

12. *Бурдинский И.Н., Карабанов И.В., Линник М.А., Миронов А.С.* Метод порогового детектирования гидроакустического шумоподобного фазоманипулированного сигнала / 13-я Международная конференция «Цифровая обработка сигналов и ее применение – DSPA-2011»: доклады. – М., 2011 – Вып. XIII-1. – С.180-183.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор С.В. Сай.

**Карабанов Иван Вячеславович** – Институт проблем морских технологий Дальневосточного отделения Российской Академии наук; e-mail: i.v.karabanov@mail.ru; 690091, г. Владивосток, ул. Суханова, 5а; тел.: 84232432416; стажер-исследователь.

**Бурдинский Игорь Николаевич** – e-mail: igor\_burdinsky@mail.ru; к.т.н.; доцент.

**Миронов Андрей Сергеевич** – e-mail: mirandrei@gmail.com; м.н.с.

**Karabanov Ivan Vyacheslavovich** – Institute of Marine Technology Problems of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences; e-mail: i.v.karabanov@mail.ru; 5a, Sukhanov street, Vladivostok, 690091, Russia; phone: +74232432416; trainee-tester.

**Burdinskiy Igor Nikolayevich** – e-mail: igor\_burdinsky@mail.ru; cand. of eng. sc.; associate professor.

**MironovAndrei Sergeevich** – e-mail: mirandrei@gmail.com; junior researcher.

УДК 004.896, 004.932.2, 004.823

**С.М. Соколов, А.А. Богуславский, М.Г. Гаврилов, О.В. Трифонов**

#### **МЕТОДИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТЕРЕОСИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ВИДЕНИЯ ДЛЯ НАЗЕМНЫХ МОБИЛЬНЫХ СРЕДСТВ\***

*Рассматриваются методические аспекты построения стереосистем реального времени, от выбора оптической системы до формирования аппаратно-программной архитектуры вычислительной системы. Анализируются возможности реализации стереосистем реального времени для использования в составе наземных мобильных комплексов. Описываются примеры решения практических задач из области обеспечения движения транспортного средства по дороге, оперативного картографирования, контроля объектов инфраструктуры железной дороги.*

*Система технического зрения; стереосистемы; калибровка; архитектура бортовых систем; реальное время; навигация.*

**S.M. Sokolov, A.A. Boguslavsky, M.G. Gavrilov, O.V. Trifonov**

#### **METHODICAL AND PRACTICAL ASPECTS OF COMPUTER VISION STEREOSYSTEMS FOR LAND VEHICLES USE**

*In the paper methodical aspects of the computer real time stereosystems construction, from a choice of optical system up to the formation of hardware-software architecture of the computing system are considered. Possibilities of the real time stereosystems realization for use as a part of land vehicle complexes are analyzed. Examples of the practical problems decision from area of driver assistant system maintenance of a vehicle movement on road, operative mapping, control of the railway infrastructure objects are described.*

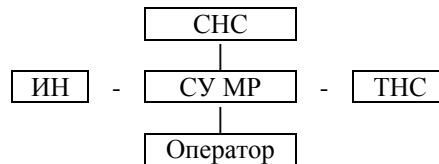
*Vision system; stereosystem; calibration; architecture of onboard systems; real time; navigation.*

---

\* Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты №№ 11-08-01045, 11-08-13166-офи\_м\_РЖД, 12-08-12030-офи\_м.

**Введение.** Из всех составляющих информационного обеспечения мобильных средств системы технического зрения (СТЗ) являются наиболее перспективными и активно развиваемыми в последние годы. Свидетельством тому всё возрастающее количество публикаций на эту тему, включая патенты [1–3, 21–28], результаты и мнение победителей соревнований автономных наземных транспортных средств DARPA challenge 2005–2007 [4–6]. 220 раздел американского закона о национальной обороне 2001 г. устанавливает цель для вооруженных сил: к 2015 г. иметь одну треть их эксплуатационных наземных боевых машин, в беспилотном исполнении.

Основная задача, на решение которой направлено большинство исследований СТЗ транспортных средств (ТС), – навигационное обеспечение. При решении этой задачи системой управления транспортного средства задействуются все составляющие так называемого «навигационного креста» (рис. 1). Из этих составляющих навигационного креста СНС и инерциальные навигационные системы, наиболее продвинуты и имеют успешные образцы их интегрированного микроисполнения. Менее исследованы и требуют больших усилий, но являются наиболее перспективными – системы подкорректировки по ориентирам на основе визуальной информации (ТНС) и слежение за ориентирами в ИН.



