

21. Lin S.Y. High-performance InAs/GaAs quantum dot infrared photodetectors with a single-sided Al<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>As blocking layer, *Appl. Phys. Lett.*, 2001, Vol. 78, pp. 2784-2786.
22. Chen Z.H. Normal incidence InAs/Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>As quantum dot infrared photodetectors with undoped active region, *J. Appl. Phys.*, 2001, Vol. 89, pp. 4558-4563.

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н., профессор В.Н. Лозовский.

**Блохин Эдуард Евгеньевич** – Южно-Российский государственный политехнический университет им. М.И. Платова (НПИ); e-mail: holele@mail.ru; 346428, г. Новочеркасск, ул. Провсешения, 132; тел.: 89185678145, 89185678145; базовая кафедра ЮНЦ РАН «Нанотехнология в электронике»; аспирант; ассистент.

**Пашченко Александр Сергеевич** – Южный научный центр Российской академии наук; e-mail: as.pashchenko@gmail.com; 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41; тел.: 88635255459; старший научный сотрудник лаборатории кристаллов и структур для твердотельной электроники ЮНЦ РАН.

**Blokhin Eduard Evgenyevich** – Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI); e-mail: holele@mail.ru; 346428, Novocherkassk, Prosveshcheniya st., 132; phone: +79185678145; base chair Southern Scientific Center RAS «Nanotechnology in electronics»; graduate student; assistant.

**Pashchenko Alexander Sergeevich** – Southern Scientific Center RAS; e-mail: as.pashchenko@gmail.com; 344006, Rostov-on-Don, pr. Chekhov, 41; phone: +78635255459; senior researcher, laboratory of crystals and structures for solid-state electronics, Southern Scientific Center RAS; cand. of phys. and math. sc.

УДК 004.932.2

**Б.А. Алпатов, П.В. Бабаян, О.Е. Балашов, А.А. Баранцев, А.Б. Фельдман**

### **ТЕХНОЛОГИЯ АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ\***

*Рассматривается решение задачи обеспечения безопасности полетов летательных аппаратов с помощью системы технического зрения. Источником изображений является один видеодатчик, установленный на борту летательного аппарата. Повышение безопасности полетов понимается как снижение ситуационной неопределенности вокруг летательного аппарата. В научно-техническом плане решение данной проблемы заключается в разработке технических средств мониторинга окружающей обстановки. Технология анализа позволяет в автоматическом режиме обнаруживать опасные ситуации. Для летательных аппаратов опасным считается сближение с другими воздушными средствами и птицами, с поверхностью земли, с высотными строениями и линиями электропередач. Для повышения безопасности полетов с помощью эффективного применения других авиационных систем описываемая технология осуществляет распознавание воздушных и наземных объектов и визуальных ориентиров. По результатам анализа информации об окружающей прострaнстве вокруг летательного аппарата принимается решение о наличии опасности столкновения, выбирается наиболее опасная ситуация и прогнозируется время до столкновения. Бортовая система технического зрения может предупредить экипаж о возникновении опасности столкновения, подсказать местоположение важных ориентиров: взлетно-посадочной полосы, диспетчерских вышек, линий электропередач или полностью контролировать окружающую обстановку и движение воздушного средства, например, для движения по оптимальной траектории полета. Обнаружение и распознавание наземных объектов и визуальных ориентиров основано на сопоставлении данных видеосъемки, выпол-*

\* Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ, идентификатор проекта RFMEFI57414X0056 (соглашение от 27 июня 2014 г. №14.574.21.0056).

няемой с борта воздушного средства, с данными цифровой модели местности или цифровых моделей объектов, соответствующих текущим навигационным параметрам. Обнаружения на изображении линий электропередач производится с помощью модифицированного преобразования Радона. Для предотвращения столкновения с воздушными объектами требуется путем анализа видеопоследовательности осуществлять автоматическое обнаружение различных воздушных объектов. Используемый алгоритм работает в реальном масштабе времени и эффективно обнаруживает воздушные объекты в последовательности кадров даже при существенном изменении размеров объектов, возникающем при сближении. Обнаружение воздушных объектов происходит в несколько этапов. На первом этапе производится предварительное обнаружение объектов-кандидатов, на следующих этапах производится подтверждение полученных результатов и восстановление формы объекта. Для распознавания воздушных объектов вычисляется дескриптор внешнего контура, по которому из известного множества определяется класс воздушного объекта.

