

13. Bryukhomitskiy Yu.A. Tsepochnyy metod klaviaturnogo monitoringa [Chain method of keyboard monitoring], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2009, No. 11, pp. 135-145.
14. Dasgupta D. Artificial Immune Systems and Their Applications, Ed. Springer-Verlag, 1999.
15. De Castro L.N., Timmis J.I. Artificial Immune Systems: A New Computational Intelligence Approach, London: Springer-Verlag, 2000, 357 p.
16. Hofmeyr S. and Forrest S. Architecture for an Artificial Immune System, *Evolutionary Computation*, 2000, 8 (4), pp. 443-473.
17. Specht D.F. Probabilistic neural networks, *Neural Networks*, 1990, No. 3, pp. 109-118.
18. Chernyshev Yu.O., Ventsov N.N., Grigor'ev G.V. Iskusstvennye immunnnye sistemy: obzor i sovremennoe sostoyanie [Artificial immune systems: review and current state], *Programmnye produkty i sistemy* [Software products and systems], 2014, No. 4, pp. 136-142.
19. Zaytsev S.A., Subbotin S.A. Obobshchennaya model' iskusstvennoy immunnnoy sistemy [Generalized model of an artificial immune system], *Proceedings*. Berlin–Heidelberg: Springer-Verlag, 2003. Ser. LNCS 2723, pp. 195-206.
20. Litvinenko V.I., Didyk A.A., Zakharchenko Yu.A. Komp'yuternaya sistema dlya resheniya zadach klassifikatsii na osnove modifitsirovannykh immunnnykh algoritmov [Computer system for solving classification problems based on modified immune algorithms], *Avtomatika. Avtomatizatsiya. Elektrotekhnicheskie komplekсы i sistemy* [Automation. Automation. Electrical complexes and systems], 2008, No. 2 (22).
21. Neyronnye seti: polnyy kurs [Neural networks: a complete course]. 2nd ed.: transl. from engl. Moscow: Izdatel'skiy dom «Vil'yams», 2006, 1104 p.
22. Spech D.F. Probabilistic neural networks, *Neural Networks*, 1990, No. 3, pp. 109-118.
23. Kallan R. Osnovnye kontseptsii neyronnykh setey [Basic concepts of neural networks]. Moscow: Vil'yams, 2001, 291 p.
24. Bryukhomitskiy Yu.A. Verifikatsiya dinamicheskikh biometricheskikh parametrov lichnosti na osnove veroyatnostnoy neyronnoy seti [Verification of dynamic biometric personality parameters based on a probabilistic neural network], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2020, No. 5 (215), pp. 52-60.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор К.Е. Румянцев.

Брюхомицкий Юрий Анатольевич – Южный федеральный университет; e-mail: bryukhomitskiy@sfedu.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: 88634371905; кафедра безопасности информационных технологий; с.н.с.; доцент.

Bryukhomitskiy Yuriy Anatoly – Southern Federal University; e-mail: bryukhomitskiy@sfedu.ru; Taganrog, Russia; phone: +78634371905; the department of security in data processing technologies; senior researcher; associate professor.

УДК 004.93

DOI 10.18522/2311-3103-2024-2-25-31

А.Н. Бакуменко, В.А. Деркачев, В.В. Бахчевников, В.Т. Лобач

МОДЕЛЬ АЛГОРИТМА ПОТОКОВОЙ МАРКИРОВКИ ШИРОКОФОРМАТНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

В настоящей статье предложен алгоритм обработки широкоформатного изображения для применения в системах, работающих в режиме реального масштаба времени с высокоскоростным потоком видеоданных. Вопрос предварительной обработки изображения, его кластеризации, сегментации и маркировки имеет особую важность для систем обработки видеопотока высокого разрешения в режиме реального времени. Кроме того, при реализации таких алгоритмов остро стоит вопрос минимизации затрат вычислительных ресурсов программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), на которых происходит непосредственное развертывание алгоритмов потоковой обработки изображений. Минимальное потребление ресурсов обеспечивают однопроходные алгоритмы маркировки, в которых отсутствует необходимость буферизации изображения, что имеет особую важность при обработке широкоформатного изображения высокого разрешения. Однако, при реализации одиночного прохода изображения через систему обработки может происходить создание множества дополнительных маркеров подлежащих дальнейшему объединению, особенно при анализе изображения с большим разрешением. Созданные дополнитель-