*Рис. 1. Схема «навигационный крест»: СНС – спутниковая глобальная радионавигационная система; ТНС – традиционная навигационная система, включающая в себя процессы счисления пути (инерциальная навигация, одометрия и подкорректировка по ориентирам); ИН – интерпретирующая навигация*

Среди возможных компоновок систем технического зрения наиболее востребованными и перспективными для навигационных задач являются стереосистемы. Эти системы позволяют в пассивном режиме (собирая и анализируя лучистую энергию, от объектов окружающего пространства) определять расположение объектов в пространстве. Заметим, что стереосистемы могут быть реализованы на камерах чувствительных в любых спектральных диапазонах.

Следует отметить то обстоятельство, что потребности практических навигационных задач выдвигают противоречивые требования к средствам аппаратной поддержки как в части средств сбора зрительных данных (интегральные датчики изображения), так и в части их обработки (вычислительные средства). Одним из главных преимуществ СТЗ является охват больших областей окружающего пространства, определяемых оптической системой видеодатчика. Поэтому в большинстве случаев потребитель желает использовать наибольший угол обзора. С другой стороны, в анализируемой области пространства необходимо обеспечить высокую точность регистрации положения и размеров объектов интереса. Отсюда возникают два требования: учесть искажения, которые возникают при передаче оптического потока из окружающего пространства на плоскость преобразователя свет-сигнал (дисторсия); разделить образ наблюдаемой области пространства на как можно большее число частей – элементов изображения/пикселей для точного позиционирования образов объектов на изображении. Кроме того, при работе со стереосистемой необходимо точно знать взаимное расположение камер в составе системы.

Как показывает анализ потребностей практических задач [11], для того чтобы обеспечить необходимую точность измерения координат и размеров объектов с помощью стереоизображений, требуется пространственное разрешение изображе-

ний порядка 2 000 элементов по каждому измерению. Такое количество данных для обработки в масштабе реального времени (темпе движения) даже для самых современных бортовых вычислительных средств оказывается неприемлемо большим. Существующие программно-аппаратные решения обеспечивают решение в масштабе реального времени только отдельных этапов обработки зрительных данных или работу с системами низкого разрешения. Вместе с тем уже известны аппаратные средства сбора и обработки зрительных данных высокого разрешения, на основе которых возможно создание стереосистем, решающих законченные задачи с высокой точностью в реальном времени. Требуется рациональная программно-аппаратная реализация алгоритмов сбора и обработки зрительных данных. Именно этой проблеме – компоновке стереосистем, эффективно решающих задачи информационного обеспечения наземных транспортных средств и посвящается описываемое исследование.

**Общая схема работы со стереосистемой.** В большинстве навигационных задач требуется осмотр окружающего пространства с целью выделения в нём объектов – ориентиров, определение их пространственного положения или расположения транспортного средства относительно этих ориентиров. Кроме того, возможно требование слежения за этими ориентирами в процессе движения ТС в соответствии с условиями согласования информационно-двигательных действий, необходимыми для данного ТС с повышенной степенью автономности [7]. Подобные же требования встают перед системами геодезической привязки, целеуказания, измерения объектов в областях, прилегающих к маршруту следования ТС.

Для того чтобы обеспечить решение этих задач с помощью стереосистем должны быть сформированы программно-аппаратные средства, реализующие сбор и обработку зрительных данных в заданном временном масштабе и выполнены ряд подготовительных действий. Подготовительные действия заключаются в калибровке каждой видеокамеры в составе стереопары и калибровке взаимного расположения видеокамер/ректификации стереосистемы. Решение основной задачи – выделения объектов интереса в поле зрения стереосистемы и определение их пространственных координат, разбивается на несколько этапов.

Схема компоновки программно-аппаратных средств цифровых стереосистем выглядит примерно так (рис. 2). Подробно эта схема будет обсуждена в следующих частях статьи.