*Изображение; техническое зрение; обнаружение; оценка параметров; распознавание; безопасность полетов; обнаружение препятствий; программный комплекс.*

**B.A. Alpatov, P.V. Babayan, O.E. Balashov, A.A. Barancev, A.B. Feldman**

### **IMAGE ANALYSIS TECHNOLOGY FOR AIRCRAFT TECHNICAL VISION SYSTEMS**

*In this paper we propose a solution to ensure the aircraft safety by using of the technical vision system of aircraft. On board the aircraft mounted only one video sensor, which is source of image. To improve aircraft safety should be reduced situational uncertainty surrounding the aircraft. In the scientific and technical point of view to avoid collisions are required development of technical means for environment monitoring. The technology of image analysis allows automatically detect dangerous situations and avoid collisions. For the aircrafts the approach to other airplanes and birds, the approach to the surface of the earth, high buildings and power lines are dangerous situations. To improve safety through effective use of other aircraft systems this technology provides identification of air and ground objects and visual cues. Based on the analysis of the surrounding space around an aircraft is decided there is danger of collision, selected the most dangerous situation and predicted time to collision. Board vision system can warn the crew of the occurrence of a risk of collision, and give the location of important landmarks: the runway, control tower, power lines or completely control their environments and the movement of aircraft, such for driving on the optimal flight path. Detection and identification of ground objects and visual landmarks is made by comparing the video sensor data installed on board the aircraft, with the data of a digital elevation model and digital models of objects corresponding to the current navigation parameters. A detection of the power line on the images is made by using a modified Radon transform. To avoid collisions are necessary automatically detect aircrafts in the image sequence. The algorithm works in real time and effectively detect aerial objects in the image sequence even when the sizes of objects change rapidly, for example, when approaching. Detection of air objects occurs in several stages. The first step is a preliminary detection of candidate objects. The next stage is the confirmation of previous results and restore the object's shape. To identify air objects are calculated handle external outline, by which is determined the aircraft class.*

*Image; machine vision; object detection; recognition; air safety; obstacle detection system.*

**Введение.** В современном мире авиация представляется не только как средство перевозки людей и грузов на большие расстояния, но и как средство решения множества практических задач, связанных с контролем и мониторингом. Летательные аппараты (ЛА) применяются для аэрофотосъемки, разведки, обнаружения пожаров, контроля автомобильного движения и общественного порядка, проведения сельскохозяйственных работ. Во многом на решение подобных задач ориентированы аппараты малой авиации, поступательный импульс развитию которой в Российской Федерации дан принятием новых Федеральных правил использования воздушного пространства [1].

С развитием малой авиации и появлением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) все более возрастает необходимость в модернизации законодательства и регламентирующих актов в части упрощения процедуры согласования полетов в городской черте и вблизи основных воздушных трасс [2, 3]. Изменения в правилах выполнения полетов могли бы способствовать более активному применению авиации для решения широкого спектра практических задач. Одним из препятствий на пути подобных изменений в настоящий момент является невозможность обеспечить достаточно высокую безопасность маловысотных полетов [4]. Исходя из этого, повышение безопасности полетов представляет собой актуальную проблему, решение которой могло бы качественно изменить характер применения и существенно повысить спрос на летательные аппараты малой и средней авиации. В научно-техническом плане решение данной проблемы заключается в разработке технических средств мониторинга за кабиной обстановки, позволяющих в автоматическом режиме обнаруживать опасные ситуации, связанные со сближением летательного аппарата с посторонними наземными и воздушными объектами, и осуществлять распознавание объектов и визуальных ориентиров с целью повышения эффективности применения авиационных систем.

По правилам международной организации гражданской авиации [5] опасными ситуациями, способными привести к серьезным авиационным инцидентам или происшествиям, являются:

- ◆ сближение с другими ЛА;
- ◆ сближение с землей;
- ◆ сближение с высотными строениями (зданиями, трубами);
- ◆ столкновение с проводами;
- ◆ столкновение с птицами.

Для обеспечения безопасности полетов в современных условиях недостаточно мер организационного характера, связанных с повышением уровня подготовки летчиков. Не меньшую роль в борьбе с авиационными происшествиями играет использование специальных технических устройств, способных предупредить экипаж летательного аппарата о возможном столкновении, подсказать ему местоположение важных ориентиров: взлетно-посадочной полосы, диспетчерских вышек, линий электропередач, либо полностью взять на себя задачу анализа окружающей ЛА обстановки, например, для выбора оптимальной траектории полета.

Для обнаружения возникновения указанных опасных ситуаций необходимо обеспечить решение следующих основных задач:

- ◆ обнаружение, распознавание и оценка параметров визуальных наземных ориентиров;
- ◆ обнаружение, распознавание и оценка параметров воздушных объектов, находящихся в зоне видимости системы технического зрения (СТЗ) ЛА.
- ◆ обнаружение опасных ситуаций, связанных со сближением ЛА с другими объектами.

