

А. Ю. Агроник, В. П. Фраленко

**Библиотека алгоритмов
высокопроизводительной обработки данных
от системы технического зрения
беспилотного летательного аппарата**

Аннотация. В работе описаны результаты работы, направленной на разработку библиотеки высокопроизводительных реализаций алгоритмов для обработки данных, полученных с беспилотных летательных аппаратов. Приведены результаты экспериментальных исследований. Представлен новый интерфейс визуально-блочного программирования, позволяющий создавать схемы решаемых задач наиболее удобным способом.

Ключевые слова и фразы: БПЛА, обработка изображений, навигация, параллельный алгоритм.

Введение

Мобильные летающие устройства или беспилотные летательные аппараты (БПЛА) на сегодняшний день используются в самых различных областях и сферах человеческой деятельности. Совершенство их математического и программного обеспечения требует разработки и реализации целого комплекса алгоритмов, отвечающих за обработку изображений, навигацию и управление, поддержку разнородного аппаратного обеспечения. Современные тенденции к увеличению объема бортовых вычислительных ресурсов (в том числе за счет применения графических ядер, интегрированных рядом с ядрами общего назначения) позволяют применять методы искусственного

В рамках проектов Российского фонда фундаментальных исследований № 15–07–04051–а «Разработка нейросетевых методов и моделей обработки данных дистанционного зондирования Земли для задач поиска, распознавания и мониторинга целевых объектов», № 15–29–06945–офи_м «Развитие моделей, методов и программных средств обработки мультиспектральных снимков, видео-потоков и данных телеметрии для задач космического мониторинга арктической зоны» и № 16–07–00096–а «Методы решения навигационных и траекторных задач в бортовых системах интеллектуального управления автономных летательных аппаратов на основе оптимизации конвейерных, разрядных и параллельных вычислений».

© А. Ю. Агроник⁽¹⁾, В. П. Фраленко⁽²⁾, 2016

© ООО «Квадросистемс»⁽¹⁾, 2016

© Институт программных систем имени А. К. Айламазяна РАН⁽²⁾, 2016

© ПРОГРАММНЫЕ СИСТЕМЫ: ТЕОРИЯ И ПРИЛОЖЕНИЯ, 2016

интеллекта и эффективные текстурные фильтры, причем роль первых не ограничивают поиском целевых объектов, расширяя область использования алгоритмов и на управление полетом. Настоящая статья представляет результаты работ по созданию новой библиотеки таких алгоритмов и графического интерфейса для взаимодействия с ней.

1. Библиотека алгоритмов

Далее перечислены некоторые из наиболее востребованных алгоритмов, реализации которых были созданы в рамках выполняемых в настоящее время проектов РФФИ (некоторые из них являются лишь высокопроизводительными реализациями известных алгоритмов, другие — реализации новых алгоритмов, разработанных коллективом исследователей):

- алгоритмы базовой фильтрации изображений: низкочастотный и высокочастотный, медианный и фильтры управления контрастом; алгоритм суперразрешения, позволяющий построить изображение высокого разрешения по нескольким слабо отличающимся изображениям объекта меньшего разрешения с использованием субпиксельных сдвигов снимаемого объекта [1];
- алгоритм выбора лучшего снимка из серии на основе вычисления модуляционной передаточной функции (Modulation Transfer Function, MTF) [2];
- алгоритмы восстановления поврежденных изображений: алгоритм AALR [3], являющийся адаптированным вариантом алгоритма Лаки-Ричардсона [4, 5];
- алгоритм слепой деконволюции [6];
- алгоритм оценки оптического потока, позволяющий отслеживать обнаруженный объект в последовательности видеок кадров [7];
- алгоритм сопоставления нескольких снимков (на основе дескрипторов особых точек SIFT (Scale-Invariant Feature Transform) и SURF (Speeded Up Robust Features) [8, 9], с использованием библиотеки FLANN [10]);
- алгоритм следования БПЛА по заданному маршруту, включающий адаптивную подстройку коэффициентов ПИД-регулятора на основе генетического алгоритма и нейронной сети [11];
- алгоритм нейросетевого обнаружения целевых объектов на изображениях, основывающийся на использовании искусственных нейронных сетей, в том числе сверточной нейронной сети глубокого обучения [12–14];