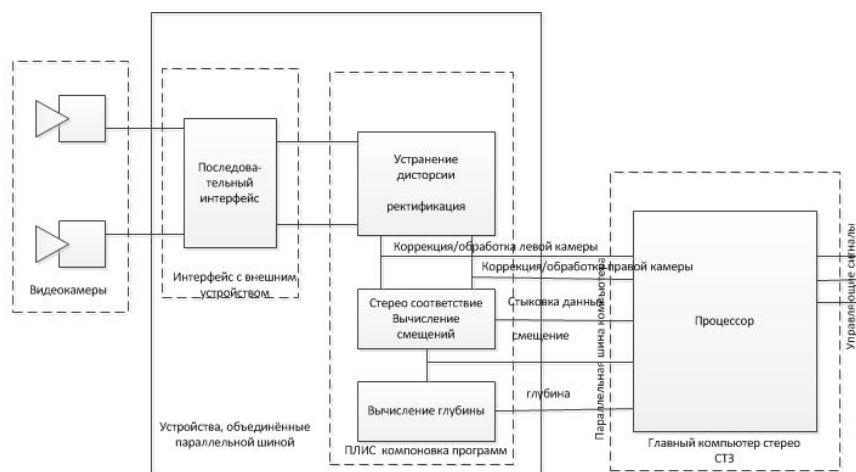


Рис. 2. Схема компоновки программно-аппаратных средств цифровых стереосистем

В дальнейшем изложении будем придерживаться следующей структуры в описании алгоритмического обеспечения (АО) зрительных систем. *Нижний уровень*: уровень пиксельной/поэлементной обработки зрительных данных. Выделение локальных признаков изображения. *Средний уровень*: уровень обработки признаков нижнего уровня. Выделение локальных особенностей изображения. *Верхний уровень*: уровень обработки особенностей изображения. Распознавание и работа с образами объектов на изображении.

**Подготовительные действия.** Масштаб реального времени в процессе калибровки стереосистемы не столь строг, как в действия в процессе движения ТС. Это обстоятельство позволяет в компоновке алгоритмов калибровки перенести акцент на точность и достоверность. Тем не менее, в практике использования стереосистем, особенно с большой базой между камерами (требующих сворачивания/разворачивания), удобство и оперативность проведения подготовительных действий заслуживают внимания [18]. Реализация известных алгоритмов калибровки [24] возможна с использованием универсального главного компьютера стерео СТЗ (рис. 2). Качество калибровки каждой камеры и стереосистемы в целом являются одними из определяющих факторов в точности и скорости измерений, проводимых с помощью стереосистемы [18].

**Алгоритмы нижнего уровня.** Эта часть АО является наиболее ресурсоёмкой, так как требуется обработка большого числа элементов изображения. В анализе, проведённом на доступной отечественной аппаратной базе, были подтверждены выводы западных авторов о том, что АО нижнего уровня эффективней реализуется на основе перепрограммируемых логических интегральных схем (ПЛИС). В процессе исследования возможностей применения цифровых сигнальных процессоров [17] была выявлена проблема реализации на DSP-ядрах доступных процессоров алгоритмов, требующих произвольного доступа к памяти с видеоданными, например, такой необходимой операции, как вычисление гистограммы изображения. Известны приёмы решения этой и подобных проблем с помощью аппаратуры на базе ПЛИС. В существующих решениях уже обеспечивается реализация АО нижнего уровня для ввода и обработки изображений традиционного (не повышенного разрешения) цифрового ТВ с частотой до 50 Гц [18–20].

**Алгоритмы среднего уровня.** Целью алгоритмов этого уровня является выделение локальных особенностей изображения на основе обработки признаков нижнего уровня. В задачах навигационного обеспечения ТС одно из направлений составляет одновременное определение положения ТС и составление карты окружающей местности. В англоязычной литературе – Simultaneous Localization And Mapping (SLAM). С точки зрения сбора и обработки зрительных данных – это задача «привязки» к местности, в которой априори не выделены ориентиры и карта которой неизвестна. Выделение признаков нижнего уровня на изображении неизвестной сцены даёт множество характерных точек (определяющих положение признака). Количество таких точек достаточно велико, а в процессе движения ТС от изображения к изображению они активно перемещаются и не позволяют осуществить надёжную привязку ТС к окружающей местности (рис. 3).

Для эффективного решения задачи SLAM применяется дополнительная обработка (алгоритмы среднего уровня), выделяющая устойчивые совокупности признаков нижнего уровня. Эти совокупности/особенности берутся в качестве ориентиров в окружающем пространстве, используются для построения карты местности и определения текущего положения ТС. Выделение указанных особенностей в обоих полях зрения стереосистемы в масштабе реального времени, как и нахождение признаков нижнего уровня, требует аппаратных средств, которыми могут быть как ПЛИС, так и цифровые сигнальные процессоры или их сочетание с

возможностью оперативного перепрограммирования. Подобная организация аппаратных средств представлена на рис. 2. За счёт общей шины специальные средства обработки (ПЛИС) оперативно управляются главным процессором. На подобной аппаратной базе могут быть реализованы различные алгоритмы сопоставления изображений стереопар.

