

УДК 681.5
doi:10.21685/2307-5538-2021-3-2

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДА КОМПЕНСАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ СИСТЕМЫ ГЕНЕРАЦИИ ЭТАЛОННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

А. А. Железняк

Керченский государственный морской технологический университет, Керчь, Россия
zheleznyak13@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Одним из основных путей повышения эффективности компенсации информационных потоков является построение системы распознавания метода компенсации информационных потоков генерации эталонных изображений. *Материалы и методы.* В случае если класс систем характеризуется перечнем входящих в него членов, то он может быть основан на принципе принадлежности к этому перечню – этот метод называется методом сравнения с эталоном. Согласно этому методу множество образов, принадлежащих одному классу, запоминается системой идентификации. При предъявлении системе новых образов она последовательно сравнивает их с эталонными образами, хранящимися в памяти. Система относит новый образ к тому классу, к которому принадлежал эталонный образ, совпавший с предъявленным. *Результаты и выводы.* Этот метод работает хорошо, только когда выборка близка к идеальной или идеальны условия предъявления изображений. В том случае, когда для членов одного класса характерны некие общие признаки, система распознавания строится на принципе общности свойств. Эти общие свойства хранятся в памяти системы. В процессе обработки изображений система должна быть способна выделять признаки из предъявленного изображения и работать с ними. Система зачисляет вновь предъявленное изображение в класс, признаки которого подобны признакам, выделенным у нового изображения.

Ключевые слова: оптимизация, алгоритм, образ, информационный поток, эффективность

Для цитирования: Железняк А. А. Эффективность метода компенсации информационных потоков системы генерации эталонного изображения // Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль. 2021. № 3. С. 11–19. doi:10.21685/2307-5538-2021-3-2

EFFICIENCY OF THE METHOD OF COMPENSATION OF INFORMATION FLOWS OF THE REFERENCE IMAGE GENERATION SYSTEM

A.A. Zhelezniak

Kerch State Marine Technological University, Kerch, Russia
zheleznyak13@mail.ru

Abstract. *Background.* One of the main ways to improve the efficiency of information flow compensation is to build a recognition system for the method of information flow compensation for generating reference images. *Materials and methods.* If a class of systems is characterized by a list of its members, it can be based on the principle of belonging to this list – this method is called the method of comparison with the standard. According to this method, many images belonging to the same class are stored by the identification system. When new images are presented to the system, it consistently compares them with the reference images stored in memory. The system assigns the new image to the class that the reference image that coincided with the presented one belonged to. *Results and conclusions.* This method works well only when the sample is close to ideal, or the conditions for presenting images are ideal. If members of the same class have some common features, the recognition system is based on the principle of common properties. These General properties are stored in the system memory. During image processing, the system must be able to extract features from the presented image and work with them. The system assigns the newly presented image to a class whose features are similar to those highlighted in the new image.

Keywords: optimization, algorithm, image, information flow, efficiency

For citation: Zhelezniak A.A. Efficiency of the method of compensation of information flows of the reference image generation system. *Izmereniya. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measurements. Monitoring. Management. Control.* 2021;(3):11–19. (In Russ.). doi:10.21685/2307-5538-2021-3-2

Введение

В основе работы положен алгоритм компенсации информационных потоков [1], основной идеей которого является использование системы генерации эталонного изображения, компенсирующего входной сигнал. Упрощенная структура системы приведена на рис. 1.