В настоящее время существует ряд технических средств, направленных на обеспечение безопасности полета и предотвращение опасных ситуаций. К ним относятся бортовая система предупреждения столкновений (TCAS), система предупреждения об опасности сближения с землей (TAWS), система улучшенного и синтезированного видения (EVS, CVS). Необходимо отметить, что указанные технические средства не лишены недостатков:

- ◆ эффективность применения TCAS определяется наличием подобной системы на других летательных аппаратах, поэтому с ее помощью невозможно предотвратить столкновение с птицами;

- ◆ система TAWS не способна обнаруживать опасное сближение с высотными зданиями и сооружениями, и, следовательно, малоэффективно ее применение на вертолетах, которые, как правило, летают по правилам визуальных полетов;
- ◆ системы EVS/ CVS предназначены для улучшения восприятия пилотом кабиной обстановки и не имеют функций автоматического анализа наблюдаемой сцены на предмет возможностей возникновения опасных ситуаций.

В научно-технической литературе, посвященной тематике осуществления маловысотных полетов, наиболее часто встречаются решения на основе радиолокационных средств наблюдения [6]. В последнее время появляются разработки на основе использования методов лазерной локации (лидаров) [7]. Однако, несмотря на преимущества (непосредственное измерение расстояния до объектов сцены) подобных средств наблюдения, они обладают заметными недостатками, в основном связанными со значительными массогабаритными показателями или высоким энергопотреблением. В свою очередь датчики видеоизображений достаточно компактны и позволяют формировать изображения высокого контраста и с хорошим разрешением на местности. При этом характеристики современной элементной базы позволяют реализовать на борту летательного аппарата достаточно сложные алгоритмы анализа изображений [8].

Данная работа направлена на расширение номенклатуры технических средств, предназначенных для обеспечения безопасности полетов и снижения ситуационной неопределенности.

**1. Алгоритмы обнаружения, распознавания и оценки параметров наземных объектов и визуальных ориентиров на изображениях бортовой видеосъемки.** В основе алгоритмов обнаружения, распознавания и оценки параметров наземных объектов и визуальных ориентиров лежит принцип сопоставления данных видеосъемки, выполняемой с борта ЛА, с данными цифровой модели местности (ЦММ) или цифровых моделей объектов (ЦМО), которые соответствуют навигационным параметрам ЛА в текущий момент времени. Для обнаружения линейно-протяженных визуальных ориентиров (береговые линии, сеть дорог, взлетно-посадочные полосы) используется трехмерная ЦММ. Для обнаружения и распознавания высотных зданий и сооружений используются предварительно подготовленные трехмерные ЦМО.

Для решения задачи обнаружения, распознавания и оценки параметров объектов применяется метод нечеткой кластеризации изображения [9], полученного от видеодатчика СТЗ ЛА. Кластеризация в широком смысле может быть определена как процесс объединения элементов данных в группы, члены которых подобны друг другу по некоторому признаку [10]. Таким образом, кластер – это набор областей, которые похожи между собой и отличаются от областей, принадлежащих к другим кластерам.

Результатом работы алгоритма кластеризации является контурный препарат наблюдаемого изображения. Для решения задач обнаружения, распознавания и оценки параметров наземных объектов необходимо контуры на изображении, полученном от СТЗ, совместить с контурами изображений, синтезированных с использованием ЦММ и ЦМО. Задача совмещения контуров может быть сформулирована как задача оценивания параметров взаимных геометрических преобразований [11, 12].

Пример совмещения наблюдаемого изображения с картой местности и распознавания наблюдаемых объектов приведен на рис. 1.

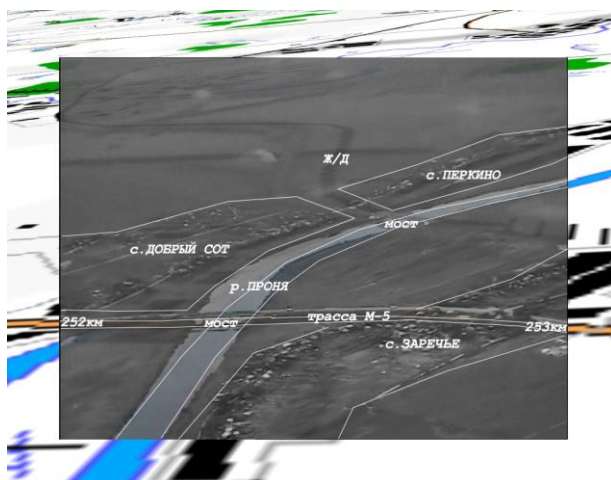


Рис. 1. Результат совмещения наблюдаемого изображения с картой местности и распознавания наблюдаемых объектов

**2. Алгоритм обнаружения линий электропередач.** Задача обнаружения линий электропередач (ЛЭП) на изображении неразрывно связана с более общей задачей обнаружения прямолинейных границ на изображении. Для обнаружения прямолинейных границ часто применяют преобразования Радона [13, 14]. Применение преобразования Радона подразумевает обработку исходного изображения каким-либо детектором границ. В дальнейшем изображение подвергается преобразованию, результат которого содержит локальные максимумы, предположительно соответствующие какой-либо прямой на исходном изображении.