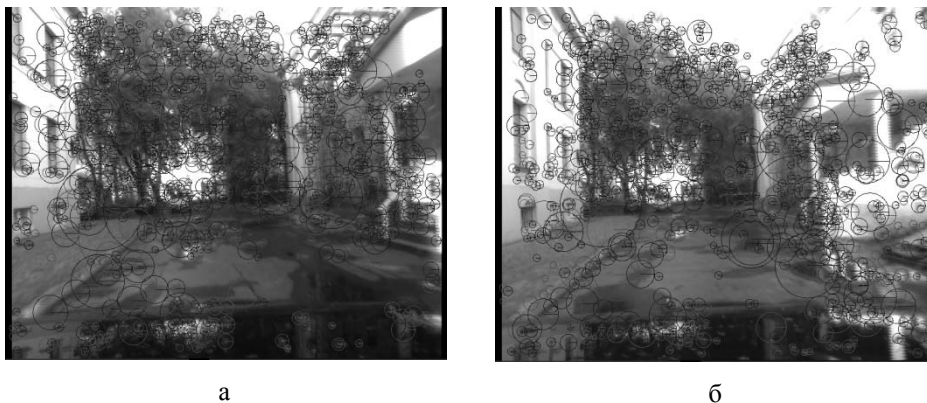


Рис. 3. Пример нахождения характерных точек алгоритмом нижнего уровня (SIFT детектор) на последовательности изображений в процессе движения ТС

Была разработана специальная программа, позволяющая исследовать алгоритмы формирования устойчивых особенностей изображения на основе фильтрации характерных точек, найденных алгоритмами нижнего уровня (рис. 4). С помощью этой программы было показано, что даже в сложных условиях наблюдения сложных объектов, при корректной нормировке анализируемых изображений, включая признаки нижнего уровня, удаётся обеспечить нахождение устойчивых особенностей, которые позволяют производить стереоизмерения.

Исследовался алгоритм обработки зрительных данных в задаче слежения за образом объекта на изображении в виде связной области точек. Целью исследования было определение возможности реализации этого алгоритма на базе многоядерного микропроцессора Мультикор. Алгоритм был преобразован в форму, необходимую для загрузки в этот процессор и протестирован на процессоре Мультикор. Результаты экспериментов показали, что обеспечивается обработка изображения ТВ-растра (128x64x256) с частотой 200 Гц, при этом возможна загрузка и изображений более высокого разрешения (до 2 мегапикселей) с пропорциональным изменением частоты обработки. Тем самым показана возможность использования процессоров названного семейства для реализации алгоритмов среднего уровня обработки видеоданных.

**Алгоритмы верхнего уровня.** Основная задача этой части АО – распознавание и работа с образами объектов на изображении. В алгоритмах верхнего уровня сосредоточена «интеллектуальность» анализа зрительных данных. Востребованными чертами АО верхнего уровня является богатство и гибкость выбора/маневрирования между моделями внешней среды с учётом априорной информации. Богатство моделей обеспечивается эффективным (по объёму и скорости доступа) способом представления. Гибкость обеспечивается универсальностью процессора, возможностью перепрограммировать аппаратные средства поддержки АО нижнего и среднего уровней и оперативно маневрировать при обработке изображений между уровнями обработки.

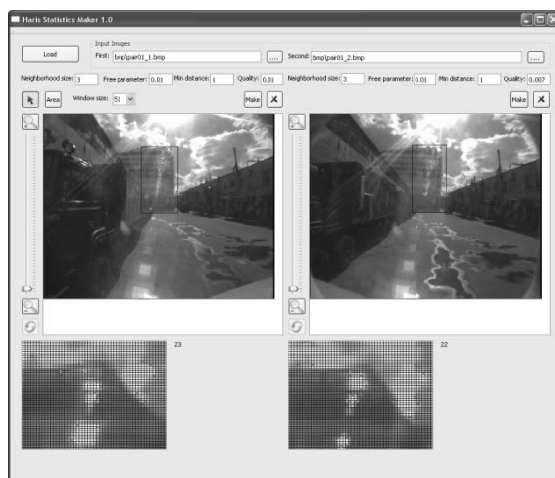


Рис. 4. Пример панели программы для исследования алгоритмов выделения особенностей на изображениях стереосистем. В изображении городской сцены на основе детектора Харриса выделена локальная особенность – линия окон высотного дома

В качестве примеров подобных алгоритмов приведём результаты выделения образов стыковочного узла и специальной мишени в процессе автоматизированного мониторинга процессов сближения и стыковки космического корабля и международной космической станцией.