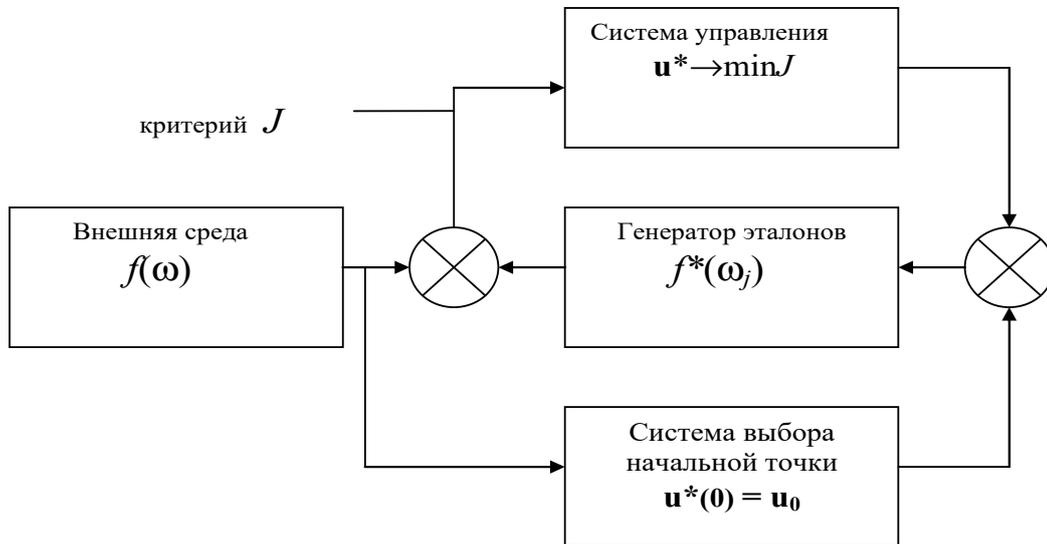


Рис. 1. Структура системы компенсации входного изображения

Эффективность разработанной информационной технологии идентификации оптических образов можно оценить либо по затратам вычислительных ресурсов, либо в сравнении с другими технологиями по максимальной мере близости.

Алгоритм системы управления компенсацией построен как трехуровневая процедура, на первом уровне оценивается начальная точка процедуры, на втором уровне находится наиболее близкий эталон из группы логически допустимых и на третьем уровне оптимизируется модель сцены [2].

На рис. 2 показан процесс изменения отклонения при использовании градиентной процедуры. Здесь видно проявление овражности функции цели, что определило использование метода наискорейшего спуска.

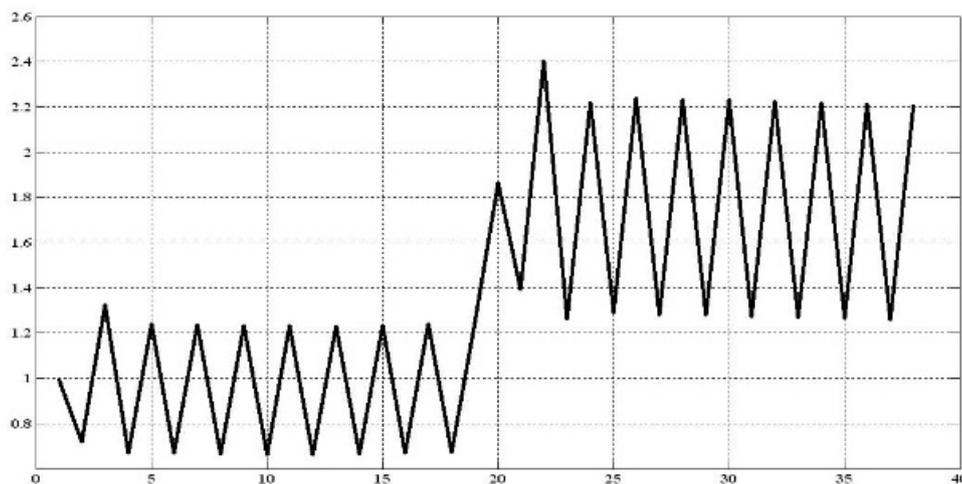


Рис. 2. Проявление овражности

На рис. 3 показано возникновение немонотонности поведения целевой функции при несоответствии эталона и объекта, что определило завершение процедуры при нарушении монотонности.

