на свързаността между маршрутизатор М-2 и маршрутизатори М-1 и М-3

```
M-2#show ip route
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
       * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
       P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

     192.168.2.0/24 is variably subnetted, 4 subnets, 3 masks
C       192.168.2.32/27 is directly connected, GigabitEthernet0/1
L       192.168.2.33/32 is directly connected, GigabitEthernet0/1
C       192.168.2.240/28 is directly connected, GigabitEthernet0/0
L       192.168.2.242/32 is directly connected, GigabitEthernet0/0
```

Фиг. 8. Първа проверка в маршрутизиращата таблица на маршрутизатор М-2

По-нататъшни проверки с другите устройства в мрежата очевидно няма да доведат до по-различни резултати.

Б) Втори вариант - Сегментите с броя реални „хост“-адреси за терминалите на РНС, РЛС и потребителя П-1 са равни помежду си (от по 6 адреса) и са по-малки от сегмента за споделен достъп (от 14 адреса). Разпределението е показано в Таблица 3.

Таблица 3. Втори вариант на неравномерно разпределение на IP-адресите

	M-1		M-2		M-3	
	Gi0/0	Gi0/1	Gi0/0	Gi0/1	Gi0/0	Gi0/1
	192.168.2.241 /28	192.168.2.1 /29	192.168.2.242 /28	192.168.2.33 /29	192.168.2.243 /28	192.168.2.65 /29
РНС	X	192.168.2.2/29	X	X	X	X
П-1	X	X	X	192.168.2.34/29	X	X
РЛС	X	X	X	X	X	192.168.2.66/29
Споделен достъп	192.168.2.240/28	X	192.168.2.240/28	X	192.168.2.240/28	X

И при това адресиране (което също е трудоемко като пресмятания) отново не е налична комуникация с прозвъняване „ping" между потребителят и терминала на РНС (РЛС).

В маршрутизиращата таблица на М-2 (аналогично на М-1 и М-3) не са налични маршрутите за мрежите, към които принадлежат терминали РНС, РЛС и потребителят П-1, освен „директно свързаните мрежи". Резултатите от проверката на свързаността са показани на фигура 9, фигура 10 и фигура 11.

```
C:\> ping 192.168.2.33
Pinging 192.168.2.33 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.2.33: bytes=32 time=1ms TTL=255
Reply from 192.168.2.33: bytes=32 time<1ms TTL=255
Reply from 192.168.2.33: bytes=32 time<1ms TTL=255
Reply from 192.168.2.33: bytes=32 time<1ms TTL=255
Ping statistics for 192.168.2.33:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
Approximate round trip times in milli-seconds:
    Minimum = 0ms, Maximum = 1ms, Average = 0ms

C:\> ping 192.168.2.2
Pinging 192.168.2.2 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.2.33: Destination host unreachable.
Reply from 192.168.2.33: Destination host unreachable.
Reply from 192.168.2.33: Destination host unreachable.
Reply from 192.168.2.33: Destination host unreachable.
Ping statistics for 192.168.2.2:
    Packets: Sent = 4, Received = 0, Lost = 4 (100% loss),
```

Фиг. 9. Втора проверка на свързаността между потребител П-1, маршрутизатор М-2 и терминал РНС

```
M-2#ping 192.168.2.241
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.2.241, timeout is 2 seconds:
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 0/0/1 ms

M-2#ping 192.168.2.243
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.2.243, timeout is 2 seconds:
!!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 0/0/1 ms
```

Фиг. 10. Втора проверка на свързаността между маршрутизатор М-2 и маршрутизатори М-1 и М-3

```
M-2#show ip route
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
       * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
       P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

     192.168.2.0/24 is variably subnetted, 4 subnets, 3 masks
C       192.168.2.32/29 is directly connected, GigabitEthernet0/1
L       192.168.2.33/32 is directly connected, GigabitEthernet0/1
C       192.168.2.240/28 is directly connected, GigabitEthernet0/0
L       192.168.2.242/32 is directly connected, GigabitEthernet0/0
```

Фиг. 11. Втора проверка в маршрутизиращата таблица на маршрутизатор М-2

2.2.5. Адресиране и разделяне в подмрежи с равен брой IP-адреси. Решение на задачата.