ные маркеры требуют увеличения требований количеству используемых ячеек памяти на ПЛИС. Описываемый в статье алгоритм потоковой маркировки широкоформатного изображения высокого разрешения позволяет производить маркировку потокового видеоизображения высокого разрешения снижая вероятность создания дополнительных меток подлежащих дальнейшему объединению. Суть улучшения алгоритма относительно стандартного однопроходного состоит в добавлении к сканирующей маске дополнительных элементов, которые позволяют избежать ситуации появления различных меток, соответствующих одному объекту, что позволяет при минимальном увеличении объема используемой памяти на ПЛИС избежать дублирования меток и перерасхода памяти устройства. Проведено моделирование алгоритма для реализации на ПЛИС с помощью инструмента Xilinx System Generator for DSP в связке со средой для модельно-ориентированного проектирования (МОП) Matlab Simulink. Представлены результаты работы алгоритма на изображениях, полученных с высокоскоростной линейной камеры TELEDYNE DALSA LA-CC-04K05B-00- с использованием мезонина Integre Technologies LLC FMC-200-A, а также отладочной платы Xilinx ZYNQ Ultrascale+ MPSoC ZCU106.

Маркировка; сегментация; связанные области; ПЛИС; потоковая обработка.

A.N. Bakumenko, V.A. Derkachev, V.V. Bakhchevnikov, V.T. Lobach

MODEL OF ALGORITHM FOR STREAMING LABELING OF WIDE FORMAT IMAGES

This article proposes a wide-format image processing algorithm for use in systems operating in real time with a high-speed video data stream. The issue of image preprocessing, its clustering, segmentation and labeling is of particular importance for systems for processing high-resolution video streams in real time. In addition, when implementing such algorithms, there is an urgent issue of minimizing the cost of computational resources of programmable logic integrated circuits (FPGAs), on which the direct deployment of streaming image processing algorithms takes place. Minimal resource consumption is ensured by single-pass marking algorithms, which eliminate the need for image buffering, which is especially important when processing high-resolution wide-format images. However, when implementing a single pass of an image through the processing system, many additional markers may be created that are subject to further combining, especially when analyzing images with high resolution. The additional markers created require an increase in the requirements for the number of usable memory cells on the FPGA. The algorithm for streaming high-resolution wide-format images described in the article makes it possible to label high-resolution streaming video images, reducing the likelihood of creating additional tags that need to be further combined. The essence of improving the algorithm relative to the standard one-pass one is to add additional elements to the scanning mask, which avoid the appearance of different labels corresponding to the same object, which allows, with a minimal increase in the amount of memory used on the FPGA, to avoid duplication of labels and overuse of device memory. The algorithm was simulated for implementation on an FPGA using the Xilinx System Generator for DSP tool in conjunction with the Matlab Simulink environment for model-based design (MBD). The results of the algorithm are presented on images obtained from a high-speed linear camera TELEDYNE DALSA LA-CC-04K05B-00-R using the Integre Technologies LLC FMC-200-A mezzanine, as well as the Xilinx ZYNQ Ultrascale+ MPSoC ZCU106 development board.

Labeling; segmentation; connected areas; FPGA; stream processing.

Введение. При разработке систем компьютерного зрения фундаментальной задачей является выбор и реализация алгоритма предобработки и маркировки изображения. Данный алгоритм не должен вносить излишних временных задержек, для обеспечения работы в режиме реального времени и должен обеспечивать корректную маркировку объектов на изображении исключая создание «лишних» маркеров или объединения различных объектов. При работе с изображениями высокого разрешения обостряется проблема создания дополнительных маркеров, последующее объединение которых влечет увеличение времени обработки изображения и количества используемых вычислительных ресурсов ПЛИС. Множество существующих различных алгоритмов обработки изображений можно сгруппировать следующим образом: двухпроходный (классический) алгоритм [1], алгоритм многократного сканирования [2], алгоритм параллельной обработки, алгоритм трассировки контура [3–4] и алгоритм однократного прохода [5].