Преобразование Радона не позволяют в полной мере решить проблему различения провода ЛЭП и прямолинейной границы, т.к. преобразование Радона не учитывает направление градиента. В данной работе предлагается модификация преобразования Радона, учитывающая не только перпендикулярность градиента прямой интегрирования, но и направление градиента. Это позволяет детектировать ЛЭП по признаку, в соответствии с которым изображение провода содержит два близко расположенных яркостных перепада, сопоставимых по модулю, но противоположных по направлению.

**3. Алгоритмы обнаружения и оценки параметров воздушных объектов.** В бортовых системах обработки изображений зачастую требуется решать задачу автоматического обнаружения различных объектов. В данной работе предполагается, что изображения формируются оптико-электронной станцией, наблюдающей различные летательные аппараты, перемещающиеся на фоне ясного или облачного неба. Проблема своевременного обнаружения подобных объектов является крайне актуальной, например, в системах предупреждения столкновения беспилотных летательных аппаратов в воздухе. Данное направление начало активно развиваться в последнее десятилетие в связи с широким использованием небольших мобильных беспилотных аппаратов для патрулирования и мониторинга воздушного пространства [15].

В [16] авторами был предложен алгоритм обнаружения воздушных объектов, работающий в реальном масштабе времени и нашедший применение на практике. Однако алгоритму свойственен недостаток – эффективность решения задачи заметно снижается при существенном изменении размеров объектов в последовательности кадров в силу его неинвариантности к действию геометрических преобразований масштабирования. В данной работе предлагается модернизированный подход, повышающий качество обнаружения в данных условиях наблюдения.

Основная идея заключается в создании многоэтапного алгоритма, основанного на предварительном обнаружении объектов-кандидатов с последующим подтверждением полученных результатов и восстановлением формы объекта. На первом этапе выполняется построение гауссовской пирамиды изображений и предварительный поиск объектов на каждом масштабном уровне с использованием разработанного ранее подхода. Этап предварительного обнаружения необходим для подавления шума и уменьшения вычислительной трудоемкости на последующих этапах обработки. Как правило, при несоответствии формы объекта и размеров пространственного оператора наблюдается образование множественных близкорасположенных сегментов на бинарных изображениях. Анализируя характер фрагментации сегментов на разных уровнях, можно построить зону интереса, содержащую искомых объект. В данной области затем выполняется более трудоемкая процедура сегментации для выделения контура объекта. Для этого предложены два альтернативных подхода: первый построен на основе метода активных контуров без предварительного нахождения границ [17], второй – на основе детектора границ Канны. Первый вариант требует выполнения нескольких проходов изображения, но гарантирует замкнутость контура, второй – более простой, но нуждается в дополнительном прослеживании границ объекта. Для уменьшения избыточности полученного контурного описания вычисляются признаки, на основе которых выполняется межкадровое сопоставление объектов. Вычисленные признаки также могут использоваться алгоритмом распознавания для отнесения объекта к одному из заданных классов.

В данной работе распознавание объектов понимается как определение типа воздушного объекта из известного набора объектов (самолёты, вертолёты, беспилотные аппараты, птицы). Особый интерес представляет проблема создания систем распознавания, работающих в реальном масштабе времени. Разработка таких систем может быть полезна для решения таких задач, как поиск и спасение в чрезвычайных ситуациях, контроль воздушного движения, предотвращение аварийных ситуаций на транспорте.

Наибольшее распространение среди существующих методов распознавания воздушных объектов получили методы, основанные на классификации контуров объектов, присутствующих на изображении [18]. Среди них можно выделить методы на основе дескрипторов Фурье [19], сравнения контуров с помощью инвариантных моментов Ху, вычисления дескриптора внешнего контура [20]. Названные методы распознавания инвариантны к повороту и сдвигу изображения объекта. Однако методы на основе дескрипторов Фурье и моментов Ху обладают плохой точностью и имеют большую вычислительную сложность. Метод распознавания на основе дескриптора внешнего контура легок в реализации, нетребователен к ресурсам, довольно точен и инвариантен к сдвигу, повороту и масштабу. Моменты Ху и дескрипторы Фурье чувствительны к аддитивному шуму, который влияет на текстуру и значения яркости точек объекта, что может приводить к значительным ошибкам при распознавании однотипных объектов. Дескриптор внешнего контура лишен этого недостатка, однако он чувствителен к изменению освещенности объекта. Таким образом, для распознавания воздушных объектов целесообразно использовать метод, основанный на вычисления дескриптора внешнего контура.