Сегментите с броя реални „хост“-адреси за терминалите на РНС, РЛС и потребителя П-1 са равни помежду си (по 14 адреса) и също така са равни със сегмента за споделен достъп. Разпределението е показано в Таблица 4.

Таблица 4. Вариант с равномерно разпределение на IP-адресите

	М-1		М-2		М-3	
	Gi0/0	Gi0/1	Gi0/0	Gi0/1	Gi0/0	Gi0/1
	192.168.2.241 /28	192.168.2.1 /28	192.168.2.242 /28	192.168.2.33 /28	192.168.2.243 /28	192.168.2.65 /28
РНС	X	192.168.2.2/28	X	X	X	X
П-1	X	X	X	192.168.2.34/28	X	X
РЛС	X	X	X	X	X	192.168.2.66/28
Споделен достъп	192.168.2.240/28	X	192.168.2.240/28	X	192.168.2.240/28	X

Първото предимство на предприетия подход е улесненото пресмятане – всяка една подмрежа има обхват от равен брой IP-адреси с другите.

Оптимално, мрежа от „клас С“ може да разпредели (на равни части с максимално използване) наличните си 256 адреса (включващи първия „мрежов“ и последния „broadcast“) в „2^n“ на брой мрежи, като всяка една от тях съдържа „2^{8-n} “ брой IP адреси. Изчислението е елементарно, но вариантът в Таблица 4 е с осигуряване на „резерв“.

На второ място, предимство е използването на свойството, маршрутизиращата таблица да локализира и използва намереното „най-дълго съвпадение“ с мрежов IP-адрес по местопредназначение.

На трето място е превръщането на ограничението, че класовите протоколи за маршрутизиране не могат да се използват, когато мрежата е с повече от една подмрежова маска, в предимство.

Съобразявайки правилата, с внимателен прочит и вникване в същността на комплексните закономерности, поставената задача получава успешно решение.

Това се потвърждава категорично от получените резултати:

- проверката за свързаността между потребителя П-1 и терминала на РНС (РЛС) чрез целева команда „ping” демонстрира как комуникацията е напълно функционална (фигура 12);

- в маршрутизиращата таблица на М-2 (също както и на М-1 и М-3) са налични всички маршрути, „директно свързани мрежи“ и тези от действието на протокола RIPv1 (фигура 13);

- проверката за функциониращия маршрутизиращ протокол действително показва, че той е RIPv1 (фигура 14).

```
C:\>ping 192.168.2.2
Pinging 192.168.2.2 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time<1ms TTL=126
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time<1ms TTL=126
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time<1ms TTL=126
Reply from 192.168.2.2: bytes=32 time<1ms TTL=126
Ping statistics for 192.168.2.2:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
Approximate round trip times in milli-seconds:
    Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms

C:\>ping 192.168.2.66
Pinging 192.168.2.66 with 32 bytes of data:
Reply from 192.168.2.66: bytes=32 time<1ms TTL=126
Reply from 192.168.2.66: bytes=32 time<1ms TTL=126
Reply from 192.168.2.66: bytes=32 time<1ms TTL=126
Reply from 192.168.2.66: bytes=32 time<1ms TTL=126
Ping statistics for 192.168.2.66:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
Approximate round trip times in milli-seconds:
    Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms
```

Фиг. 12. Потвърждение на функционалната свързаност между потребител П-1, терминал РНС и терминал РЛС

```
M-2#show ip route
Codes: L - local, C - connected, S - static, R - RIP, M - mobile, B - BGP
       D - EIGRP, EX - EIGRP external, O - OSPF, IA - OSPF inter area
       N1 - OSPF NSSA external type 1, N2 - OSPF NSSA external type 2
       E1 - OSPF external type 1, E2 - OSPF external type 2, E - EGP
       i - IS-IS, L1 - IS-IS level-1, L2 - IS-IS level-2, ia - IS-IS inter area
       * - candidate default, U - per-user static route, o - ODR
       P - periodic downloaded static route

Gateway of last resort is not set

     192.168.2.0/24 is variably subnetted, 6 subnets, 2 masks
R       192.168.2.0/28 [120/1] via 192.168.2.241, 00:00:12, GigabitEthernet0/0
C       192.168.2.32/28 is directly connected, GigabitEthernet0/1
L       192.168.2.33/32 is directly connected, GigabitEthernet0/1
R       192.168.2.64/28 [120/1] via 192.168.2.243, 00:00:15, GigabitEthernet0/0
C       192.168.2.240/28 is directly connected, GigabitEthernet0/0
L       192.168.2.242/32 is directly connected, GigabitEthernet0/0
```