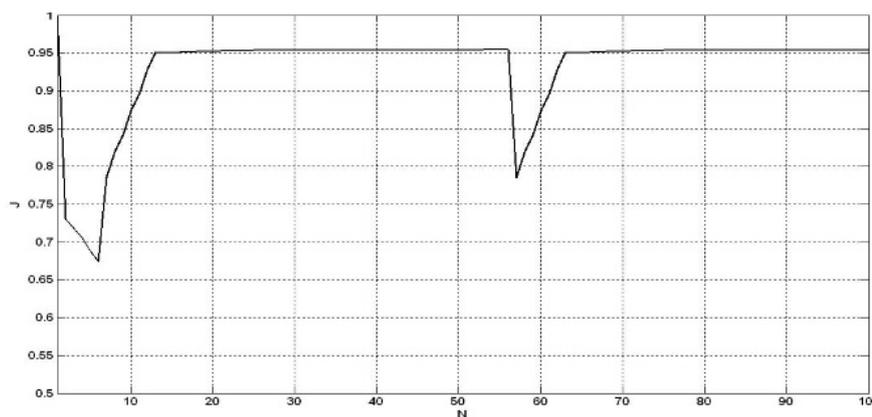


Рис. 3. Потеря монотонности

Процесс компенсации сопровождается построением модели сцены на основе наиболее близких эталонов или их комбинаций с формированием логического описания сцены [3]. Критерий близости для фрагмента изображения выбран с учетом неотрицательности оптического сигнала F . Для сокращения процедуры использована разновидность преобразования Радона – проективное преобразование:

$$F_j = \sum_{i=1}^n f_{ij}; \quad F_i = \sum_{j=1}^n f_{ij}; \quad F_{\max} = \sup(F_i \cup F_j). \quad (1)$$

Следовательно, оценка близости формируется простым соотношением с учетом ограничений по амплитуде проекций, что гарантирует от потери сходимости за счет несоответствия эталона:

$$S = \sum_{i=1}^n (2F_{\max} - F_i - F_j); \quad F_i < F_{\max}; \quad F_j < F_{\max}. \quad (2)$$

Так как процедура шаговая, минимальное значение критерия достигается за определенное количество шагов. Собственно, затраты управления определяются количеством шагов компенсации, однако в этом случае необходимо обеспечить одинаковый уровень компенсации для всех эталонов, что вызывает усложнение алгоритма. Для нормализации в начале процедуры использовано значение критерия $j = 1$:

$$S_{\min} = S_n / S_1. \quad (3)$$

Для получения более простого алгоритма в качестве оценки функционала затрат использовано произведение минимального полученного значения компенсации для j -го эталона S_j . Таким образом критерий близости принимает простой и удобный для вычисления вид

$$J = nS_{\min}. \quad (4)$$

Особенностью данного подхода является использование обратной связи, т.е. система строится по принципу компенсации отклонения и, следовательно, принципиально обладает свойством компенсации возмущений. Действительно, если система способна сгенерировать входной образ, то существует возможность безошибочной работы.

Целью исследований являлся анализ эффективности метода компенсаций информационных потоков системы генерации эталонного изображения необитаемого аппарата.

Материалы и методы исследования

При исследовании информационной технологии идентификации оптических образов в основу положен алгоритм компенсации информационных потоков, теория распознавания образов в задаче построения гипотезы, теория инвариантности при решении задачи повышения помехоустойчивости.

Результаты

Для проверки работоспособности метода проведено моделирование системы с использованием градиентной процедуры в задаче компенсации входного изображения (рис. 4).



Рис. 4. Этапы компенсации изображения

Как видно, близость эталона к изображению – действительно, необходимое условие сходимости процесса компенсации. Следует обратить внимание на достаточную «грубость» эталона и хорошую разделимость эталонов. Основным достоинством процедуры является принципиальная инвариантность к изменению состава сцены и эволюциям объекта [4]. Данное свойство обеспечивается введением отрицательной обратной связи в структуру системы идентификации.

Результаты моделирования иллюстрируются для простейших эталонов на этапе выбора ближайшего эталона для простой сцены (табл. 1).

Таблица 1

Динамика процедуры компенсации (скриншоты MatLab)

Функция близости, эталон	Компенсация фрагмента	Зависимость критерия от шага

В табл. 2 приведены результаты шага процедуры для четырех эталонов, из которых третий эталон наиболее близко описывает элементы сцены.

Таблица 2

Оценка близости для различных эталонов

Эталон	1	2	3	4
Число шагов компенсации	34	52	7	21
Уровень компенсации	0,6374	0,6771	0,5025	0,9289
Функционал затрат	24,7611	35,8015	3,8236	18,8964

Отказ от постоянства конечного уровня компенсации при оценке близости эталона вносит неопределенность, и необходимо рассмотреть поведение системы для различных эталонов. На рис. 5 приведены экспериментальные зависимости критерия от шага процедуры для четырех эталонов.