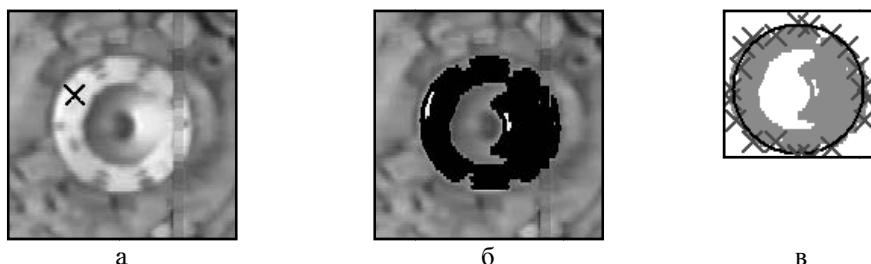


Рис. 5. Выделение признака-кандидата на стыковочный узел в окрестности точечного признака-кандидата на принадлежность образу стыковочного узла (поступает от других стадий обработки видеопоследовательности): а – местоположение точечного признака на фрагменте исходного полутонового изображения; б – маска образа стыковочного узла, полученная с помощью алгоритма заполнения растровой области в окрестности наращиваемого признака; в – граничные точки маски (отмечены крестообразными маркерами), используемые для грубой оценки центра и радиуса стыковочного узла

Программное обеспечение всех уровней отличается унификацией, что позволяет оперативно выделять части для аппаратной реализации в том или ином исполнении (ПЛИС, ЦСП, универсальный процессор) [13, 14].

**Результаты экспериментов и оценки точностей.** Задача определения координат объектов решалась с помощью стереосистем установленных на мобильном комплексе для оперативного картографирования [15]. Характеристики используемых стереосистем следующие: стереобазы 145 см; цифровые изображения с видеокамер 720x576x256; оптическая система формирует общее поле зрения в 88°. Стереосистемы калиброваны и

ректифицированы, измерения проводились в автоматизированном режиме, в котором объект интереса в одном из полей зрения указывался оператором, а все остальные действия выполнялись автоматически (рис. 6). Точность определения координат и размеров объектов, расположенных на расстояниях до 100 м, составила 2 %.

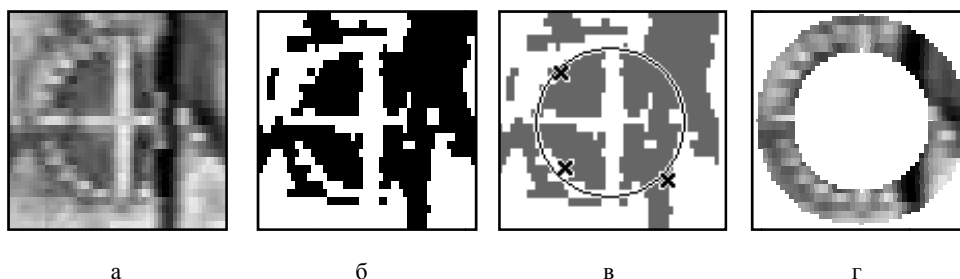


Рис. 6. Примеры изображений, используемых для уточнения диаметра стыковочной мишени и местоположения угловых меток: а – обрабатываемый фрагмент полутонового изображения; б – бинарное изображение обрабатываемого фрагмента; в – местоположение ступенчатых краев, обнаруживаемых в диагональных линейных профилях, и окружность, аппроксимирующая контур мишени; г – содержимое кольцевой маски для поиска образов угловых меток

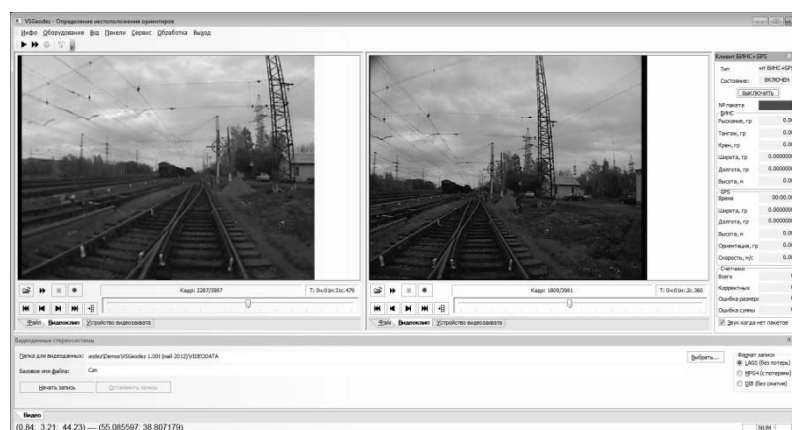
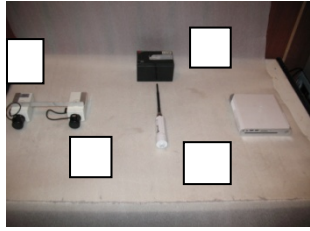


Рис. 7. Основная экранная форма управляющей программы стерео модуля

Для контроля объектов инфраструктуры железной дороги разработан стереомодуль высокого разрешения (рис. 7) с характеристиками: стереобаза 20 см цифровые изображения с видеокамер 1900x1020xRGB; оптическая система формирует общее поле зрения в 60° [19–20].