Фиг. 13. Проверка в маршрутизиращата таблица, потвърждаваща функционалността на маршрутизиращият протокол

```
M-2#show ip protocols
Routing Protocol is "rip"
Sending updates every 30 seconds, next due in 15 seconds
Invalid after 180 seconds, hold down 180, flushed after 240
Outgoing update filter list for all interfaces is not set
Incoming update filter list for all interfaces is not set
Redistributing: rip
Default version control: send version 1, receive 1
  Interface             Send  Recv  Triggered RIP  Key-chain
  GigabitEthernet0/0    1     1
  GigabitEthernet0/1    1     1
Automatic network summarization is in effect
Maximum path: 4
Routing for Networks:
        192.168.2.0
Passive Interface(s):
Routing Information Sources:
        Gateway         Distance      Last Update
        192.168.2.241         120      00:00:04
        192.168.2.243         120      00:00:26
Distance: (default is 120)

M-2#show running-config | section in rip
router rip
 version 1
 network 192.168.2.0
```

Фиг. 14. Потвърждение за класа и версията на функциониращият маршрутизиращ протокол

3. Заключение

Настоящото изследване е свързано с реални проблеми в практиката и налага изводите:

1) С предявяване на ограничения (от обективен или субективен характер) по планиране и експлоатация на комуникационното мрежово оборудване се дефинира конкретност, която потенциално аргументира и подпомага реализацията на индивидуални решения. Това важи с особена сила за вътрешно организационно обособена среда.

2) С изложената хронология на изследвания се доказва, че класов протокол може да е пълноценен с подмрежово за класа си адресиране (характеристика, която може и да не бъде използвана, но е налична и обективно приложима), а „остарели“ и „неадекватни“ алгоритми, протоколи и т.н. няма. Потвърждава се от факта, че реномирани корпорации на световно ниво и към момента ги поддържат функционално в своите изделия. Успешните решения зависят от степента на съобразителност и детайлните познания по целевата материя.

3) Най-добрите практики са резултат от търсене на баланс и компромиси както по отношение на влаганите изчислителни ресурси, така и на инфраструктурната целесъобразност. Лицата, свързани пряко с мрежовото администриране и техническата експлоатация, е необходимо да бъдат подпомагани с резултати от подобни решения.

Литература

[1]. RFC 760, Postel J., „DOD standard Internet protocol “, Defense Advanced Research Projects Agency, January 1980, https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc760.

[2]. RFC 791, Internet protocol DARPA Internet program protocol specification, Information Sciences Institute USC, September 1981, https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc791.

[3]. RFC 2101, Carpenter B, J. Crowcroft, Y. Rekhter, „IPv4 Address Behaviour Today“, IAB, February 1997, https://datatracker.ietf.org/doc/rfc2101/.

[4]. RFC 790, Postel J., „Assigned numbers“, Network Working Group, ISI, September 1981, https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc790.

[5]. RFC 870, Reynolds J., J. Postel, „Assigned numbers“, Network Working Group, ISI, October 1983, https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc870.

[6]. RFC 894, Hornig Ch., „A Standard for the Transmission of IP Datagrams over Ethernet Networks“, Symbolics Cambridge Research Center, Network Working Group, April 1984, https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc894.
[7]. Cisco 1941 Series Integrated Services Routers, Data Sheet, © 2017 Cisco and/or its affiliates. All rights reserved. This document is Cisco Public Information, C78-556319-09 08/17, 2017, https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/routers/1900-series-integrated-services-routers-isr/data_sheet_c78_556319.html.
[8]. Cisco Catalyst 2960-Plus Series Switches Datasheet, © 2013-2014 Cisco and/or its affiliates. All rights reserved. This document is Cisco Public Information, https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/switches/catalyst-2960-plus-series-switches/data_sheet_c78-728003.html.
[9]. RFC 1058, Hedrick C., Routing Information Protocol, Network Working Group, Rutgers University, June 1988, https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc1058.
[10]. RFC 1923, Halpern J., Newbridge Networks, Bradner S., Harvard University, RIPv1 Applicability Statement for Historic Status, Network Working Group, March 1996, https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc1923.

