

Раздел II. Управление, навигация и наведение

УДК 004.896, 004.932.2, 004.823

С.М. Соколов, А.А. Богуславский, А.И. Васильев, О.В. Трифонов

МЕТОДИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО ВИДЕНИЯ ДЛЯ НАВИГАЦИИ И ИЗМЕРЕНИЙ*

Рассматриваются методические и практические аспекты оснащения мобильных средств системами компьютерного видения для решения навигационных и измерительных задач. Описывается общая схема программно-алгоритмического обеспечения комплексной информационной системы на основе компьютерного видения для мобильных средств. Рассматриваются принципы построения подобных систем, обсуждаются возможные варианты программно-аппаратных компоновок. Выделяются вопросы автоматизации операций калибровки отдельных составляющих измерительной части и объединения данных разнородных систем. Приводятся примеры реализации комплексной информационной системы для навигационных и измерительных задач.

Система технического зрения; глобальная и локальная навигации; архитектура бортовых систем; компонентное программирование; реальное время; бесконтактные измерения.

S.M. Sokolov, A.A. Boguslavsky, A.I. Vasilyev, O.V. Trifonov

METHODICAL AND PRACTICAL ASPECTS OF COMPUTER VISION DESIGN FOR NAVIGATION AND MEASUREMENTS

In article methodical and practical aspects of mobile means equipment by systems of computer vision for the decision of navigating and measuring problems are considered. The general scheme of software-algorithmic maintenance of complex information system on the basis of computer vision for mobile means is described. Principles of similar systems construction are considered, possible variants of hardware-software configurations are discussed. Questions of automation of calibration operations and association of the given diverse systems are allocated. Examples of realization of complex information system for navigating and measuring problems are resulted.

Vision system; global and local navigation; onboard systems architecture; component programming; contactless measurements; complex navigation.

Введение. Целенаправленное перемещение мобильных средств невозможно без решения навигационной задачи. При управлении движением с участием человека эта задача довольно успешно решается начиная с первых мореплавателей и путешественников. Для обеспечения навигации автоматических устройств также известно много удачных решений, использующих инерциальные навигационные системы, ультразвуковые системы, радары, лидары, спутниковые навигационные системы. Большинство этих решений предполагает движение в больших открытых пространствах (авиация, космонавтика, мореплавание, междугородние сообщения) или в чётко определённых условиях внутри помещений.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты №11-08-01945 и №11-08-13166 ОФИ-М.

Обеспечение целенаправленных перемещений в сложных, изменяющихся условиях, по сложным траекториям и без постоянной видимости спутников требует объединения различных средств навигации и, главное, активного использования визуальной информации, позволяющей эффективно выбирать, описывать и находить ориентиры в окружающем пространстве. До последнего времени автоматизация сбора и обработки зрительных данных с необходимой точностью и в масштабе реального времени на доступной вычислительной базе была невозможна. Поэтому современные системы навигации и наведения в качестве объединяющего начала используют человека-оператора, который суммирует данные всех датчиков, анализирует телевизионные и иные изображения сцены, выполняет необходимые измерения, осуществляет указание ориентиров или целеуказание. Подобного рода задачи требуют большого нервного и физического напряжения, быстро утомляют оператора и не всегда осуществляются с необходимой скоростью и точностью. С развитием средств сбора и обработки зрительных данных и ростом вычислительных мощностей открываются всё большие возможности по автоматизации и зрительных операций, в частности, связанных с распознаванием образов, формированием синтетических изображений, объединяющих данные нескольких диапазонов и улучшением качества исходных изображений. Автоматизация снимает часть рутинной нагрузки с оператора, а в ряде случаев позволяет полностью автоматически решать навигационную задачу.

