

СЕМЕЙСТВО МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИЙ «ОХОТНИК»

Алпатов Б.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой автоматике и информационных технологий в управлении, Рязанского государственного радиотехнического университета, e-mail: aitu@rsreu.ru

Блохин А.Н., начальник лаборатории научно-конструкторского центра видеокomпьютерных технологий (НКЦ ВКТ) Государственного Рязанского приборного завода (ГРПЗ), e-mail: hunter-rzn@yandex.ru

Костяшкин Л.Н., к.т.н. доцент, директор-главный конструктор НКЦ ВКТ ГРПЗ, e-mail: hunter-rzn@yandex.ru

Романов Ю.Н., заместитель директора НКЦ ВКТ ГРПЗ, e-mail: hunter-rzn@yandex.ru

Шапка С.В., начальник лаборатории НКЦ ВКТ ГРПЗ, e-mail: hunter-rzn@yandex.ru

Ключевые слова: обработка видеоизображений, автоматическое обнаружение, захват и сопровождение, оптико-электронные системы, семейство «Охотник».

Введение

Комплексный подход при проектировании и разработке обзорных и обзорно-прицельных оптико-электронных систем (ОЭС) нового поколения для разнообразных систем вооружений и военной техники (ВВТ) связан как с новыми решениями общесистемного характера, так и с решениями по основным компонентам ОЭС. Интеллектуальным ядром многих из них являются системы обработки видеoinформации в реальном времени (СОВИ), разработка и серийное производство которых ведутся на ФГУП «Государственный Рязанский приборный завод». При их проектировании и разработке должен быть решен ряд проблем, определяющих в конечном счете эффективность ОЭС в целом:

- обоснование требований к выбору системы видеодатчиков, входящих в состав ОЭС, с учетом ее назначения;
- определение набора реализуемых функций по обработке изображений;
- выбор общесистемных принципов организации системы обработки видеоизображений (СОВИ): архитектуры, вычислительной платформы, элементной базы, интерфейсов и др.;
- разработка алгоритмического и программного обеспечения СОВИ;
- выбор конструктивного исполнения СОВИ в соответствии с предъявляемыми к ней требованиями.

Решения перечисленных проблем многовариантны и взаимозависимы, их приемлемость определяется соответствием заданным требованиям применения. Сама направленность функциональных задач СОВИ в обзорных и обзорно-прицельных ОЭС определяется их назначением, а также ориентированностью – для работы оператора или для работы в автоматическом режиме, что влияет на состав математических операторов обра-

Рассмотрено семейство многофункциональных систем обработки видеоизображений «Охотник», разработанное на ФГУП «ГРПЗ». Охарактеризованы выполняемые изделиями семейства функции по обработке телевизионных и тепловизионных изображений, такие как улучшение видения оператором, в том числе комплексированием их, автоматическое обнаружение и автоматическое сопровождение целей, координатные преобразования и др. Отражены особенности программно-алгоритмического обеспечения и вычислительных платформ, использованных в изделиях семейства.

ботки и требования к ним. Востребованной для большинства применений является многофункциональность обработки, определяемая целями и обстоятельствами конкретного использования СОВИ в ОЭС [1]. Обобщенный по ряду применений набор функций обработки изображений включает в себя:

- **улучшение видения** монохромных и цветных телевизионных (ТВ) и тепловизионных (ТПВ) изображений;
- **комплексирование** разномасштабных телевизионных (ТВ) и тепловизионных (ТПВ) изображений, в перспективе включая и радиолокационные с выходом на совмещение комплексированного изображения с 3-мерной картой местности и в пределе формированием синтетического изображения (технология ESVS – enhanced synthetic vision system);
- **координатные преобразования** изображений, включающие **электронную стабилизацию** картины поля зрения видеодатчика, **компенсацию поворота** изображения, **электронное масштабирование** изображения, **электронное выравнивание** полей зрения и **юстировку** линий визирования;
- визуальное или автоматизированное **обнаружение, захват и автоматическое сопровождение** целей (с управлением линией визирования видеодатчиков).