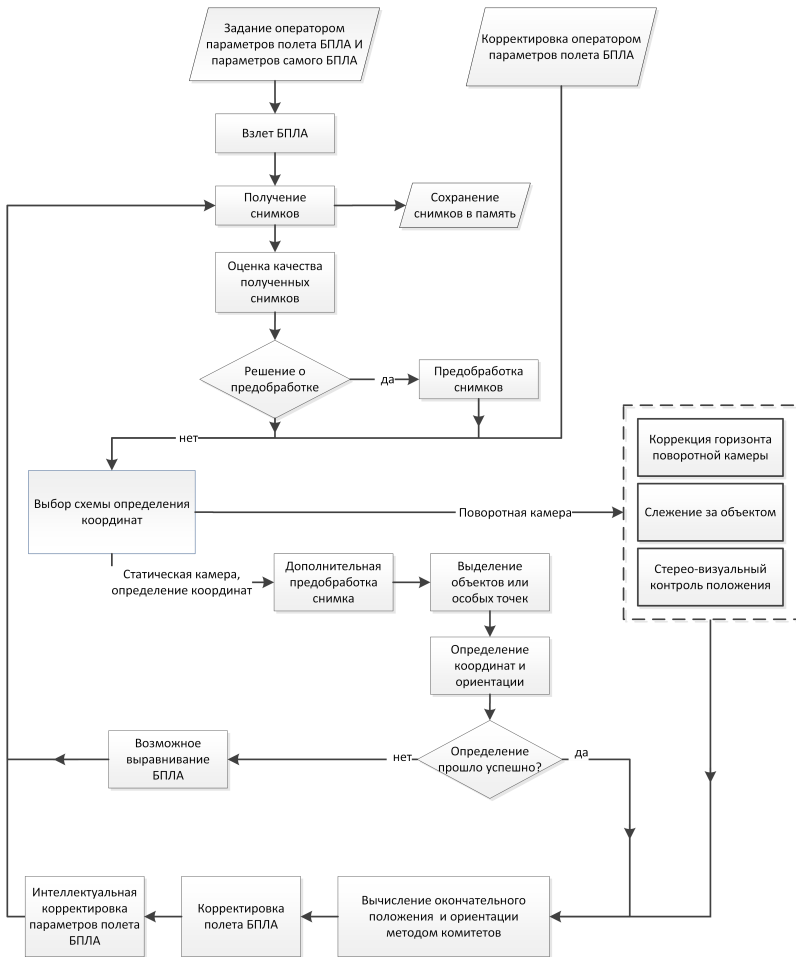


Рис. 1: Схема управления полетом БПЛА

- алгоритмы сегментации изображений: волновой и спектрографический подходы [15], алгоритмы на основе метода Лавса и коэффициентов Харалика [16];
- алгоритм QuickShift [17].

Разработана общая схема функционирования перспективного беспилотного летательного аппарата, содержащая ряд программных мо-



(a) самолетов на территории (b) легковых автомобилей заданной модели аэропорта

Рис. 2: Поиск целевых объектов

дулей из состава библиотеки. Схема включает в себя следующие основные функциональные части: полет БПЛА и получение снимков с подвижной камеры с оценкой качества снимков и их предобработкой; выделение целевых объектов; определение собственных координат и ориентации; коррекция угла наблюдения; сохранение карты наблюдаемой поверхности; интеллектуальная корректировка полета БПЛА и его параметров (см. рис. 1). Реализация содержит как параллельные, так и конвейерные способы выполнения необходимых вычислений [18, 19], что в сочетании с поддержкой отечественной платформы «Мультикор» [20] позволяет эффективно задействовать все имеющиеся вычислительные ресурсы. Одним из достоинств платформы «Мультикор» является возможность поддержки организации вычислений с использованием CORDIC-арифметики, характеризующейся отсутствием «длинных» операций при вычислении элементарных функций [21].