Метод распознавания воздушных объектов, основанный на вычислениях дескриптора внешнего контура, заключается в том, что по изображению можно определить к какому из классов воздушных объектов из известного множества можно отнести рассматриваемый объект. Для всех объектов, из рассматриваемого множества, известна 3D-модель, которая используется в вычислениях на этапе обучения. Непосредственно на этапе распознавания объектов используются вычисленные дескрипторы внешнего контура для каждого возможного объекта, при этом информация о 3D-модели объектов уже не требуется.

Результаты обнаружения воздушных объектов и выделения их контуров показаны на рис. 2.

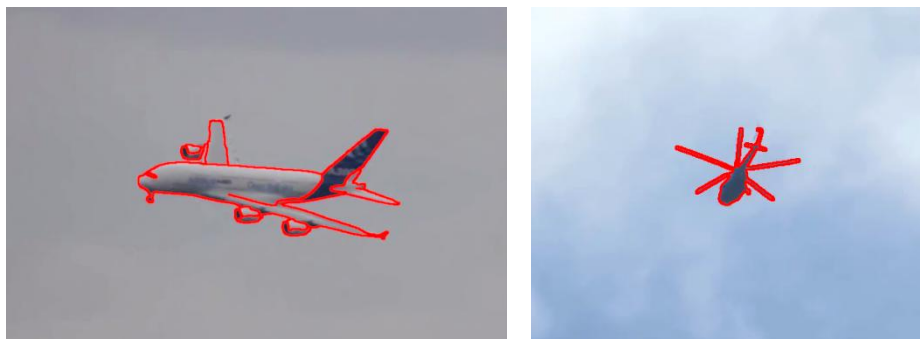


Рис. 2. Результаты обнаружения воздушных объектов

#### 4. Алгоритм обнаружения и оценки параметров наземных препятствий.

Алгоритм обнаружения и оценки параметров наземных высотных сооружений (препятствий) основан на анализе последовательности видеок кадров, формируемых одним видеодатчиком. В бортовых оптико-механических системах (ОМС) датчик изображений обычно крепится на внутренней рамке карданного подвеса, устанавливаемого в носовой части носителя (летательного аппарата). Предполагается, что в моменты формирования видеок кадров имеется информация о скорости движения носителя, его координатах и ориентации в пространстве. Также известны углы поворота рамок кардана. Вращение видеодатчика относительно носителя осуществляется оператором или какими-либо бортовыми системами, например, системой автоматического сопровождения объектов по видеоданным [11].

Задачи обнаружения препятствий перед ЛА могут решаться при вращающемся ВД и при отсутствии вращения рамок кардана. Однако, в любом случае, в моменты формирования видеок кадров необходима информация об ориентации ВД относительно носителя. В некоторых случаях ВД может быть жестко закреплен на носителе. Наличие одного ВД на носителе не позволяет использовать методы стереозрения для обнаружения препятствий, поэтому носитель вместе с ВД должен совершать поступательное движение. В результате получим изображения объектов, попадающих в поле зрения и возможно являющихся препятствиями, с разных ракурсов.

Наземными препятствиями при маловысотных полетах обычно являются неподвижные высотные сооружения (высотные здания, башни, столбы, башенные краны), расположенные на поверхности земли. Обнаруживать в поле зрения ВД возвышающиеся над поверхностью земли препятствия можно путем анализа их изображений в последовательности видеок кадров.

Предлагаемый алгоритм обнаруживает возвышающиеся объекты над поверхностью земли по последовательности видеок кадров, сформированных одним видеодатчиком. Результатом работы алгоритма являются направления на высотный объект, дальность до объекта, оценка его геометрических размеров (высота, ширина). При таком подходе ошибки определения дальности увеличиваются по мере приближения к центру поля зрения. Однако этот факт не оказывает влияния на алгоритм обнаружения препятствий, так как препятствия имеют достаточно большие размеры на изображениях и могут быть обнаружены по более удаленным от центра точкам.

Точность обнаружения высотных сооружений зависит от скорости носителя, дальности до препятствий, их расположения относительно ВД. Данные параметры влияют на скорость изменения угловых координат точек объекта при движении но-

сителя. При низкой скорости изменения угловых координат точек объекта для ее увеличения и повышения точности работы алгоритма следует выбирать более длинную предысторию видеокadres. На точность вычисления высоты анализируемых точек на изображении сильное влияние оказывают ошибки дискретизации изображений, датчиков углов поворота рамок кардана, датчиков высоты и ориентации носителя, а также ошибки сопоставления точек на анализируемых видеокadres.