При общности основных функциональных задач обработки в различных ОЭС получение единого технического решения в виде универсального ядра для разных применений ограничивается спецификой и особенностями фоноцелевой картины конкретных областей применения, наличием разных по составу и параметрам видеодатчиков, используемыми интерфейсами и логикой взаимодействия, числом видеовходов и видеовыходов и связанной с этим параллельностью поканальной

обработки, различными требованиями по условиям эксплуатации и конструкции в соответствии с группой исполнения, экономическими соображениями и др. Все это приводит к множественности реальных объектоориентированных изделий, которые объединены в семействе многофункциональных СОВИ «Охотник». В основу их построения положены общие системотехнические принципы и максимальная унификация аппаратных и программно-математических решений. К настоящему времени семейство насчитывает свыше полутора десятка типов изделий для систем прицеливания и управления ракетно-пушечным вооружением, систем наблюдения и контроля, для поисковых систем, систем пилотирования и вождения бронетехники различных объектов ВВТ, а также для гражданских применений.

Особенности базового программно-алгоритмического обеспечения

В состав практически всех изделий семейства «Охотник» входят в качестве базовых следующие функции: **улучшение видения (УВ)**, **автоматическое обнаружение (АО)** и **сопровождение целей (АС)**.

1. Алгоритмическое обеспечение функции УВ ориентировано на решение задач двух групп – преобразование исходных изображений с целью улучшения их восприятия при визуализации по отдельности для ТВ и ТПВ датчиков и комплексирование разноспектральных видеоизображений (технология Fusion). Цель данных преобразований – повышение информационных характеристик видеоизображений для усиления визуальных возможностей по предельным дальностям видения, повышения вероятности обнаружения и идентификации целей.

На процесс поиска и распознавания объектов и вероятность визуального восприятия оказывают влияние характеристики объекта (угловой размер, градиенты изменения яркости на краях крупных деталей изображения, расположение на экране, скорость движения, контраст относительно фона, характеристики наблюдателя: тренированность, утомление, возраст, интеллект, рабочая нагрузка, периферическая острота зрения, наличие предварительных инструкций, а также характеристики видеоинформационного тракта: пространственно-частотная передаточная характеристика, число строк, приходящихся на угловой размер объекта, количество воспроизводимых градаций). Зависимость вероятности визуального обнаружения от ряда факторов по результатам исследований [2] имеет вид

$$P = 1 - \exp\left(-\frac{CK^2\gamma^3L^{0.3}t}{(2\beta)^2}\right),$$

где C – некоторая константа, характеризующая конкретного наблюдателя; K – локальный контраст объекта; γ – угловой размер объекта; L – яркость фона; t – время поиска; 2β – угловое значение поля зрения. Исключив из рассмотрения отношение времени поиска на угловое значение поля зрения, вероятность обнаружения напрямую будет зависеть от значений локального контраста объекта, углового размера объекта и яркости фона изображения сцены.

Собственно математические операторы УВ, реализуемые в аппаратуре СОВИ, выполняют функции коррекции

передаточной функции тракта преобразования, изменяя его пространственно-частотную характеристику в желаемом направлении (Рис.1). При этом максимальный эффект УВ достигается с учетом индивидуальных особенностей видеодатчиков, тракта передачи видеоинформации и монитора, отображающего фоноцелевую картину.

Кроме перечисленных факторов, значительное влияние на характеристики обнаружения оказывают шумовые компоненты видеосигнала от датчиков (структурного или случайного шума) на всем изображении и в окрестности наблюдаемого объекта, а также не идеальности канала передачи данных. Это особенно проявляется при обнаружении и распознавании объектов на слабоконтрастных изображениях при низкой заметности целей в условиях плохой видимости или малых температурных контрастов, (туман, пыль, дымовые завесы, наличие осадков), при наличии пассивных и активных видов противодействия (маскировка, пиротехнические средства, прожектора и т.п.) [3].