На рис. 2(a), 2(b) и 3 приведен ряд иллюстраций, демонстрирующих работу некоторых реализованных алгоритмов. Результаты, показанные на рис. 2(a), получены с помощью волнового алгоритма удаления фона, алгоритма маркировки связанных компонент и искусственной нейронной сети Хемминга. Для выделения объектов

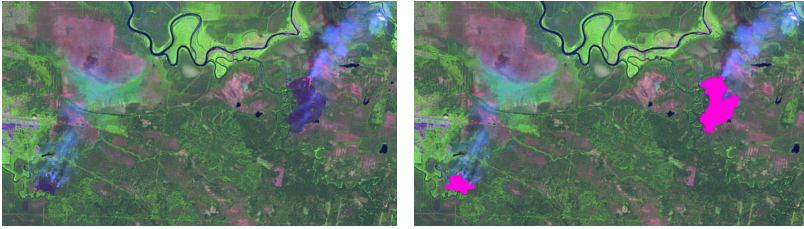


Рис. 3: Поиск очагов пожаров

Таблица 1: Счет на процессорах общего назначения и с задействованием графического ускорителя

Количество вычислительных потоков	Время счета (сек) с использованием:	
	процессора общего назначения	графического ускорителя
1	1616,68	219,89
2	829,00	124,87
4	422,76	117,31
8	231,76	109,35

на рис. 2(b) использовался алгоритм спектрографической закрашки, позволяющий выделить текстуры, схожие с автомобилями, и сверточная нейронная сеть для того, чтобы отсеять случайно обнаруженные похожие текстуры. Для выделения областей с активными пожарами (см. рис. 3), имеющими характерные текстурные особенности, также использовался алгоритм спектрографической закрашки.

Был проведен вычислительный эксперимент по обработке полноцветных изображений ДЗЗ, полученных с БПЛА (осуществлялся поиск целевых объектов). Размер отдельных изображений — 1280x720 пикселей, общее количество — 300 штук. Сравнение реализаций, использующих процессоры общего назначения (от одного до двух Intel E5410 @ 2.33GHz) и один графический ускоритель Nvidia Tesla C1060, сделано в таблице 1. Использование именно такого оборудования оправдано ввиду того, что на борту БПЛА невозможно в реальном времени осуществлять столь сложную обработку информации из-за ограниченности ресурсов — как энергетических, так и вычислительных. Производительность реализации для графического ускорителя

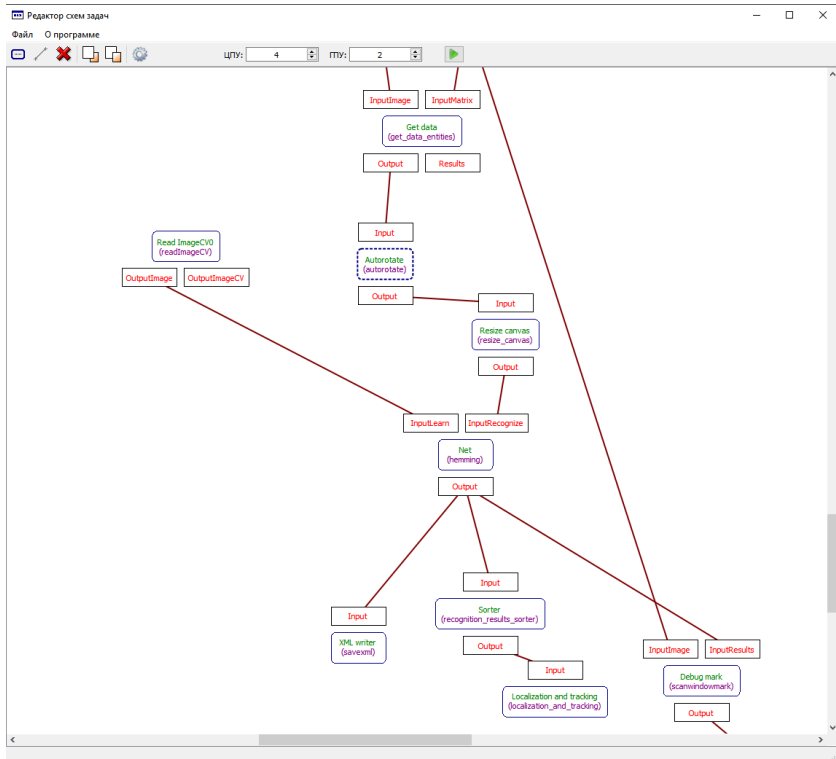


Рис. 4: Визуально-блочное программирование схемы задачи

масштабируется при увеличении числа вычислительных потоков из-за того, что пока одни потоки обрабатывают данные, другие в фоне (асинхронно) подгружают новые данные для обработки.