На этом модуле проводились эксперименты с целью выделения в движении средних и длинных неровностей пути. В АО модуля анализируются близкие и далёкие участки пути в поле зрения (рис. 9). В проведённых экспериментах такие расстояния составляли около 10 м близкое и 100–150 м далёкое. На расстоянии 10 м стереомодуль высокого разрешения позволяет определять взаимное расположение рельсовых нитей и отдельные дефекты/отклонения геометрических размеров с точностью в 1–1,5 мм. На расстояниях в 100–200 м, с учётом построения непрерывной модели пути стереосистема способна выделять дефекты с точностями 3–4 мм.



1 – стереокамера; 2 – Wi-Fi передатчик; 3 – вычислительно-управляющий блок; 4 – блок питания – аккумулятор

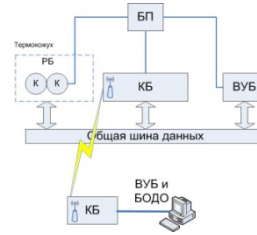


Схема соединений модуля СТЗ со стереосистемой

Рис. 8. Компоновка аппаратной части ж/д модуля СТЗ со стереосистемой и его схема



Рис. 9. Пример поля зрения одной из камер стереопары. Красной линией отмечена граница ближней, а жёлтой – дальней зоны анализа изображения пути

Возможность компоновки стереосистемы на основе видеокамер ИК диапазона была продемонстрирована на монокулярной системе «в помощь водителю». На обработку поступало оцифрованное тепловизионное изображение  $640 \times 480 \times 256$ . Оптическая система ( $40 \times 53$ ) не вносила искажений, требующих коррекции. С вероятностью обнаружения более 0,9 на основе унифицированной системы сбора и обработки зрительных данных [14], система выдавала управляющие сигналы необходимые для движения транспортного средства со скоростью до 10 км/ч вдоль обочины по лесной дороге (рис. 10). При движении транспортного средства в городских условиях (до 60 км/ч), при отношении сигнал/шум более 10 и частотой кадров 10 Гц, система интеллектуального управления идентифицировала опасные ситуации различных типов: встречное движение, препятствия, опасное боковое расположения и т.д. Точность определения положения порядка 0,1 м. Выделенные в монокулярной системе объекты позволяют идентифицировать их в бинокулярной системе. Дополнительная информация о дальности информации (за счёт бинокулярности) ещё больше увеличивает надежность результатов и позволяет перейти к автоведению.



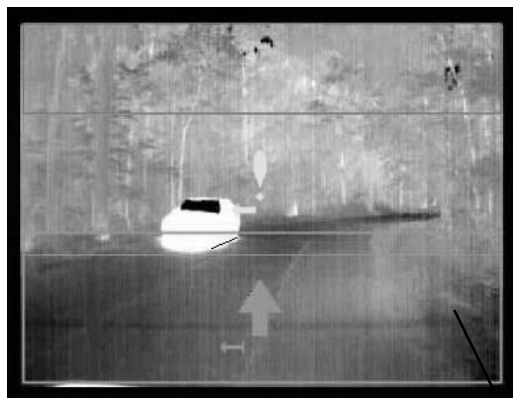


Рис. 10. Отображение сигнальной информации в системе интеллектуального управления транспортными средствами

**Заключение.** В работе предложены, описаны и обсуждены методические и практические вопросы создания стереосистем мобильных средств на основе систем компьютерного зрения. Показано, что уровень развития средств формирования видеоданных, вычислительных и коммуникационных средств, в объединении со специализированным программно-алгоритмическим обеспечением, позволяет создавать информационные системы для мобильных систем на основе стерео зрительных данных. Эффективность предложенных подходов и решений подтверждается примерами успешной реализации в действующих комплексах.