На рис. 3 показаны графический интерфейс модуля для обнаружения наземных препятствий и результаты обнаружения препятствий.

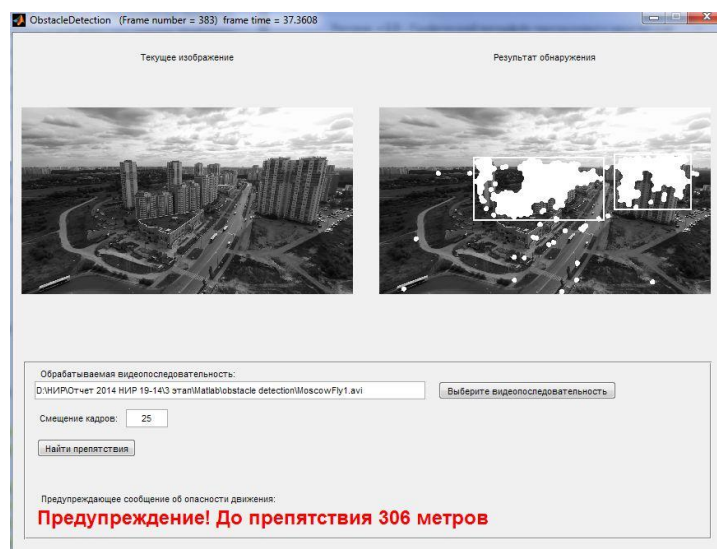


Рис. 3. Результаты обнаружения наземных препятствий

**Заключение.** Предложенная технология анализа изображений для СТЗ ЛА была реализована в виде программно-аппаратного комплекса, содержащего две базы данных для хранения цифровых моделей местности и объектов. На рис. 4 приведена схема взаимодействия программных модулей, входящих в состав программно-аппаратного комплекса.



Рис. 4. Схема взаимодействия программных модулей



Результаты проведенных экспериментальных исследований подтверждают эффективность разработанной технологии анализа изображений для обнаружения и оценки параметров наземных и воздушных объектов, обнаружения опасных ситуаций, связанных со сближением летательного аппарата с другими объектами.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Постановление правительства РФ № 138 от 11 марта 2010 г. «Об утверждении федеральных правил использования воздушного пространства российской федерации».
2. *Шибяев, В. Шнырев А., Буя В.* Беспилотные авиационные системы: безопасность полетов и критические-факторы // *Аэрокосмический курьер*. – 2011. – № 1. – С. 55-58.
3. *Алешин Б.С., Суханов В.Л., Шибяев В.М.* Обеспечение безопасности полетов беспилотных авиационных систем в едином воздушном пространстве // *Труды ЦАГИ*. – 2011. – Т. XLII, № 6. – С. 73-83.
4. *Никифорова Л.Н., Яковлев К.С.* Маловысотный полет вертолета и проблемы его автоматизации // *Искусственный интеллект и принятие решений*. – 2009. – № 3. – С. 42-48.
5. Руководство по управлению безопасностью полетов – ИКАО, 2013. – 300 с.
6. *Канащенков А.И., Мойбенко В.И., Карацан С.В.* Повышение качества радиолокационной информации при маловысотном полете // *Радиотехника*. – 2009. – № 8. – С. 48-54.
7. *Johnson E.N. et al.* Flight testing of nap of-the-earth unmanned helicopter systems // 67th American Helicopter Society International Annual Forum, Virginia Beach, Virginia. – 2011. – P. 3180-3192.
8. *Алпатов Б.А., Блохин А.Н., Костяшкин Л.Н., Романов Ю.Н., Шапка С.В.* Семейство многофункциональных систем обработки видеоизображений "Охотник" // *Цифровая обработка сигналов*. – 2010. – № 4. – С. 44-51.
9. *Bezdek J.C.* Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms. – New York: Plenum Press, 1981. – 256 p.
10. *Jain A., Murty M., Flynn P.* Data clustering: A review // *ACM Computing Surveys*. – 1999. – Vol. 31, No. 3. – P. 264-323.
11. *Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Балашов О.Е., Степашкин А.И.* Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление. – М.: Радиотехника, 2008. – 176 с.
12. *Smith S.W.* The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. – California Technical Pub, 1997. – 626 p.
13. *Toft P.A.* The Radon Transform: Theory and Implementation, PhD Thesis // Technical University of Denmark, 1996.
14. *Candamo J., Kasturi R., Goldgof D. and Sarkar S.* Detection of Thin Lines Using Low Quality Video from Low Altitude Aircraft in Urban Settings" // *IEEE Transactions on aerospace and electronic systems*. – July 2009. – Vol. 45, No. 3.
15. *Nussberger A. and others.* Aerial Object Tracking from an Airborne Platform // *International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*. – 2014. – P. 1284-1293.
16. *Алпатов Б.А., Блохин А.Н., Муравьев В.С.* Алгоритм обработки изображений для систем автоматического сопровождения воздушных объектов // *Цифровая обработка сигналов*. – 2010. – № 4. – С. 12-17.
17. *Chan T.F., Vese L.A.* A Multiphase level set framework for image segmentation using the Mumford and Shah model // *International Journal of Computer Vision*. – 2002. – Vol. 50 (3). – P. 271-293.
18. *Kumar B.V.K.V., Mahalanobis A., Juday R.D.* Correlation pattern recognition. – Cambridge University Press, 2005. – 402 p.
19. *Wong W.T., Shih F.Y. and Liu J.* Shape-based image retrieval using support vector machines, Fourier descriptors and self-organizing maps // *International Journal of Information Sciences*. – 2007. – No. 177 (8). – P. 1878-1891.
20. *Алпатов Б.А., Бабаян П.В., Смирнов С.А., Масленников Е.А.* Алгоритм предварительного оценивания пространственной ориентации объекта с помощью дескриптора внешнего контура // *Цифровая обработка сигналов*. – 2014. – № 3. – С. 43-46.