Согласно сравнительному исследованию алгоритмов маркировки связанных областей [6–8] следует, что однократный алгоритм маркировки связанных областей имеет самый низкий относительно прочих алгоритмов уровень использования ресурсов. Что позволяет развёртывать системы на меньших, более дешёвых ПЛИС.

Постановка задачи. Решаемая задача заключается в модификации однократного алгоритма маркировки изображения для обработки высокоскоростного потока видеоданных высокого разрешения. В качестве входных данных использовалось изображение семян пшеницы, полученное с высокоскоростной линейной камеры TELEDYNE DALSA LA-CC-04K05B-00-R при пролете семян мимо объектива камеры. В результате работы алгоритма должно быть получено маркированное изображение с количеством меток равным количеству объектов на изображении. Решаемую задачу можно разбить на два этапа. Первый этап - предварительная обработка изображения [9–10]. Данный этап включает в себя разделение полноцветного изображения на цветовые каналы, бинаризация изображения, применение процедур фильтрации, эрозии и сглаживания. Вторым этапом является осуществление маркировки подготовленного изображения путем однократного прохода с минимизацией возможности создания меток подлежащих дальнейшему объединению.

Модель алгоритма потоковой маркировки изображения. Модель алгоритма обработки изображения показана на рис. 1. На вход алгоритма поступает поток пикселей изображения и сигнал разрешения

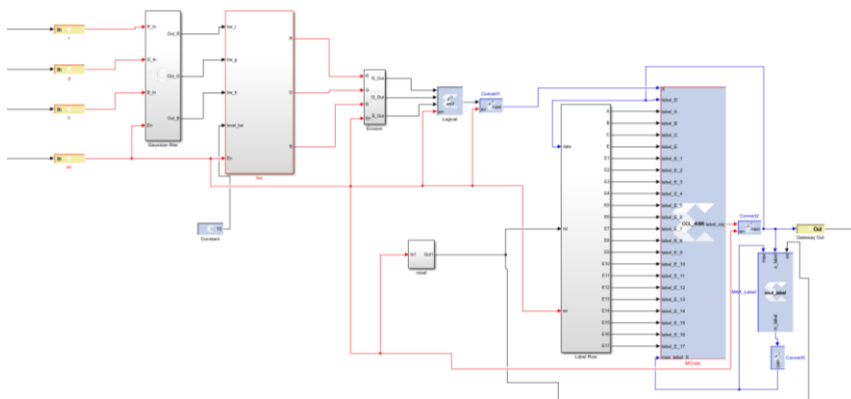


Рис. 1. Модель алгоритма обработки изображения

Первым шагом производится размытие изображения путем применения фильтра Гаусса [11–12]. Результат работы фильтра передается в блок бинаризации, где, согласно задаваемому порогу, происходит перевод изображения в бинарное представление. Бинарное изображение передается в следующий блок, реализующий процедуру эрозии. Все описанные процедуры выполняются в каждом цветовом канале, после процедуры эрозии из трех бинарных изображений красного, зеленого и синего каналов соответственно, создается суммарное бинарное изображение. Описанная процедура позволяет сгладить границы объектов и убрать шум на изображении.

Имея подготовленное бинарное изображение можно производить непосредственную маркировку объектов. Процедура маркировки производится путем сканирования изображения маской показанной на рис. 2.



Рис. 2. Сканирующая маска

В классическом однопроходном алгоритме сканирующая маска содержит и использует 4 элемента(пикселя) A,B,C,D для маркировки пикселя X. Однако в виду высокого разрешения обрабатываемого изображения такая маска порождает ситуацию когда одному объекту присваивается несколько маркеров. Для обработки широкоформатного изображения в предлагаемом алгоритме добавлены элементы E-E₁₇ которые позволяют минимизировать вероятность создание различных меток, принадлежащих одному объекту, и подлежащих объединению. Это не приводит к увеличению числа используемых ячеек памяти поскольку для работы алгоритма буферизируется одна строка изображения целиком. Процедура хранения меток предыдущей строки изображения организована с помощью сдвигового регистра, а извлечение необходимых меток производится путем снятия информации с соответствующих триггеров регистра.