Сложность и разнообразие задач обработки зрительных данных, отсутствие унифицированных формализмов для описания сложных сцен привели к тому, что существующие программно-аппаратные решения зрительных задач отличаются большим разнообразием и плохой совместимостью программных платформ и сред для объединения систем датчиков и реализации алгоритмического обеспечения верхнего уровня – уровня принятия решений [10, 11]. Преодоление указанных трудностей заставляет разработчиков систем каждый раз преодолевать «нулевой» цикл обеспечения инструментальной среды разработки и объединения уже известных (имеющихся) алгоритмов в реализации для конкретной задачи.

Ещё одной проблемой на пути внедрения систем технического зрения является сложность их калибровки и приведения разнородных данных к единой системе координат, устранение «человеческого фактора» из соответствующих алгоритмов.

Заслуживает специального внимания и проблема обеспечения воспроизводимости функционирования системы. Это проблема наладки программного обеспечения особенно остра для систем технического зрения реального времени. В масштабе реального времени необходимо зафиксировать как обрабатываемые данные, так и параметры состояния всех составляющих информационной системы мобильного средства.

Мы предлагаем однородную среду разработки и каркас прикладных программ, позволяющие успешно решать широкий круг задач, требующих комплексирования многих подсистем на основе системы сбора и обработки зрительных данных, как самой ресурсоёмкой и сложной в алгоритмическом обеспечении [8].

Основные функции и состав комплексной информационной системы. Автоматизированная комплексная информационная система мобильного средства должна решать следующие задачи:

1. Собирать данные от всех составляющих так называемого навигационного креста: указаний оператора; картографической; спутниковой; интерпретирующей навигации; датчиковых (регистрирующих) подсистем: зрительной¹; дальнометрической²; инерциальной; счисления пути [1, 2].

¹ Зрительные данные могут быть различных диапазонов и с нескольких полей зрения.

² Данные от лазерных дальнометров; фотограмметрии; стереосистемы.

2. Синхронизировать собранные данные.
3. Определять местоположение и ориентацию мобильного средства, на котором установлена ИС или местоположение объектов в поле зрения системы технического зрения.
4. Отображать оператору картографическую или другую информацию, характеризующую относительное расположение объектов наблюдения или информационной системы и внешних объектов.

На основе опыта разработки нескольких десятков систем компьютерного видения и анализа доступных на рынке программно-аппаратных компонент СТЗ были выделены элементы и средства как для этапа разработки/наладки конкретной информационной системы, так и для формирования бортового исполнения программного обеспечения [2, 4–6, 9].

Основные составляющие системы:

- ◆ СУБД и специальная БД.
- ◆ Гетерогенная распределенная вычислительная среда (с проводными и беспроводными каналами связи).
- ◆ Унифицированные пакеты обмена данными.
- ◆ Преобразователи внешних цифровых/аналоговых сигналов в сигналы общей шины (CAN, USB, GigE).
- ◆ Вычислительные блоки (IBM PC совместимой архитектуры).
- ◆ GigE Vision камеры.
- ◆ GPS/ГЛОНАСС приёмники.
- ◆ Акселерометры.
- ◆ Блоки питания.
- ◆ Программно-алгоритмическое обеспечение (на базе языка C++).
- ◆ Внешние датчики (опционально).

Прокомментируем выбор этих составляющих. Специфической особенностью применения БД в рассматриваемых СТЗ является необходимость хранения разнородных данных, среди которых присутствуют большие объемы данных от датчиков разных типов. В связи с этим структура БД построена на основе реляционной модели с использованием ссылок на внешние файлы с данными различных датчиков. Например, это могут быть файлы видеопоследовательностей или дальнометрических измерений. Для данных каждого типа в реляционной БД хранятся заголовки, позволяющий оперативно извлечь данные в привязке к местоположению (времени) в процессе измерений. Раздельный способ хранения данных позволяет сократить временные затраты на поддержание больших структурированных файлов данных реляционной СУБД, что необходимо для обеспечения функционирования в реальном времени.