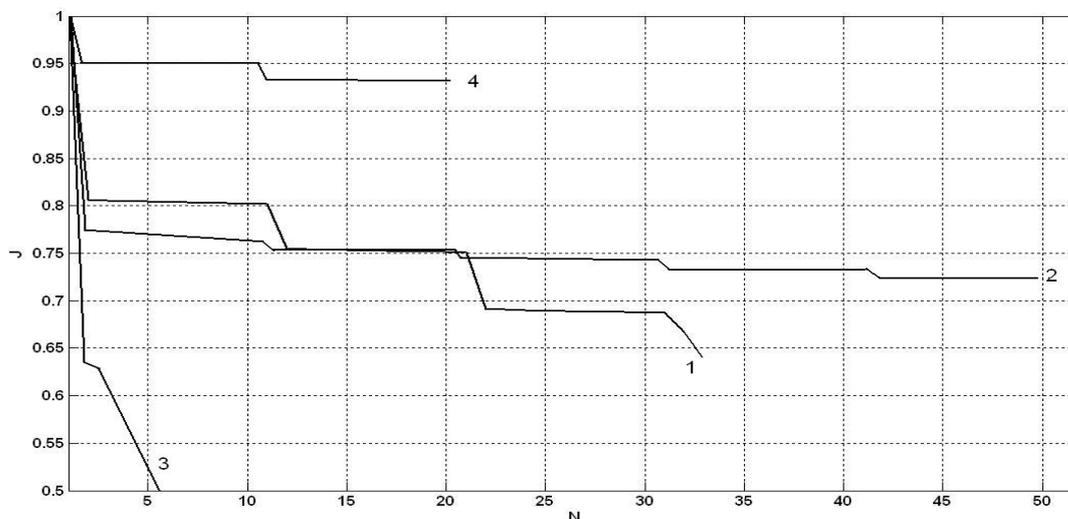


Рис. 5. Изменение оценки близости в процедуре для различных эталонов

Характерной особенностью полученных зависимостей является ступенчатый характер, обусловленный высокой эффективностью процедуры выбора начальной точки и незначительной эффективностью уточнения параметров модели.

Как видно из рис. 5, процедура сходится достаточно быстро, уже на пятом шаге алгоритма возможно принятие решения о принадлежности изображения к эталону.

При проведении эксперимента, в зависимости от весового коэффициента ρ_k , получаем быстро сходящийся монотонный процесс, возникающий при оптимальном выборе весового коэффициента (рис. 6).

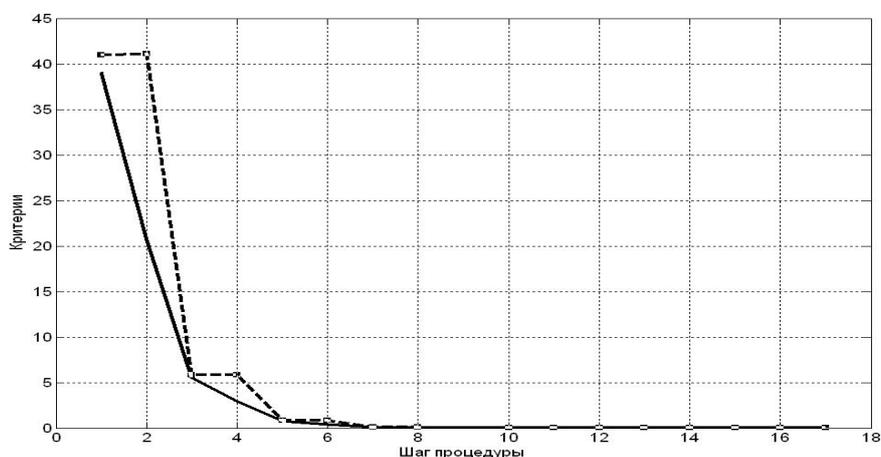


Рис. 6. Монотонная сходимость

При приближении к границе сходимости наблюдается возникновение колебаний (рис. 7).