На выходе процедуры маркировки получается размеченное бинарное изображение. Пикселям, принадлежащим фону, присваивается нулевая метка, а пиксели, принадлежащие объектам, имеют метку с номером объектов в порядке их обнаружения. Таким образом, максимальное значение метки равно количеству обнаруженных объектов на изображении.

Результат. В качестве входных данных для модели использовался поток пикселей с линейной камеры TELEDYNE DALSA LA-CC-04K05B-00-R с длиной строки 4096 пикселей. Результаты работы вышеописанной модели показан на рис. 3.

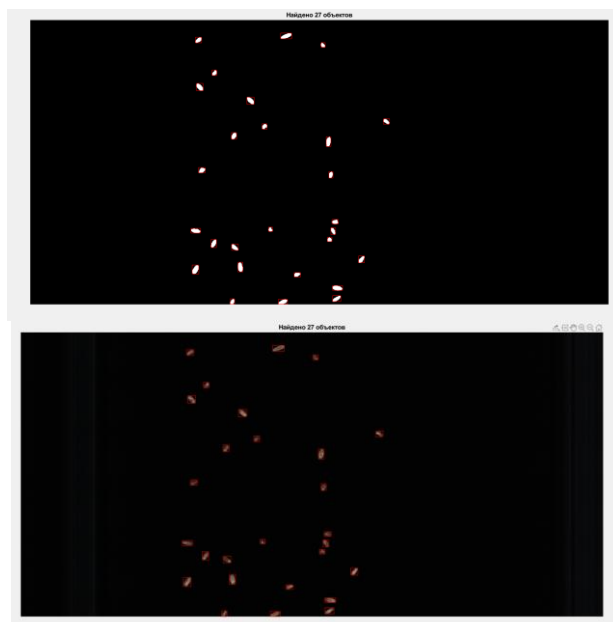


Рис. 3. Результаты работы модели

Полученное маркированное бинарное изображение позволяет производить дальнейшую обработку изображения в зависимости от назначения системы компьютерного зрения.

Результаты оценки использования ресурсов ПЛИС для развертывания описанного алгоритма представлен табл. 1

Таблица 1

BRAMs	DSPs	LUTs	Registers
0	0	599 (0.2%)	33468 (6%)

Выводы. Предлагаемый алгоритм потоковой маркировки широкоформатного изображения позволяет производить разметку высокоскоростного потока пикселей с минимизацией возможности создания меток подлежащих дальнейшему объединению. Показа-