Вместе с тем, выявлена необходимость развития аппаратной реализации известных алгоритмов сбора и обработки зрительных данных. На следующих этапах исследований предполагается активное использование ПЛИС в средствах аппаратной поддержки, переход к анализу данных стереопар высокого разрешения в масштабе реального времени, миниатюризация аппаратных средств и более полная автономность систем анализа окружающей ТС-обстановки.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Boguslaw Cyganek*. A Real-Time Vision System for Traffic Signs Recognition Invariant to Translation, Rotation and Scale. ACIVS 2008. – P. 278-289.
2. *Ratheesh Kalarot and John Morris*. Comparison of FPGA and GPU implementations of Real-time Stereo Vision. The University of Auckland, Auckland, New Zealand, 2011.
3. *Morris et al.* Real-time stereo image matching system. US patent. Pub. No.: US 2011/0091096 A1.
4. *Donna Miles*. DARPA Grand Challenge to Showcase Unmanned Vehicle Technology. American Forces Press Service.
5. <http://hexus.net/ce/features/general/10354-intel-sponsored-teams-take-one-two-darpaunmanned-vehicle-race/> James Smith. Intel-sponsored teams take one and two in DARPA unmanned vehicle race. 9 November 2007, 08:49.
6. [http://www.youtube.com/watch?v=FLi\\_IQgCxbo](http://www.youtube.com/watch?v=FLi_IQgCxbo) DARPA – Stanford Stanley Vision System 15.01.2008.
7. *Платонов А.К., Зуева Е.Ю., Кирильченко А.А., Соколов С.М.* Формальные подходы к проектированию алгоритмов информационного обеспечения мобильных систем (выбор пути, навигация, надёжность). – М.: Препринт Института прикладной математики им. Келдыша РАН, 2008. – № 19. – 32 с.
8. *Богуславский А.А., Кирильченко А.А., Платонов А.К., Соколов С.М., Трифионов О.В., Ярошевский В.С.* Построение описания внешней среды в системах информационного обеспечения мобильных робототехнических комплексов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2008. – № 12. – С. 50, приложение с. 15-24.

9. Sokolov S.M., Boguslavsky A.A., Platonov A.K., Kiy K.I., Gorelik L.I., Filachev A.M., Fumin A.I. An IR Channel-Based Automated Driver Assistance System. Proc. 12th Intern. Conf on Systemics, Cybernetics and Informatics (WMSCI 2008), Orlando, Florida, USA, June 29-July 2, 2008. – Vol. I. – P. 126-131.
10. Платонов А.К., Соколов С.М., Богуславский А.А., Трифонов О.В. Многофункциональная система информационного обеспечения транспортных средств // Сборник материалов Международной конференции «Прогресс транспортных средств и систем-2009». – Волгоград, 13-15 октября 2009. – С. 95-96.
11. Платонов А.К., Соколов С.М., Сазонов В.В., Богуславский А.А., Трифонов О.В., Куфтин Ф.А., Васильев А.И., Моксин К.А. Программно-аппаратный комплекс средств навигации мобильных систем // Вопросы оборонной техники. Серия 9. Специальные системы управления, следящие приводы и их элементы. – 2010. – № 1-2. – С. 47-55.
12. Соколов С.М., Платонов А.К., Богуславский А.А., Куфтин Ф.А., Моксин К.А. Бесконтактная одометрия в составе бортовых навигационных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 3 (104). – С. 64-68.
13. Соколов С.М., Богуславский А.А. Компонентные технологии отладки для систем технического зрения реального времени. Труды Первой Всероссийской научной конференции "Методы и средства обработки информации". – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 1-3 октября 2003. – С. 304-310.
14. Соколов С.М., Богуславский А.А. Компонентный каркас для разработки программного обеспечения систем технического зрения реального времени. Труды Второй Всероссийской научной конференции "Методы и средства обработки информации". – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 5-7 октября 2005. – С. 337-343.
15. Соколов С.М., Богуславский А.А., Васильев А.И., Трифонов О.В., Назаров В.Г., Фролов Р.С. Мобильный комплекс для оперативного создания и обновления навигационных карт // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 3 (116). – С. 157-166.
16. Sokolov S.M., Boguslavsky A.A. Intellectual Images Processing for a Realtime Recognition Problem. // Proc. The 2nd Intern. Multi-Conf. on Complexity, Informatics and Cybernetics (WMSCI 2009), Orlando, Florida, USA, March 27th-30th, 2011, Orlando, Florida, USA. – Vol. II. – P. 406-411.
17. Vasilyev A.I., Boguslavskiy A.A., Sokolov S.M. Parallel SIFT-detector implementation for images matching. // Proc. of the 21st Conference on Computer Graphics and Vision, GraphiCon'2011, September 26-30, 2011. – P. 173-176.
18. Соколов С.М., Богуславский А.А., Васильев А.И., Трифонов О.В., Назаров В.Г., Фролов Р.С. Методические и практические аспекты разработки систем компьютерного видения для навигации и измерений // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 3 (128). – С. 76-85.
19. Соколов С.М., Богуславский А.А., Трифонов О.В. Интеллектуальные модули системы технического зрения для оперативного определения состояния и контроля объектов инфраструктуры железной дороги. Труды 2-й международной научно-практической конференции «Интеллектуальные системы на транспорте» (IntellectTrans-2012). – СПб., 28-31 марта 2012. – С. 346-355.
20. Соколов С.М., Богуславский А.А., Трифонов О.В. Компьютерное видение в составе систем интеллектуального управления на железнодорожном транспорте. Труды первой научно-технической конференции «Интеллектуальные системы управления на железнодорожном транспорте» ИСУЖТ-2012, 15-16 ноября 2012. – М.: ОАО «НИАС», 2012.
21. Darabiha J. Rose and MacLean W.J. Video-rate stereo depth measurement on programmable hardware // in CVPR. IEEE Computer Society, 2003. – P. 203-210. [Online]. Available: <http://csdl.computer.org/comp/proceedings/cvpr/2003/1900/01/190010203abs.htm>.
22. Park S. and Jeong H. Real-time stereo vision fpga chip with low error rate," in MUE '07: Proceedings of the 2007 International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2007. – P. 751-756.
23. Morris J., Jawed K., Gimel'farb G. and Khan T. Breaking the 'ton': Achieving 1% depth accuracy from stereo in real time // in Image and Vision Computing NZ, D. Bailey, Ed. IEEE CS Press, 2009.