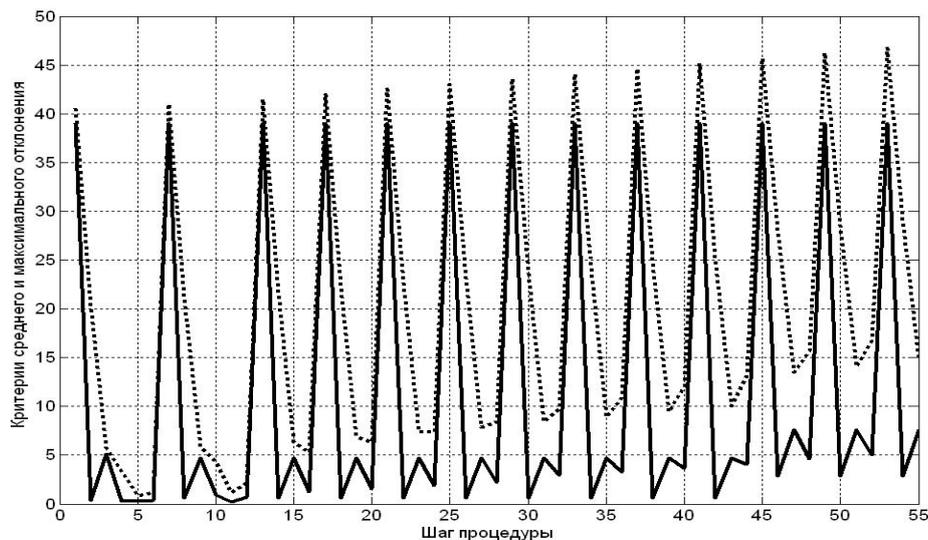


Рис. 7. Возникновение колебаний на границе устойчивости процедуры

Собственно, возникновение колебаний связано с остаточной ошибкой компенсации. Действительно, остаточная ошибка имеет место в любом случае. Процесс компенсации остаточной ошибки может вести к монотонному уменьшению ошибки или происходит накопление ошибки и колебания [5]. Как видно из полученных откликов, в системе происходит последовательное устранение ошибки компенсации. При превышении критического значения коэффициента веса система теряет сходимость и ошибка начинает стремиться к бесконечности (рис. 8).

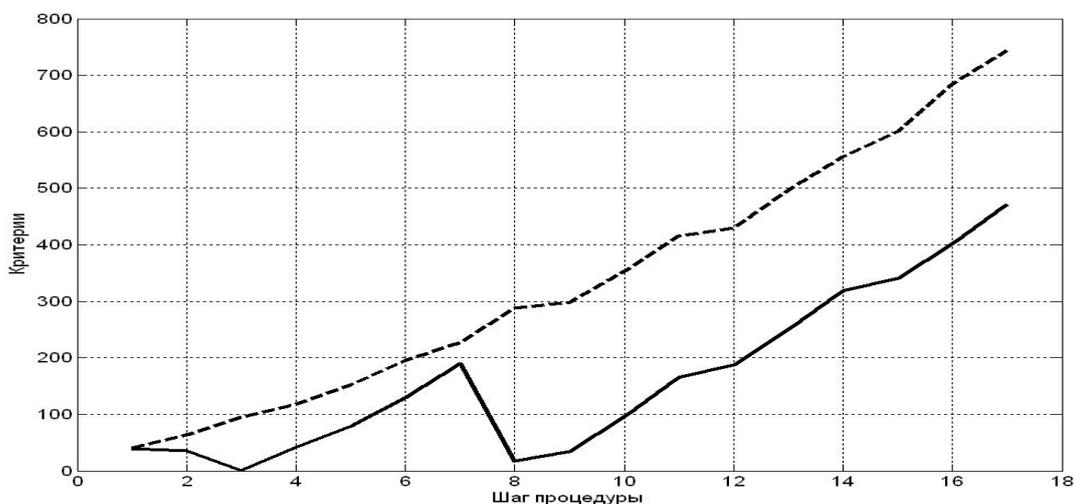


Рис. 8. Потеря сходимости

Таким образом, можно сделать вывод – система обладает свойством сходимости при выполнении следующих условий:

- эталон соответствует изображению объекта;
- движение эталона начато из начальной точки, удовлетворяющей условию

$$f - f^*(\omega, \omega(u)) < 0. \quad (5)$$

Для изображений, близких к эталону, сходимость процедуры монотонная. В работе проведено исследование эффективности метода компенсации информационных потоков для акустических сигналов с наилучшими корреляционными свойствами [6].

Полученные значения оценок гипотез по сравнению с корреляционным методом приведены в табл. 3.