на минимизация объема дополнительной памяти ПЛИС, требуемой для реализации представленного алгоритма, относительно стандартного однопроходного. Применение показанной оптимизации приводит к уменьшению количества дополнительных меток, принадлежащих одному объекту, что может существенно повлиять на объем ресурсов, требуемых для реализации алгоритма маркировки на ПЛИС. Показана возможность реализации алгоритма на ПЛИС и произведена оценка требуемых для реализации ресурсов. Для Xilinx ZYNQ Ultrascale+ MPSoC ZCU106 количество требуемых ресурсов для реализации представленного алгоритма следующее: таблиц LUT 599 (0,2% от всего количества), регистров 33468 (6: от всего количества). Результаты оценки подтверждают выгоду использования однопроходных алгоритмов, а модернизированное сканирующее окно и алгоритм выбора метки обеспечивают сохранение качества маркировки с увеличением размера и разрешения обрабатываемого изображения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Rosenfeld A., Pfaltz J.L.* Sequential operations in digital picture processing // Journal of the ACM (JACM). – 1966. – 13.4. – P. 471-494.
2. *Haralick R.* Some neighborhood operations // Real Time/Parallel Computing Image Analysis. – 1981. – P. 11-35.
3. *Chang F. and Chen C.-J.* A Component-Labeling Algorithm Using Contour Tracing Technique // Proceedings of the 7th International Conference on Document Analysis and Recognition (ICIDAR 2003). – 2003. – 0-7695-1960-1/03.
4. *Chang F., Chen C.-J., Lu C.* A linear-time component-labeling algorithm using contour tracing technique // Computer Vision and Image Understanding. – 2004. – Vol. 93, No. 2. – P. 206-220.
5. *Bailey D., Johnston C.* Single pass connected components analysis // Image and Vision Computing New Zealand. – 2008. – P. 282-287.
6. *Johnston C., Bailey D.* FPGA implementation of a single pass connected components algorithm // Electronic Design, Test and Applications. – 2008. – P. 228-231.
7. *Trein J., Schwarzbacher A., Hoppe B., Noffz K. H., Trenchel T.* Development of a FPGA Based Real-Time Blob Analysis Circuit // Irish Systems and Signals Conference. – 2007. – P. 121-126.
8. *Walczyk R., Armitage A., Binnie T.D.* Comparative study on connected component labeling algorithms for embedded video processing systems // IPCV. – 2010. – Vol. 10. – URL: researchgate.net/publication/220808599_Comparative_Study_on_Connected_Component_Labeling_Algorithms_for_Embedded_Video_Processing_Systems.
9. *Yaman S. et al.* Image and Video Processing Applications Using Xilinx System Generator // 2019 7th International Symposium on Digital Forensics and Security (ISDFS). – IEEE, 2019. – P. 1-5.
10. *Raut N.P., Gokhale A.V.* FPGA implementation for image processing algorithms using xilinx system generator // IOSR Journal of VLSI and Signal Processing (IOSR-JVSP). – 2013. – Vol. 2, No. 4. – P. 26-36.
11. *Ляхов П.А., Валуева М.В.* Применение сглаживающих фильтров для очистки от шума изображений в оттенках серого // Наука. Инновации. Технологии. – 2015. – № 3. – С. 37-50.
12. *Sghaier A. et al.* FPGA implementation of filtered image using 2D Gaussian filter // International Journal of Advanced Computer Science and Applications. – 2016. – Vol. 7, No. 7.
13. *Bakumenko A. et al.* Connected component labeling algorithm in streaming image processing with FPGAs // SPIE Future Sensing Technologies 2021. – SPIE, 2021. – Vol. 11914. – P. 328-340.
14. System Generator for DSP User Guide, UG640, 14.1. April 2012.
15. Zynq UltraScale+ Devices Register Reference UG1087 (v1.8) July 30, 2021.
16. *Bakumenko A. et al.* Crop seed classification based on a real-time convolutional neural network // SPIE Future Sensing Technologies. – SPIE, 2020. – Vol. 11525. – P. 654-667.
17. *Ковалев А.В., Бакуменко А.Н.* Алгоритм маркировки связанных областей при потоковой обработке изображения // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 4 (88). – С. 191-201.
18. *Бахчевников В.В., Деркачев В.А., Бакуменко А.Н.* Способ использования средств быстрого прототипирования для реализации сверточной нейронной сети на ПЛИС // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2020. – № 3 (213). – С. 146-156.
19. *Деркачев В.А., Бахчевников В.В., Бакуменко А.Н.* Классификатор изображений семян сельскохозяйственных культур с использованием сверточной нейронной сети // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2020. – № 4 (214). – С. 32-39.
20. *Бахчевников В.В., Деркачев В.А., Бакуменко А.Н.* Метод разработки искусственных нейронных сетей для прототипирования на ПЛИС с помощью средств Xilinx System Generator и Matlab // Компьютерные и информационные технологии в науке, инженерии и управлении" КомТех-2020". – 2020. – С. 462-468.