Отдельного замечания заслуживают каналы связи в вычислительной среде ИС. С учётом мобильности всей системы и возможности использования нескольких полей зрения в составе одной СТЗ более предпочтительными представляются беспроводные каналы. С учётом достижений в области пропускной способности (до 2-х изображений высокой чёткости с частотой 25 Hz), дальности, надёжности передачи данных и доступности соответствующего оборудования, в основу системных коммуникаций положена беспроводная Ethernet сеть с унифицированными пакетами обмена данными. При необходимости обмена данными с другими шинами используются преобразователи.

Среди вычислительных средств предпочтение отдаётся IBM PC совместимой архитектуре или вычислителям, имеющим кросс-средства для программирования с помощью универсальных компьютеров.

Видеокамеры того или иного диапазона являются одной из важнейших составляющих СТЗ. Большой спектр предложений и разнообразные и, зачастую, противоречивые требования задач зрительного анализа требуют специального рассмотрения свойств этой составляющей компьютерного видения.

Разрешение. Традиционное телевизионное разрешение, доминирующее на рынке предложений видеокамер (768x576 для аналоговых камер и 720x576 при передаче изображений по цифровым каналам (около 0,5 МБ точек)) обеспечивает мониторинг окружающей обстановки «в целом», но оказывается недостаточным при необходимости произвести измерения или точное позиционирование объектов на изображениях. Фотограмметрические и стереоизмерения при таком разрешении также не позволяют достичь точностей выше 10 %. С учётом требований и ограничений других характеристик видеокамер разрешение видеокамер около 2 МБ оказывается удовлетворительным для многих задач.

Выходной сигнал. Наиболее распространённой формой представления видеосигнала до последнего времени был аналоговый видеосигнал стандарта (NTSC, PAL, SECAM). При этом разрешение изображения с использованием устройств ввода в ЭВМ (фреймграбберов) 768x576 предоставляется с кадровой частотой 50-60 Гц. Современному и перспективному уровню представления зрительных данных в СТЗ соответствует **цифровая форма** представления видеосигнала высокого разрешения **без сжатия**, упакованная для передачи по гигабитной сети. С учётом обеспечения возможности повышения как разрешения, так и быстродействия СТЗ, важным требованием к форме предоставления видеосигнала является **прогрессивная развёртка**. Эта развёртка предусматривает возможность передачи по каналам связи и предоставления на обработку в вычислительное устройство только необходимых зрительных данных, а не всего кадра.

Чувствительность (динамический диапазон). Чувствительность видеокамер при фиксированном отношении сигнал/шум определяется материалом и размером фоточувствительных элементов матриц. Так как материал у освоенных в массовом производстве видеокамер с вышеперечисленными характеристиками примерно одинаковый, а обрамление матриц обеспечивает отношение «сигнал/шум» на уровне 45 ДБ, то основным выбираемым параметром, влияющим на чувствительность, остаётся размер преобразователя свет-сигнал. Величина диагонали матрицы не менее ½ дюйма обеспечивает высокую чувствительность (доли люксов). Парирование изменчивости условий освещённости является важной характеристикой видеокамер. Для мобильных устройств актуальность такой характеристики возрастает, так как диапазон изменения освещённости на открытых пространствах существенно шире, чем внутри помещений. Сбор зрительных данных в процессе движения не позволяет в полной мере использовать наиболее распространённое средство повышения чувствительности матричных фотоприёмников – время накопления. Ограничения на «смаз» (изменение контраста и местоположения элементов изображения), вызванный смещением видеокамеры за время накопления, требуют использования других средств увеличения динамического диапазона видеокамеры. Одним из таких доступных и проверенных средств является объектив с автоматическим диафрагмированием. Цифровые видеокамеры повышенного разрешения с поддержкой автоматического управления диафрагмой и размером светочувствительного поля не менее ½ ‘ не являются широко распространёнными и требуют дополнительных усилий при комплектации СТЗ.

Синхронизация. В условиях мобильной СТЗ синхронизация времени получения зрительных данных с различных полей зрения приобретает принципиально важное значение. Одновременность съёма зрительных данных является обязательным условием организации стереоизмерений. Наличие внешней синхронизации – ещё одна необходимая характеристика цифровой видеокамеры.