Таблица 3

Значения оценок гипотез

Номер гипотезы	1	2	3	4
Значение корреляционной функции	0,8611	0,6653	0,07091	0,4041
Затраты на управление	1,69	83,28	72,03	60,64

Таким образом, для корреляционной меры максимальное расстояние составляет между образами 12,14 и для оценки по затратам управления максимальное расстояние составляет 49,28, что в 4,02 раза превышает результат для корреляционной меры.

Обсуждение

Моделирование работы системы выполнено по алгоритму, приведенному на рис. 9.

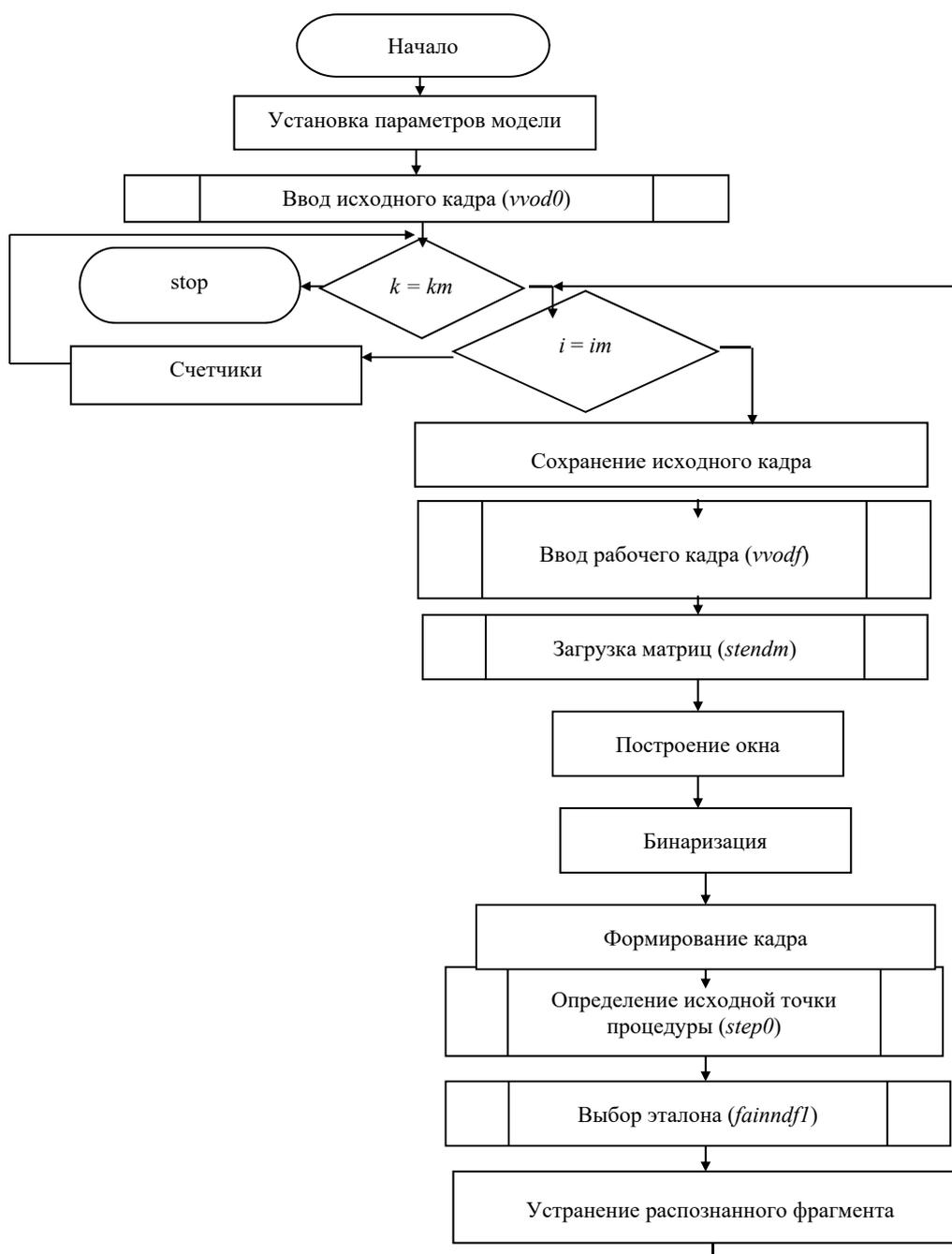


Рис. 9. Фрагмент алгоритма фрагментации кадра и идентификации образа

Алгоритм предусматривает выполнение операций фрагментации и идентификации элементов сцены по заданным эталонам [7, 8]. В данном участке алгоритма рассматривается процедура фрагментации изображения сцены и выделения областей, содержащих изображения объектов. Данная процедура является одной из основных в процессе идентификации оптических образов, так как представляет базовую процедуру поиска объекта в изображении сцены. В соответствии с приведенным алгоритмом в начале процедуры происходит установка параметров модели, т.е. строится гипотеза о наличии в кадре тех или иных объектов. Затем вводится исходный кадр и производится его обработка. Строятся матрицы проекций кадра и вычисляются области интереса. Затем строится рабочий кадр гипотезы и производится вычитание. Если результат сравнения исходного кадра с рабочим неудовлетворителен – процедура повторяется для новой гипотезы. Результаты работы подпрограммы выделения фрагмента изображения и построения матрицы проекций приведены на рис. 10. На рисунке виден выделенный программой контур фигуры человека и матрицы проекций.