REFERENCES

1. Rosenfeld A., Pfaltz J.L. Sequential operations in digital picture processing, *Journal of the ACM (JACM)*, 1966, 13.4, pp. 471-494.
2. Haralick R. Some neighborhood operations, *Real Time/Parallel Computing Image Analysis*, 1981, pp. 11-35.
3. Chang F. and Chen C.-J. A Component-Labeling Algorithm Using Contour Tracing Technique, *Proceedings of the 7th International Conference on Document Analysis and Recognition (ICIDAR 2003)*, 2003. 0-7695-1960-1/03.
4. Chang F., Chen C.-J., Lu C. A linear-time component-labeling algorithm using contour tracing technique, *Computer Vision and Image Understanding*, 2004, Vol. 93, No. 2, pp. 206-220.
5. Bailey D., Johnston C. Single pass connected components analysis, *Image and Vision Computing New Zealand*, 2008, pp. 282-287.
6. Johnston C., Bailey D. FPGA implementation of a single pass connected components algorithm, *Electronic Design, Test and Applications*, 2008, pp. 228-231.
7. Trein J., Schwarzbacher A., Hoppe B., Noffz K.H., Trenchel T. Development of a FPGA Based Real-Time Blob Analysis Circuit, *Irish Systems and Signals Conference*, 2007, pp. 121-126.
8. Walczyk R., Armitage A., Binnie T.D. Comparative study on connected component labeling algorithms for embedded video processing systems, *IPCV*, 2010, Vol. 10. Available at: researchgate.net/publication/220808599_Comparative_Study_on_Connected_Component_Labeling_Algorithms_for_Embedded_Video_Processing_Systems.
9. Yaman S. et al. Image and Video Processing Applications Using Xilinx System Generator, *2019 7th International Symposium on Digital Forensics and Security (ISDFS)*. IEEE, 2019, pp. 1-5.
10. Raut N.P., Gokhale A.V. FPGA implementation for image processing algorithms using xilinx system generator, *IOSR Journal of VLSI and Signal Processing (IOSR-JVSP)*, 2013, Vol. 2, No. 4, pp. 26-36.
11. Lyakhov P.A., Valueva M.V. Primenenie sglazhivayushchikh fil'trov dlya ochistki ot shuma izobrazheniy v ottenkakh serogo [Application of anti-aliasing filters for removing noise from images in various grayscales], *Nauka. Innovatsii. Tekhnologii* [Science. Innovation. Technologies], 2015, No. 3, pp. 37-50.
12. Sghaier A. et al. FPGA implementation of filtered image using 2D Gaussian filter, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 2016, Vol. 7, No. 7.
13. Bakumenko A. et al. Connected component labeling algorithm in streaming image processing with FPGAs, *SPIE Future Sensing Technologies 2021*. SPIE, 2021, Vol. 11914, pp. 328-340.
14. System Generator for DSP User Guide, UG640, 14.1. April 2012.
15. Zynq UltraScale+ Devices Register Reference UG1087 (v1.8) July 30, 2021.
16. Bakumenko A. et al. Crop seed classification based on a real-time convolutional neural network, *SPIE Future Sensing Technologies*. SPIE, 2020, Vol. 11525, pp. 654-667.
17. Kovalev A.V., Bakumenko A.N. Algoritm markirovki svyazannykh oblastey pri potokovoy obrabotke izobrazheniya [Algorithm for marking connected areas during streaming image processing], *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], 2022, No. 4 (88), pp. 191-201.
18. Bakhchevnikov V.V., Derkachev V.A., Bakumenko A.N. Sposob ispol'zovaniya sredstv bystrogo prototipirovaniya dlya realizatsii svertochnoy neyronnoy seti na PLIS [Method of using fast prototyping tools for implementing a convolutional neural network on FPGA], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2020, No. 3 (213), pp. 146-156.
19. Derkachev V.A., Bakhchevnikov V.V., Bakumenko A.N. Klassifikator izobrazheniy semyan sel'skokhozyaystvennykh kul'tur s ispol'zovaniem svertochnoy neyronnoy seti [Classifier of images of agricultural seeds using a convolutional neural network], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2020, No. 4 (214), pp. 32-39.
20. Bakhchevnikov V.V., Derkachev V.A., Bakumenko A.N. Metod razrabotki iskusstvennykh neyronnykh setey dlya prototipirovaniya na PLIS s pomoshch'yu sredstv Xilinx System Generator i Matlab [Method for developing artificial neural networks for prototyping on FPGAs using Xilinx System Generator and Matlab], *Kompyuternye i informatsionnye tekhnologii v nauke, inzhenerii i upravlenii* "KomTekh-2020" [Computer and information technologies in science, engineering and management" KomTech - 2020"], 2020, pp. 462-468.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Н.Е. Сергеев.