24. *Brown D.C.* Calibration of close-range cameras. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, ISP Congress, Ottawa. – 1972. – № 19 (5). – 26 p.
25. *Wang L., Liao M., Gong M.L., Yang R. G. and Nister D.* High-quality real-time stereo using adaptive cost aggregation and dynamic programming // in Proc. International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission, 2006. – P. 798-805. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1109/3DPVT.2006.75>.
26. *Gong M.L. and Yang Y.H.* Real-time stereo matching using orthogonal reliability-based dynamic programming // IEEE Trans. Image Processing. – Mar. 2007. – Vol. 16, №. 3. – P. 879-884. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1109/TIP.2006.891344>.
27. *Asano S., Maruyama T. and Yamaguchi Y.* Performance comparison of fpga, gpu and cpu in image processing // in International Conference on Field Programmable Logic and Applications, 2009. FPL 2009, 2009. – P. 126-131.
28. *Gimel'farb G.L.* Probabilistic regularisation and symmetry in binocular dynamic programming stereo // Pattern Recognition Letters. – 2002. – Vol. 23, № 4. – P. 431-442.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.Х. Пшихопов.

**Соколов Сергей Михайлович** – Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН; e-mail: [sokolism@keldysh.ru](mailto:sokolism@keldysh.ru); 125047, г. Москва, Миусская пл., 4; тел.: 84992507994; д.ф.-м.н.; профессор; ведущий научный сотрудник.

**Богуславский Андрей Александрович** – e-mail: [anbg@mail.ru](mailto:anbg@mail.ru); д.ф.-м.н.; доцент; старший научный сотрудник.

**Трифонов Олег Всеволодович** – e-mail: [tob@mail.ru](mailto:tob@mail.ru); к.т.н.; старший научный сотрудник.

**Гаврилов Максим Георгиевич** – e-mail: [gavrimax@mail.ru](mailto:gavrimax@mail.ru); аспирант.

**Sokolov Sergey Mikhailovich** – Keldysh Institute of applied mathematics of Russian Academy of Sciences; e-mail: [sokolism@keldysh.ru](mailto:sokolism@keldysh.ru); 4, Miusskaya sq., Moscow, 125047, Russia; phone: +74992507994; dr. of phys.-math. sc.; professor; leading scientist.

**Boguslavskii Andrey Alexandrovich** – e-mail: [anbg@mail.ru](mailto:anbg@mail.ru); dr. of phys.-math. sc.; associate professor.

**Trifonov Oleg Vsevolodovich** – e-mail: [tob@mail.ru](mailto:tob@mail.ru); cand. of eng. sc.

**Gavrilov Maxim Georgievich** – e-mail: [gavrimax@mail.ru](mailto:gavrimax@mail.ru); postgraduate student.

УДК 619.192

**В.К. Абросимов, В.И. Гончаренко**

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ И МАНЕВРИРОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ**

*Рассматривается принципиально новый подход к решению широкого класса баллистических задач по определению движения летательных аппаратов в условиях противодействующей внешней среды, направленный на определение, прогнозирование движения и противодействие атаке. Обоснована применимость построения моделей движения и маневрирования для таких задач на основе нейронных сетей. Подход эффективен для построения специализированных имитационных моделей обнаружения и отражения атаки группировок разнотипных летательных аппаратов при неопределенности их обликов и стратегий использования.*

*Нейронные сети; летательный аппарат; движение; маневрирование; имитационная модель.*