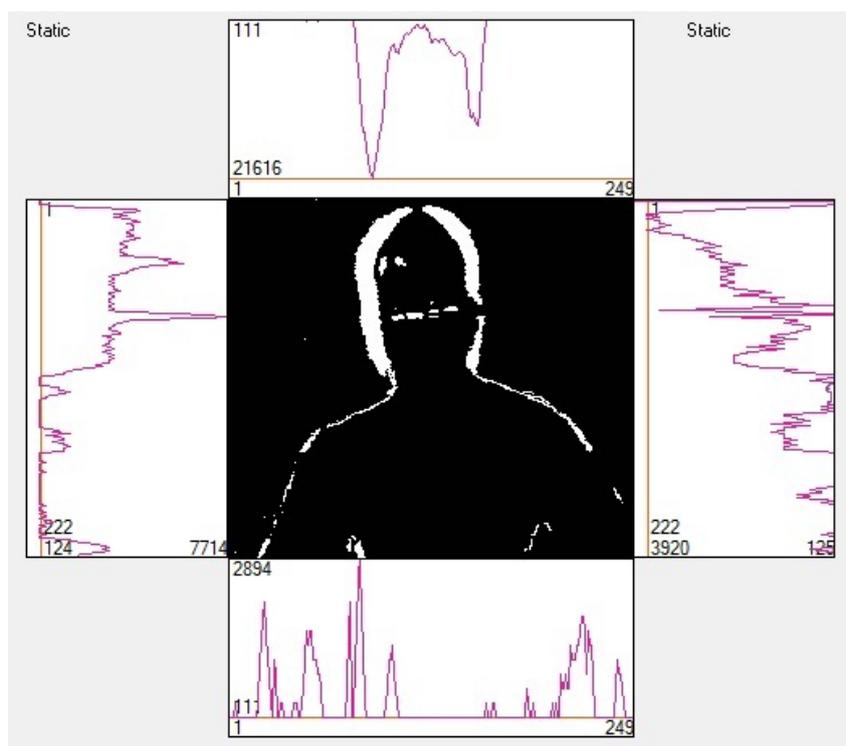


Рис. 10. Результат работы подпрограммы выделения фрагмента и построения матрицы проекций (скриншот MatLab)

Подпрограмма генерации эталона построена на основе последовательного накопления фрагментов изображения [9]. Существенной особенностью используемого алгоритма является использование в нем операции выдачи нулевых – рекомендуемых управлений.

В данной подпрограмме происходит формирование эталонного изображения объекта из скелетного графа и функций принадлежности, покрывающих ветви графа. Выбор скелетного графа производится в соответствии с первоначальной гипотезой. Управление эталоном производится модификацией матрицы коэффициентов аффинного преобразования [9].

Заключение

Таким образом, можно сделать следующие выводы: использование критерия минимальных затрат управления при экспоненциальной сходимости обеспечивает оптимальность управления по Беллману; наличие отрицательной обратной связи в процедуре идентификации изображения объекта по отношению к эталону позволяет реализовать процедуру не чувствительную к возмущениям в пространстве объектов. Использование в информационной технологии идентификации оптических образов критерия минимума затрат управления обеспечивает большее расстояние в пространстве сигнала, чем корреляционная мера.