За контакти:
инж. Георги С. Николов
Докторант в катедра „Комуникационна техника и технологии”
Технически университет - Варна
e-mail: gnikolov@tu-varna.bg

ИЗИСКВАНИЯ ЗА ОФОРМЯНЕ НА СТАТИИТЕ ЗА СПИСАНИЕ "КОМПЮТЪРНИ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ”

I. Статиите се представят разпечатани в два екземпляра (оригинал и копие) в размер до 6 страници, формат А4 на адрес: Технически университет – Варна, ФИТА, ул. „Студентска” 1, 9010 Варна, както и в електронен вид на имейл адрес: yulka.petkova@tu-varna.bg.

II. Текстът на статията трябва да включва: УВОД (поставяне на задачата), ИЗЛОЖЕНИЕ (изпълнение на задачата), ЗАКЛЮЧЕНИЕ (получени резултати), БЛАГОДАРНОСТИ към сътрудниците, които не са съавтори на ръкописа (ако има такива), ЛИТЕРАТУРА и информация за контакти, включваща: научно звание и степен, име, организация, поделение (катедра), e-mail адрес.

III. Всички математически формули трябва да са написани ясно и четливо (препоръчва се използуване на Microsoft Equation).

IV. Текстът трябва да бъде въведен във файл във формат WinWord 2000/2003 с шрифт Times New Roman. Форматирането трябва да бъде както следва:

1. Размер на листа - А4, полета: ляво - 20мм, дясно - 20мм, горно - 15мм, долно - 35мм, Header 12.5мм, Footer 12.5мм (1.25см).
2. Заглавие на български език - размер на шрифта 16, удебелен, главни букви.
3. Един празен ред - размер на шрифта 14, нормален.
4. Имена на авторите - име, инициали на презиме, фамилия, без звания и научни степени - размер на шрифта 14, нормален.
5. Два празни реда - размер на шрифта 14, нормален.
6. Резюме и ключови думи на български език, до 8 реда - размер на шрифта 11, нормален.
7. Заглавие на английски език - размер на шрифта 12, удебелен.
8. Един празен ред - размер на шрифта 11, нормален.
9. Имена на авторите на английски език - размер на шрифта 11, нормален.
10. Един празен ред - размер на шрифта 11, нормален.
11. Резюме и ключови думи на английски език, до 8 реда - размер на шрифта 11, нормален.
12. Основните раздели на статията (Увод, Изложение, Заключение, Благодарности, Литература) се форматират в едноколонен текст както следва:
    a. Наименование на раздел или на подраздел - размер на шрифта 12, удебелен, центриран, един празен ред преди наименованието и един празен ред след него - размер на шрифта 12, нормален;
    b. Текст - размер на шрифта 12, нормален, отстъп на първи ред на параграф – 10 мм; разстояние от параграф до съседните (Before и After) за целия текст – 0.
    c. Цитиране на литературен източник - номер на източника от списъка в квадратни скоби;
    d. Текстът на формулите се позиционира в средата на реда. Номерация на формулите - дясно подравнена, в кръгли скоби.
    e. Фигури - центрирани, разположение спрямо текста: “Layout: In line with text”. Номер и наименование на фигурата - размер на шрифта 11, нормален, центриран. Отстояние от съседните параграфи – 6 pt.
    f. Литература – всеки литературен източник се представя с: номер в квадратни скоби и точка, списък на авторите (първият автор започва с фамилия, останалите – с име), заглавие, издателство, град, година на издаване, страници.
    g. За контакти: научно звание и степен, име, презиме (инициали), фамилия, организация, поделение (катедра), e-mail адрес, с шрифт 11, дясно подравнено.

Образец за форматиране можете да изтеглите от адрес http://csejournal.cs.tu-varna.bg/.

Този брой от списанието се отпечатва със средства от научно-изследователски проект, финансиран целево от държавния бюджет.