2. Графический интерфейс

Для эффективного применения разработанных модулей (всего более ста) разработан специальный графический интерфейс визуально-блочного программирования (см. рис. 4). Как и все программные модули библиотеки алгоритмов, интерфейс запрограммирован на языке C++.

Интерфейс позволяет соединять отдельные модули каналами передачи данных, устанавливать в диалоговых окнах их настройки и пр.

Составив необходимую схему, можно выбрать число задействуемых процессоров общего назначения и графических ускорителей (ЦПУ и ГПУ соответственно, см. рис. 4). В частности, схема, часть которой показана на рисунке, с помощью искусственной нейронной сети отслеживает целевые объекты на поверхности Земли.

Заключение

Разработанная библиотека алгоритмов и графический интерфейс служат для организации высокопроизводительной обработки данных от системы технического зрения БПЛА. Библиотека обеспечивает компромисс между точностью и быстродействием, поддержку динамического распределения нагрузки между имеющимися вычислительными ресурсами. Графический интерфейс удачно ее дополняет.

Включение контура интеллектуального управления и методов высокопроизводительной обработки потоков данных позволило создать новую технологию управления с максимальным уровнем надежности, расширить область применения робототехнических систем. Часть из реализованных алгоритмов используется в задачах обработки данных дистанционного зондирования Земли, в частности, для мониторинга пожаров и слежения за автомобильным транспортом с высоколетящих БПЛА.

Список литературы

- [1] А. С. Крылов, А. В. Насонов. *Компьютерное повышение разрешения изображений с использованием методов математической физики*, МАКС Пресс, М., 2011, 72 с. ↑ ⁶²
- [2] A. Cunningham, A. Fenster. “A Method for Modulation Transfer Function Determination from Edge Profiles with Correction for Finite-element Differentiation”, *Medical Physics*, **14**:4 (1987), pp. 533–537. ↑ ⁶²
- [3] Manoj Kumar Singh, Uma Shanker Tiwary, Young-Hoon Kim. “An Adaptively Accelerated Lucy-Richardson Method for Image Deblurring”, *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2008, Article ID 365021, 10 p. ↑ ⁶²
- [4] W. H. Richardson. “Bayesian-based Iterative Method of Image Restoration”, *Journal of the Optical Society of America*, **62**:1 (1972), pp. 55–59. ↑ ⁶²
- [5] L. B. Lucy. “An Iterative Techniques for the Rectification of Observed Distributions”, *Astronomical Journal*, **79**:6 (1974), pp. 745–754. ↑ ⁶²
- [6] Е. Е. Переславцева, М. В. Филиппов. «Метод ускоренного восстановления изображений, смазанных при движении», *Наука и образование*, 2012, №2, с. 77–90. ↑ ⁶²

- [7] G. L. Barrows, J. S. Chahl, M. V. Srinivasan. “Biologically Inspired Visual Sensing and Flight Control”, *Aeronautical Journal*, **107** (2003), pp. 159–268. [↑] [62](#)
- [8] D. G. Lowe. “Distinctive Image Features from Scale-invariant Keypoints”, *International Journal of Computer Vision*, **60:2** (2004), pp. 91–110. [↑] [62](#)
- [9] H. Bay, T. Tuytelaars, L. Van Gool. «Surf: Speeded Up Robust Features», *Computer Vision — ECCV 2006*, Springer, Berlin–Heidelberg, 2006, с. 404–417 (english). [↑] [62](#)
- [10] *FLANN — Fast Library for Approximate Nearest Neighbors*, URL: <http://www.cs.ubc.ca/~mariusm/index.php/FLANN/FLANN> [↑] [62](#)
- [11] Н. С. Абрамов, Д. А. Макаров, М. В. Хачумов. «Управление пространственным движением летательного аппарата по заданному маршруту», *Автоматика и телемеханика*, 2015, №6, с. 153–166. [↑] [62](#)
- [12] C. Szegedy, A. Toshev, D. Erhan. *Deep Neural Networks for Object Detection*, 2013, URL: <http://papers.nips.cc/paper/5207-deep-neural-networks-for-object-detection.pdf> [↑] [62](#)
- [13] В. М. Хачумов, В. П. Фраленко, Chen Guo Xian, Zhang Guo Liang. «Перспективы построения высокопроизводительной системы обработки данных дистанционного зондирования Земли», *Программные системы: теория и приложения*, 2015, №1, с. 121–133. [↑] [62](#)
- [14] А. С. Лебедев, В. П. Фраленко, Г. С. Чэн, Г. Л. Чжан. «Экспериментальное исследование задачи поиска сложных ригидных объектов в системе обработки космических снимков “ИС НСКИД”», *Современные проблемы науки и образования*, 2015, №1, URL: <http://www.science-education.ru/pdf/2015/1/1194.pdf> [↑] [62](#)
- [15] В. П. Фраленко. «Анализ спектрографических текстур данных дистанционного зондирования Земли», *Искусственный интеллект и принятие решений*, 2010, №2, с. 11–15. [↑] [63](#)
- [16] В. П. Фраленко. «Методы текстурного анализа изображений, обработка данных дистанционного зондирования Земли», *Программные системы: теория и приложения*, 2014, №4, с. 19–39. [↑] [63](#)
- [17] B. Fulkerson. *Really Quick Shift: Image Segmentation on a GPU (GPU Implementation of the QuickShift Algorithm)*, URL: <http://vision.ucla.edu/~brian/gpuquickshift.html> [↑] [63](#)
- [18] А. А. Талалаев. *Модели, алгоритмы и программно-инструментальные средства для организации конвейерно-параллельных вычислений на мультипроцессорных системах*, Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Институт программных систем им. А. К. Айламазяна Российской академии наук, Переславль-Залесский, 2012, 112 с. [↑] [64](#)