Список литературы

1. Кульба В. В. Теоретические основы проектирования информационно-управляющих систем космических аппаратов // Институт проблем управления имени В. А. Трапезникова РАН. М. : Наука, 2006. 579 с.
2. Муравьев Е. А. Один подход к управлению информативностью признаков в распознавании образов // Искусственный интеллект. 2002. № 4. С. 493–498.
3. Жиленьков А. А., Титов И. Л., Черный С. Г. Моделирование процесса повышения надежности автоматических систем управления в автономных системах объектов морского транспорта // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2015. № 4. С. 198–207.
4. Зайченко Ю. П. Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах. Киев : Слово, 2008. 344 с.
5. Рожнецов А. А. Предельно достижимые возможности при распознавании многомерных сигналов // Математические методы распознавания образов ММРО-11 : тр. Всерос. конф. Пушкино, 2003. С. 169–171.
6. Розенфельд А., Дейвис Л. С. Сегментация и модели изображений // Труды Института инженеров по электронике и радиоэлектронике. 1979. Т. 67, № 5. С. 71–82.
7. Zhilenkov A., Chernyi S. Investigation performance of marine equipment with specialized information technology // Procedia Engineering. 2015. Vol. 100. P. 1247–1252.
8. Горева Т. И. Нейросетевые модели диагностики технических систем // Вестник КРАУНЦ. Физико-математические науки. 2012. № 1. С. 31–43.

References

1. Kul'ba V.V. Theoretical foundations of designing information and control systems of spacecraft. *Institut problem upravleniya imeni V. A. Trapeznikova RAN = V. A. Trapeznikov Institute of Management Problems of the Russian Academy of Sciences*. Moscow: Nauka, 2006:579. (In Russ.)
2. Murav'ev E.A. One approach to managing the informativeness of features in pattern recognition. *Iskusstvennyy intellekt = Artificial intelligence*. 2002;(4):493–498. (In Russ.)
3. Zhilenkov A.A., Titov I.L., Chernyi S.G. Modeling of the process of increasing the reliability of automatic control systems in autonomous systems of marine transport facilities. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova = Bulletin of the Admiral S. O. Makarov State University of Marine and River Fleet*. 2015;(4):198–207. (In Russ.)
4. Zaychenko Yu.P. *Nechetkie modeli i metody v intellektual'nykh sistemakh = Fuzzy models and methods in intelligent systems*. Kiev: Slovo, 2008:344. (In Russ.)
5. Rozhentsov A.A. Extremely achievable capabilities in the recognition of multidimensional signals. *Matematicheskie metody raspoznavaniya obrazov MMRO-11: tr. Vseros. konf. = Mathematical methods of pattern recognition MMRO-11: proceedings of the All-Russian conf. Pushchino, 2003:169–171*. (In Russ.)
6. Rozenfel'd A., Deyvis L.S. Segmentation and image models. *Trudy Instituta inzhenerov po elektronike i radioelektronike = Proceedings of the Institute of Electronics and Radio Electronics Engineers*. 1979; 67(5):71–82. (In Russ.)
7. Zhilenkov A., Chernyi S. Investigation performance of marine equipment with specialized information technology. *Procedia Engineering*. 2015;100:1247–1252.
8. Goreva T.I. Neural network models of diagnostics of technical systems. *Vestnik KRAUNTS. Fiziko-matematicheskie nauki = Bulletin of KRAUNTS. Physical and mathematical sciences*. 2012;(1):31–43. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors**Александр Александрович Железняк**

кандидат технических наук, доцент,
доцент кафедры электрооборудования судов
и автоматизации производства,
Керченский государственный морской
технологический университет
(Россия, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82)
E-mail: zheleznyak13@mail.ru

Aleksandr A. Zhelezniak

Candidate of technical sciences, associate professor,
associate professor of sub-department of electrical
equipment of ships and industrial automation,
Kerch State Marine Technological University
(82 Ordzhonikidze street, Kerch, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию/Received 15.03.2021

Поступила после рецензирования/Revised 22.03.2021

Принята к публикации/Accepted 23.03.2021