Размеры/вес. С учётом мобильности целевых информационных систем естественно пожелание использовать видеокамеры с минимальными габаритами и небольшим весом. В рамках экономической целесообразности, но при сохранении основных требований по разрешению, чувствительности и динамическому диапазону характерные размеры камер с объективами составляют до двух десятков сантиметров, а вес с термозащитным кожухом около 1,5 кг.

В качестве внешних датчиков по отношению к СТЗ могут выступать: компас, бортовые инерциальные системы, датчик вертикали, системы локального счисления пути, дальнометры и т.п.

Выделение перечисленных компонентов СТЗ с указанными характеристиками вместе с программными шаблонами позволяют оперативно, с минимизацией совокупной стоимости владения (ТСО) формировать, настраивать и сопровождать широкий класс информационных систем на основе систем компьютерного видения [3–6, 9].

Принципы построения программно-аппаратного обеспечения СТЗ. Как уже отмечалось, отличительной особенностью описываемых разработок является автоматический компьютерный анализ поступающих данных в реальном времени. Интеллектуальные ИС предлагают не отложенный анализ заснятой видеoinформации «вручную», а получение готовых данных для задач управления или принятия решения об отправке ремонтных бригад по указанным адресам. Достичь таких результатов позволяет специальное алгоритмическое обеспечение [10, 11] и следующие принципы построения программно-аппаратного обеспечения:

- ◆ Компонентное ПО.
- ◆ COTS технология³ (при создании образцов).
- ◆ Открытая система:
 - Внешние данные дополнительных систем либо по стандартному протоколу, либо в оговоренном формате;
 - БД наращиваемая;
 - Переносимость ПО.
- ◆ Контроль масштаба реального времени.
- ◆ Обеспечение воспроизводимости функционирования системы.

Компонентный подход к созданию ПО обеспечивает эффективное повторное использование программных модулей и оперативную компоновку ПО конкретной системы.

COTS-технология позволяет компоновать информационные системы, оставаясь в рамках экономической целесообразности, за короткие сроки.

Следование концепции открытых систем обеспечивает оперативное комплексирование в системе данных различных сенсорных систем, повторное использование структуры БД в различных ИС, переносимость программного обеспечения на различные программно-аппаратные платформы.

Контроль масштаба реального времени на всех этапах разработки ИС обеспечивает создание систем информационного обеспечения реального времени.

³ Сокращение от **commercial off-the-shelf** «коммерческий на полке». Прилагательное, которое описывает программные продукты или аппаратные средства, доступные для продажи широкой публике. Подобные продукты могут быть легко встроены в существующие или разрабатываемые системы без дополнительных усилий.

Воспроизводимость функционирования системы предоставляет возможность отладки алгоритмического обеспечения обработки реальных сцен и повышает надёжность получения результатов обработки. Воспроизводимость обеспечивается структурой базы данных, предусматривающей хранение шлейфов от разнородных датчиков в привязке ко времени измерений и/или траектории движения мобильного средства.

Варианты программно-аппаратных компоновок. Общая схема программно-алгоритмического обеспечения и принципы построения комплексной информационной системы на основе компьютерного видения для мобильных средств предполагают различные варианты конкретных программно-аппаратных компоновок. Эти компоновки определяются: условиями функционирования ИС, желаемыми показателями автономности, разнообразием решаемых задач и требуемыми точностями, вопросами экономической целесообразности.