REFERENCES

1. Postanovlenie pravitel'stva RF № 138 ot 11 marta 2010 g. «Ob utverzhdenii fede-ral'nykh pravil ispol'zovaniya vozdušnogo prostranstva rossiyskoy federatsii» [Russian Federation Government Resolution № 138 dated March 11, 2010 "On approval of the federal rules of use of air space of the Russian Federation"].
2. Shibaev V. Shnyrev A., Bunya V. Bepilotnye aviatsionnye sistemy: bezopasnost' poletov i kriticheskie-faktory [Unmanned Aircraft Systems: flight safety and critical factors], *Aerokosmicheskiy kur'er* [Aerospace Courier], 2011, No. 1, pp. 55-58.
3. Aleshin B.S., Sukhanov V.L., Shibaev V.M. Obespechenie bezopasnosti poletov bepilotnykh aviatsionnykh sistem v edinom vozdušnom prostranstve [Ensuring the safety of unmanned aircraft systems in flight common aviation area], *Trudy TsAGI* [Proceedings CAGI], 2011, Vol. XLII, No. 6, pp. 73-83.
4. Nikiforova L.N., Yakovlev K.S. Malovysotnyy polet vertoleta i problemy ego avtomatizatsii [Low-altitude flight of the helicopter and its automation problems], *Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy* [Artificial intelligence and decision-making], 2009, No. 3, pp. 42-48.
5. Rukovodstvo po upravleniyu bezopasnost'yu poletov – ICAO, 2013 [Safety Management Manual – ICAO, 2013], 300 p.
6. Kanashchenkov A.I., Moybenko V.I., Karashchan S.V. Povyshenie kachestva radiolokatsionnoy informatsii pri malovysotnom polete [Increase radar data quality in low-altitude flight], *Radiotekhnika* [Radio engineering], 2009, No. 8, pp. 48-54.
7. Johnson E.N. et al. Flight testing of nap-of-the-earth unmanned helicopter systems, *67th American Helicopter Society International Annual Forum, Virginia Beach, Virginia*, 2011, pp. 3180-3192.
8. Alpatov B.A., Blokhin A.N., Kostyashkin L.N., Romanov Yu.N., Shapka S.V. Semeystvo mnogofunktsional'nykh sistem obrabotki videoizobrazheniy "Okhotnik" [The family of multi-function image processing system "Hunter"], *Tsifrovaya obrabotka signalov* [Digital signal processing], 2010, No. 4, pp. 44-51.
9. Bezdek J.C. Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms. New York: Plenum Press, 1981, 256 p.
10. Jain A., Murty M., Flynn P. Data clustering: A review, *ACM Computing Surveys*, 1999, Vol. 31, No. 3, pp. 264-323.
11. Alpatov B.A., Babayan P.V., Balashov O.E., Stepashkin A.I. Metody avtomaticheskogo obnaruzheniya i soprovozhdeniya ob"ektov. Obrabotka izobrazheniy i upravlenie [Methods of automatic detection and tracking of objects. Image Processing and Management]. Moscow: Radiotekhnika, 2008, 176 p.
12. Smith S.W. The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. California Technical Pub, 1997, 626 p.
13. Toft P.A. The Radon Transform: Theory and Implementation, PhD Thesis, *Technical University of Denmark*, 1996.
14. Candamo J., Kasturi R., Goldgof D. and Sarkar S. Detection of Thin Lines Using Low Quality Video from Low Altitude Aircraft in Urban Settings", *IEEE Transactions on aerospace and electronic systems*, July 2009, Vol. 45, No. 3.
15. Nussberger A. and others. Aerial Object Tracking from an Airborne Platform, *International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, 2014, pp. 1284-1293.
16. Alpatov B.A., Blokhin A.N., Murav'ev V.S. Algoritm obrabotki izobrazheniy dlya sistem avtomaticheskogo soprovozhdeniya vozdušnykh ob"ektov [Image processing algorithm for automatic tracking systems of air objects], *Tsifrovaya obrabotka signalov* [Digital signal processing], 2010, No. 4, pp. 12-17.
17. Chan T.F., Vese L.A. A Multiphase level set framework for image segmentation using the Mumford and Shah model, *International Journal of Computer Vision*, 2002, Vol. 50 (3), pp. 271-293.
18. Kumar B.V.K.V., Mahalanobis A., Juday R.D. Correlation pattern recognition. Cambridge University Press, 2005, 402 p.
19. Wong W.T., Shih F.Y. and Liu J. Shape-based image retrieval using support vector machines, Fourier descriptors and self-organizing maps, *International Journal of Information Sciences*, 2007, No. 177 (8), pp. 1878-1891.