Бакуменко Алексей Николаевич – Южный федеральный университет; e-mail: baku@sfedu.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: +79886031853; кафедра радиотехнических и телекоммуникационных систем; ассистент.

Деркачев Владимир Александрович – e-mail: vderkachev@sfedu.ru; тел.: +79614154733; кафедра радиотехнических и телекоммуникационных систем; ассистент.

Бахчевников Валентин Владимирович – e-mail: bahchevnikov@sfedu.ru; тел.: +79518289271; кафедра радиотехнических и телекоммуникационных систем; старший преподаватель.

Лобач Владимир Тихонович – e-mail: vtlobach@sfedu.ru; тел.: +79185233270; кафедра радиотехнических и телекоммуникационных систем; доцент.

Bakumenko Alexey Nikolaevich – Southern Federal University; e-mail: baku@sfedu.ru; Taganrog, Russia; phone: +79886031853; the department of radio engineering & telecommunication systems; assistant professor.

Derkachev Vladimir Aleksandrovich – e-mail: vderkachev@sfedu.ru; phone +79614154733; the department of radio engineering & telecommunication systems; assistant professor.

Bakhchevnikov Valentin Vladimirovich – e-mail: bahchevnikov@sfedu.ru; phone: +79518289271; the department of radio engineering & telecommunication; senior lecturer.

Lobach Vladimir Tikhonovich – e-mail: vtlobach@sfedu.ru; phone: +79185233270; the department of radio engineering & telecommunication systems; associate professor.

УДК 519.688

DOI 10.18522/2311-3103-2024-2-31-38

С.Л. Беляков, А.В. Исаев

МЕТОД ПОДДЕРЖКИ УСТОЙЧИВОСТИ СЕТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Рассматривается задача управления распределением энергетической мощности на территории, покрытой интеллектуальной энергосетью. Целью управления является стабилизация потока энергии при наличии внешних воздействий, вызванных изменением состояния окружающей среды. Присутствие уязвимостей обусловлено природой энергетических сетей и при определенном стечении обстоятельств провоцирует аномалии энергоснабжения. Воздействие факторов внешней среды разнообразно по содержанию, не позволяя уверенно прогнозировать актуальные угрозы. Описываются геоинформационные модели, использующие представление знаний образами. Ее использование дает возможность оценивать актуальность известных угроз. Концептуально образ включает в себя центр и допустимые преобразования центра в некотором контексте. Рассматривается случай, когда угроза нарушения работы интеллектуальной сети оценивается трансформированием образа в заданную область пространства, в которой размещается интеллектуальная сеть. Принципиальной особенностью предлагаемого подхода является оценка реализуемость явления или события в заданной области пространства. Операция переноса ситуации заставляет учитывать особенности топологии заданной области. Основную роль начинают играть не столько атрибуты ситуации, как параметры порождающей ее инфраструктуры. Особенностью предлагаемого подхода следует считать перенос смыслового контекста, который представлен допустимыми преобразованиями образа. Программная функция трансформирования связывается со слоем картографического изображения. Для заданного объекта, входящего в прецедент-оригинал, определяется область размещения. Ее граница определяется свойствами объекта. Если размер области размещения позволяет сконструировать объект соответствующего класса, этот объект создается. Оценивается достоверность результата путем применения экспертного знания о качестве объектов рассматриваемого класса. Перечисленные действия выполняются не только над геометрией пространственного объекта. Аналогично концепции образного представления геометрии используются временные и семантические атрибуты. Формирование списка угроз при заданном состоянии внешней среды составляет суть управления устойчивости. Анализируются особенности алгоритмизации процедуры трансформации образов. Приводится способ оценки достоверности трансформирования. Применение предложенного подхода перспективно для интеллектуальных систем энергоснабжения, поведение которых сложным образом зависит от факторов внешней среды.

Геоинформационное моделирование; интеллектуальная сеть; управление энергопотреблением; интеллектуальные ГИС; представление знаний.