В описании программно-аппаратных компоновок будем придерживаться такого разделения описываемых ИС на аппаратные блоки: регистрирующий блок (РБ), вычислительно-управляющий блок (ВУБ), коммуникационный блок (КБ), блок отображения и дополнительной обработки (БОДО). РБ – это блок, назначением которого является регистрация в той или иной форме электрического сигнала соответствующего интересующей физической величине. Чаще всего такой формой является цифровой сигнал, но возможны и исключения, требующие дополнительных устройств преобразования аналогового сигнала в цифровую форму. Примеры регистрирующих блоков: цифровая/аналоговая видеокамера; 3D-сканер; акселерометр; компас; БИНС. ВУБ – это блок, назначением которого является организация работы регистрирующих блоков и обработка поступающих данных с целью получения необходимой информации. Реализация ВУБ – это вычислитель, снабжённый программно-алгоритмическим обеспечением. Примеры вычислительно-управляющих блоков: носимый системный блок; специальный процессор; DSP. БОДО – это блок, назначением которого является отображение информации, полученной от ВУБ оператору и, при необходимости дополнительная обработка полученных данных (включая объединение информации от нескольких ВУБов). Реализация БОДО – это вычислитель, снабжённый программно-алгоритмическим обеспечением и аппаратурой отображения результатов. Примеры БОДО: ноутбук, рабочая станция. КБ – это блок, назначением которого является обеспечение других блоков ИС обменом данными. Реализация КБ – канал связи.

Как уже отмечалось во введении, до последнего времени в ИС мобильных систем чаще всего использовалось выделение регистрирующего блока на мобильном средстве с последующим, отложенным анализом собранных данных на стационарных или передвижных, но более мощных вычислительных средствах с непосредственным участием человека.

Целью наших разработок является создание СТЗ, решающих задачу информационного обеспечения систем управления в масштабе реального времени. Модули СТЗ komponуются с учётом максимальной автоматизации сбора и обработки зрительных данных и повышенной степенью автономности. Участие человека предполагается в наиболее сложных условиях и большой степени неопределённости в описании цели зрительного анализа и объекта интереса.

Приведём примеры унифицированных вариантов компоновки информационных систем.

РБ с монокулярной видеокамерой, ВУБ (носимый системный блок низкого энергопотребления), КБ (Wi-Fi передатчик с системой POE), аккумуляторный блок, объединяющий конструктив-термокожух и универсальный крепёж.

РБ со стереосистемой, ВУБ (носимый системный блок низкого энергопотребления), КБ (Wi-Fi передатчик с системой POE), аккумуляторный блок, объединяющий конструктив-термокожух и универсальный крепёж.

РБ с монокулярной видеокамерой и блоком структурированной подсветки на основе сферических приводов прямого управления, ВУБ с БОДО (ноутбук со специальным программно-алгоритмическим обеспечением), внешние датчики положения (БИНС) и одометр.

Эти варианты компоновок были успешно использованы при создании СТЗ: для оперативного картографирования [9]. Для контроля объектов инфраструктуры автомобильных, железных дорог, путей метро [5].

Автоматизация вспомогательных операций. При внедрении СТЗ, решающих задачу информационного обеспечения в целом, препятствием на пути успешного практического использования часто оказываются настроечные и вспомогательные операции, требующие большого количества ручных действий.

Опишем способы автоматизации этих операций. При формировании видеотракта СТЗ обычно сталкиваются два противоречащих требования: как можно больший единовременный охват окружающего пространства (большой угол поля зрения) и высокая точность измерений на различных расстояниях от видеокамеры до объекта. Наиболее заманчивым (простым и относительно доступным) способом преодоления этого противоречия является выбор оптической системы с большим углом зрения и преобразователя свет-сигнал с большим количеством элементов. Подобная оптическая система требует устранения дисторсии (нахождения преобразования, устраняющего нелинейные искажения оптики). Задача эта не нова и существует немало соответствующих алгоритмов, суть которых сводится к предъявлению системе эталонных объектов с известными геометрическими соотношениями и указание образов этих объектов на изображениях.

Ключевым моментом для практики является выделение образов объектов на изображении. Эту задачу традиционно возлагают на человека, который «по мере необходимости» (в проведении калибровки) указывает системе около сотни точек, соответствующих опорным точкам эталонного объекта.

В нашем подходе мы следуем методам автокалибровки. Операции определения образов эталонных объектов на изображениях выполняются автоматически. Автоматическое выполнение повышает точность и сокращает время выполнения операций. На рис. 1 представлен пример автоматического выделения характерных точек эталонных объектов.