- [19] В. П. Фраленко, А. Ю. Агроник. «Средства, методы и алгоритмы эффективного распараллеливания вычислительной нагрузки в гетерогенных средах», *Программные системы: теория и приложения*, 2015, №3, с. 73–92. ↑⁶⁴
- [20] «Мультикор» — технология проектирования «СнК», URL: <http://multicore.ru/index.php?id=21> ↑⁶⁴
- [21] V. M. Khachumov. «Bit-parallel Algorithms and Devices», 11-th International Conference on Computer Graphics & Vision GRAPHICON'2001, 2001, с. 224–226 (english). ↑⁶⁴
- Рекомендовал к публикации *д.т.н., проф. В. М. Хачумов*

Об авторах:



Алексей Юрьевич Агроник

Инженер-исследователь ООО «Квадросистемс». Область научных интересов: информационно-телекоммуникационные системы, поисковые системы, полнотекстовый поиск, базы данных.

e-mail:

aleksey@agronik.im



Виталий Петрович Фраленко

К.т.н., старший научный сотрудник ИЦМС ИПС им. А.К. Айламазяна РАН. Область научных интересов: интеллектуальный анализ данных и распознавание образов, искусственный интеллект и принятие решений, параллельные алгоритмы, сетевая безопасность, диагностика сложных технических систем.

e-mail:

alarmod@pereslavl.ru

Пример ссылки на эту публикацию:

А. Ю. Агроник, В. П. Фраленко. «Библиотека алгоритмов высокопроизводительной обработки данных от системы технического зрения беспилотного летательного аппарата», *Программные системы: теория и приложения*, 2016, 7:2(29), с. 61–71.

URL: http://psta.psirras.ru/read/psta2016_2_61-71.pdf

Alexey Agronik, Vitaly Fralenko. *Library of high-performance algorithms for processing of data from unmanned aerial vehicle vision system.*

ABSTRACT. The paper describes the results of the work aimed at developing a library of high-performance implementations of algorithms for processing of data that received from the unmanned aerial vehicles. The results of experimental studies are presented. Article also presents a new interface for visual-block programming, that allowing to create some tasks schemas in the most convenient manner. (in Russian).

Key words and phrases: UAV, image processing, navigation, parallel algorithm.