20. *Alpatov B.A., Babayan P.V., Smirnov S.A., Maslennikov E.A.* Algoritm predvaritel'nogo otsenivaniya prostranstvennoy orientatsii ob"ekta s pomoshch'yu deskriptora vneshnego kontura [Prior estimation algorithm spatial orientation of the object via outer contour descriptor], *Tsifrovaya obrabotka signalov* [Digital signal processing], 2014, No. 3, pp. 43-46.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор М.Ю. Медведев.

**Алпатов Борис Алексеевич** – Рязанский государственный радиотехнический университет; e-mail: [aitu@rsreu.ru](mailto:aitu@rsreu.ru); 390005, Рязань, ул. Гагарина, 59/1; тел.: +74912460342; кафедра автоматизации и информационных технологий в управлении; д.т.н.; профессор.

**Бабаян Павел Вартанович** – кафедра автоматизации и информационных технологий в управлении; к.т.н.; доцент.

**Балашов Олег Евгеньевич** – кафедра автоматизации и информационных технологий в управлении; к.т.н.; доцент.

**Фельдман Александр Борисович** – кафедра автоматизации и информационных технологий в управлении; к.т.н.; доцент.

**Баранцев Александр Александрович** – Государственный Рязанский приборный завод; e-mail: [hunter-rzn@yandex.ru](mailto:hunter-rzn@yandex.ru); 390000, Рязань, ул. Семинарская, 32; тел.: +74912298380; научно-конструкторский центр видеокomпьютерных технологий; к.т.н.; научный сотрудник.

**Alpatov Boris Alekseevich** – Ryazan State Radio Engineering University; e-mail: [aitu@rsreu.ru](mailto:aitu@rsreu.ru); 59/1, Gagarina street, Ryazan, 390005, Russia; phone: +74912460342; the department of automatics and information technology; dr. of eng. sc.; professor.

**Babayan Pavel Vartanovich** – the department of automatics and information technology; cand. of eng. sc.; associate professor.

**Balashov Oleg Evgenevich** – the department of automatics and information technology; cand. of eng. sc.; associate professor.

**Feldman Alexander Borisovich** – the department of automatics and information technology; cand. of eng. sc.; associate professor.

**Barancev Aleksandr Aleksandrovich** – Ryazan State Instrument-making Enterprise; e-mail: [hunter-rzn@yandex.ru](mailto:hunter-rzn@yandex.ru); 32, Seminarskaya street, Ryazan, 390000, Russia; phone: +74912298380; Scientific and Design Center of videodata processing; cand. of eng. sc.; researcher.

УДК 004.021

**А.А. Кочкаров, Д.В. Яцкин, О.А. Рахманов**

### **ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА\***

*Формулируется задача мониторинга ограниченного пространства. Устанавливается связь между мониторингом пространства и обнаружением объектов на этом пространстве. После введения некоторых допущений делается вывод о необходимости решения задачи покрытия множества (связного пространства). Характерной особенностью рассматриваемой задачи является наличие в зоне мониторинга препятствий. Под препятствием понимается связная область пространства, в каждой точке которого невозможно размещение какого-либо объекта. Тем не менее, поскольку препятствия могут лежать в зоне мониторинга, решение задачи предполагает покрытие зоны мониторинга в том числе и в точках препятствий. Предлагается использование одноранговой сети мобильных робо-*

\* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект № 16-01-00342 а).