При выделении характерных точек для измерения расстояний в случае заранее неизвестных или нечётко описанных объектов в рассматриваемых СТЗ применяются несколько дополняющих друг друга методов:

- ◆ Использование модели образа объекта для нахождения образов, соответствующих модели, в нескольких полях зрения.
- ◆ Применение прогноза расположения характерных точек образов объекта, найденных в одном из полей зрения, для сокращения области поиска в остальных полях. Для расчета местоположения характерных точек применяется расчет с использованием калибровочных параметров используемой стереосистемы.
- ◆ В сложных случаях, когда автоматическое обнаружение образа объекта выполнить не удалось, указание характерных точек может быть выполнено оператором с учетом автоматических инструментов поиска в ограниченной области интереса (рис. 2).

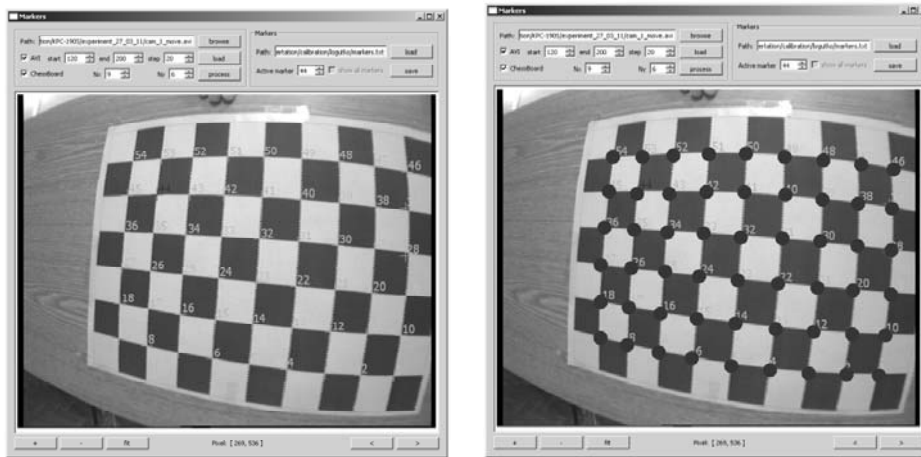


Рис. 1. Пример выделения характерных точек эталонных объектов



Рис. 2. Пример выделения характерных точек на образах объектов интереса. В левом поле зрения образ выделен автоматически, в правом уточнение местоположения выполняется с участием оператора

Объединение и совместная обработки сигналов GPS/ГЛОНАСС и локальной навигационной системы. При кратковременном исчезновении сигнала приемника GPS (до 30 сек) текущие координаты мобильного средства аппроксимируются на основе счисления пройденного пути и принятия гипотезы сохранения мобильным средством прямолинейного движения. В том случае, когда ИС оснащена БИНС или системой акселерометров, возможно восстановление более сложной траектории движения мобильного средства и, как следствие, возможность определения положения мобильного средства в географической системе координат даже при длительных пропусках спутниковых сигналов (до 20 мин). Для аппроксимации используется последняя достоверная информация о направлении движения полученная от GPS и данные бортового одометра мобильного средства. Данные от всех подсистем синхронизируются по времени бортовой вычислительной сети.

Для локальной привязки местоположения мобильного средства в качестве дополнительной возможности предусматривается режим фототриангуляции с использованием опорных точек. Для установления положения мобильного средства в поле зрения стереосистемы указывается набор опорных точек с известными географическими координатами.