References

- [1] A. S. Krylov, A. V. Nasonov. *Computer images upscaling with mathematical physics methods*, MAKS Press, M., 2011 (in Russian), 72 p.
- [2] A. Cunningham, A. Fenster. "A Method for Modulation Transfer Function Determination from Edge Profiles with Correction for Finite-element Differentiation", *Medical Physics*, **14**:4 (1987), pp. 533–537.
- [3] Manoj Kumar Singh, Uma Shanker Tiwary, Young-Hoon Kim. "An Adaptively Accelerated Lucy-Richardson Method for Image Deblurring", *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 2008, Article ID 365021, 10 p.
- [4] W. H. Richardson. "Bayesian-based Iterative Method of Image Restoration", *Journal of the Optical Society of America*, **62**:1 (1972), pp. 55–59.
- [5] L. B. Lucy. "An Iterative Techniques for the Rectification of Observed Distributions", *Astronomical Journal*, **79**:6 (1974), pp. 745–754.
- [6] E. E. Pereslavceva, M. V. Filippov. "Method of Fast Restoration Images Blurred by Motion", *Science & Education*, 2012, no.2, pp. 77–90 (in Russian).
- [7] G. L. Barrows, J. S. Chahl, M. V. Srinivasan. "Biologically Inspired Visual Sensing and Flight Control", *Aeronautical Journal*, **107** (2003), pp. 159–268.
- [8] D. G. Lowe. "Distinctive Image Features from Scale-invariant Keypoints", *International Journal of Computer Vision*, **60**:2 (2004), pp. 91–110.
- [9] H. Bay, T. Tuytelaars, L. Van Gool. "Surf: Speeded up robust features", *Computer Vision — ECCV 2006*, Springer, Berlin–Heidelberg, 2006, pp. 404–417.
- [10] *FLANN — Fast Library for Approximate Nearest Neighbors*, URL: <http://www.cs.ubc.ca/~mariusm/index.php/FLANN/FLANN>
- [11] N. S. Abramov, D. A. Makarov, M. V. Khachumov. "Controlling Flight Vehicle Spatial Motion Along a Given Route", *Autom. Remote Control*, **76**:6 (2015), pp. 1070–1080.
- [12] C. Szegedy, A. Toshev, D. Erhan. *Deep Neural Networks for Object Detection*, 2013, URL: <http://papers.nips.cc/paper/5207-deep-neural-networks-for-object-detection.pdf>
- [13] V. M. Khachumov, V. P. Fralenko, Chen Guo Xian, Zhang Guo Liang. "Construction Perspectives of the Remote Sensing Data High-Performance Processing System", *Program Systems: Theory and Applications*, 2015, no.1, pp. 121–133 (in Russian).

- [14] A. S. Lebedev, V. P. Fralenko, G. S. Chjen, G. L. Chzhan. “Experimental Study of Complex Rigid Objects Search Problem in the Satellite Images Processing System “PS NSKID””, *Sovremennyye problemy nauki i obrazovanija*, 2015, no.1 (in Russian), URL: <http://www.science-education.ru/pdf/2015/1/1194.pdf>
- [15] V. P. Fralenko. “Spectrographic Texture Analysis for Earth Remote Sensing Data”, *Artificial Intelligence and Decision Making*, 2010, no.2, pp. 11–15 (in Russian).
- [16] V. P. Fralenko. “Methods of Image Texture Analysis, Earth Remote Sensing Data Processing”, *Program Systems: Theory and Applications*, 2014, no.4, pp. 19–39 (in Russian).
- [17] B. Fulkerson. *Really Quick Shift: Image Segmentation on a GPU (GPU Implementation of the QuickShift Algorithm)*, URL: <http://vision.ucla.edu/~brian/gpuquickshift.html>
- [18] A. A. Talalaev. *Models, Algorithms, Software and Tools for Organizing Pipeline-parallel Computations on Multiprocessor Systems*, Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskijh nauk, Institut programmnyh sistem im. A.K. Ajlamazjana Rossijskoj akademii nauk, Pereslavl-Zalesskij, 2012 (in Russian), 112 p.
- [19] V. P. Fralenko, A. Ju. Agronik. “Tools, Methods and Algorithms for the Efficient Parallelization of Computational Loading in Heterogeneous Environments”, *Program Systems: Theory and Applications*, 2015, no.3, pp. 73–92 (in Russian).
- [20] ““Multikor” — designing technology “SnK”” (in Russian), URL: <http://multicore.ru/index.php?id=21>
- [21] V. M. Khachumov. “Bit-parallel Algorithms and Devices”, 11-th International Conference on Computer Graphics & Vision GRAPHICON’2001, 2001, pp. 224–226.

Sample citation of this publication:

Alexey Agronik, Vitaly Fralenko. “Library of high-performance algorithms for processing of data from unmanned aerial vehicle vision system”, *Program systems: theory and applications*, 2016, 7:2(29), pp. 61–71. (In Russian).

URL: http://psta.psir.ru/read/psta2016_2_61-71.pdf