Отображение текущего положения мобильного средства на векторной карте местности и (или) растровом спутниковом изображении производится модулем визуализации. Этот модуль отображает в Международной системе координат (WGS84) в проекции Mercator в различном масштабе в режиме реального времени направление и скорость, траекторию движения и дополнительную информацию. В дополнительную информацию входят различные метки (путевые точки), к ним может быть привязана различная фото-, видео-, аудио- и текстовая информация [9]. Кроме того, модуль позволяет измерять расстояния и перемещения вдоль траекторий движения, наносить на карту изображения и характеристики опознанных объектов. Модуль визуализации может принимать координатную информацию непосредственно из GPS/ГЛОНАСС приемника по протоколу NMEA 8.3 и опосредованно из сетевого синхронизирующего пакета по протоколу UDP.

Заключение. В работе предложены, описаны и обсуждены методические и практические вопросы создания навигационных и измерительных систем мобильных средств на основе систем компьютерного видения. Показано, что уровень развития средств формирования видеоданных, вычислительных и коммуникационных средств, в объединении со специализированным программно-алгоритмическим обеспечением и следование принципам современных программных систем, позволяет создавать комплексные, экономически целесообразные информационные системы для мобильных систем с активным использованием зрительных данных.

Эффективность предложенных подходов и решений подтверждается примерами успешной реализации в действующих комплексах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *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.
2. *Богуславский А.А., Кирильченко А.А., Платонов А.К., Соколов С.М., Трифонов О.В., Ярошевский В.С.* Построение описания внешней среды в системах информационного обеспечения мобильных робототехнических комплексов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2008. – № 12. – С. 50. Прил. – С. 15-24.
3. *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.
4. *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.
5. *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.
6. *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.
7. *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.

8. *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", Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 5-7 октября 2005. – С. 337-343.
9. *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.
10. *Соколов С.М., Богуславский А.А.* Интеллектуальные алгоритмы обработки изображений для решения задачи распознавания в реальном времени бортовыми системами // Тезисы докладов научно-технической конференции-семинара «Техническое зрение в системах управления мобильными объектами – 2011», Москва, 15-17 марта 2011 г. – М.: КДУ, 2011. – С. 86-88.
11. *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 (IMCIC 2011), Orlando, Florida, USA, March 27th-30th, 2011, Orlando, Florida, USA. – Vol. II. – P. 406-411.

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

Соколов Сергей Михайлович – Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН; e-mail: sokolsm@keldysh.ru; 125047, г. Москва, Миусская пл., д. 4; тел.: +74992507994; ведущий научный сотрудник; д.ф.-м.н.; профессор.

Богуславский Андрей Александрович – e-mail: anbg@mail.ru; старший научный сотрудник; д.ф.-м.н.; доцент.

Трифонов Олег Всеволодович – e-mail: tob@mail.ru; старший научный сотрудник; к.т.н.

Васильев Антон Игоревич – e-mail: ANBAC@mail.ru; аспирант.

Sokolov Sergey Mikhailovich – Keldysh Institute of applied mathematics of Russian Academy of Sciences; e-mail: sokolsm@keldysh.ru; 4, Miusskaya Sq. Moscow, 125047, Russia; phone: +74992507994; leading scientist; dr. of phis.-math. sc.; professor.

Boguslavskii Andrey Alexandrovich – e-mail: anbg@mail.ru; senior scientist; dr. of phis.-math. sc.; associate professor.

Trifonov Oleg Vsevolodovich – e-mail: tob@mail.ru; senior scientist; cand. of eng. sc.

Vasilyev Anton Igorevich – e-mail: ANBAC@mail.ru; postgraduate student.

УДК 004.42: 004.932

**Б.А. Алпатов, П.В. Бабаян, Ю.С. Коблов, В.С. Муравьев,
В.В. Стротов, А.Б. Фельдман**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ РАЗРАБОТКИ И ИССЛЕДОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ
МАШИННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ НАВИГАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА БАЗЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО
ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА***

Рассматривается разработанный авторами программный комплекс «Навигация», предназначенный для автоматизации научных исследований по разработке алгоритмов машинного зрения для навигации беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Комплекс обеспечивает имитационное моделирование видеосъемки с борта БПЛА, реализует технологию подготовки полетных заданий и ряд алгоритмов определения местоположения и

* Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ, государственный контракт № 07.514.11.4034.