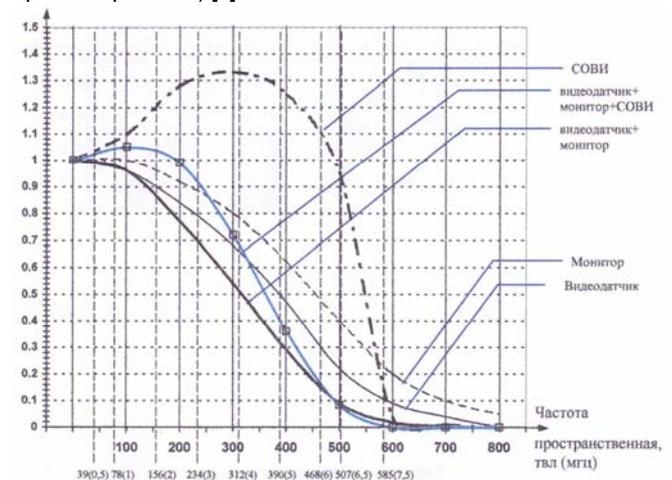


Рис.1 Пространственно-частотные характеристики отдельных компонент СОВИ

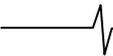
С учетом вышеизложенного, в состав алгоритмического обеспечения преобразований УВ первой группы включены операторы:

- адаптивное линейное яркостное преобразование, которое нормирует диапазон изменения выходного видеосигнала, увеличивает глобальный контраст и поддерживает максимально необходимое (256) или реально имеющееся количество информационных уровней выходного изображения;

- нелинейные яркостные преобразования, основанные на гистограммных преобразованиях (локальных и глобальных) с использованием различных законов, в том числе по специально разработанным шаблонам, позволяющим эффективно контрастировать изображения и нормализовывать их среднюю яркость;

- адаптивная временная фильтрация (рекурсивная фильтрация или накопление кадров с попиксельной межкадровой оценкой), обеспечивающая подавление случайных помех, особенно проявляющихся на уровне порогов чувствительности ТВ или ТПВ датчиков и повышающая соотношение сигнал/шум;

- пространственная фильтрация (ранговая или линейная), подавляющая структурные, импульсные и другие шумы видеодатчиков;



– дифференциальные преобразования яркостей, позволяющие усилить разборчивость детальной составляющей изображения.

Адаптивная комбинация различных преобразований, подбор их параметров под текущие условия наблюдения (в том числе автоматически), позволяют осуществить в конечном счете улучшение видения изображений от ТВ и ТПВ сенсоров за порогом чувствительности глаза.

Реализация алгоритмического обеспечения функции УВ в изделиях семейства «Охотник» при их использовании в ОЭС обеспечила:

- увеличение дальности обнаружения и распознавания малоконтрастных объектов/целей при ограниченно сложных метеоусловиях от 1.3 до 1.7 раз;
- снижение времени обнаружения-распознавания в 3 – 8 раз;
- расширение времени действия каналов технического зрения до 0.5 часа в весенне-летний период и до 1.0 часа в осенне-зимний период;
- снижение утомляемости оператора на 30-40%;
- снижение времени от обнаружения до момента применения оружия;
- повышение вероятности выполнения боевой задачи.

Приведенные оценки получены расчетным путем и подтверждены на практике в процессе испытаний и при эксплуатации ряда изделий семейства.

Эффективным средством повышения информативности визуализируемого изображения является комплексирование ТВ и ТПВ изображений (вторая группа алгоритмических преобразований - отдельный раздел УВ). Для этого необходимо точное совмещение полей зрения видеодатчиков. Изображения от них имеют характерные яркостно-геометрические особенности, обусловленные физической природой формирования изображений и характеристиками оптико-электронных приборов. ТВ-изображения (оптический диапазон) имеют естественный (привычный) вид для оператора, в них присутствуют линия горизонта, тени на объектах и всей фоноцелевой картине. В то же время, ТПВ-изображения (ИК-диапазон), не имеют теней, слабо различима линия горизонта, что затрудняет пространственно-объемное восприятие визуальной картины, но зато в них фиксируются характерные признаки объектов, отличающиеся тепловыми контрастами. Таким образом, комплексная обработка разноспектральной информации предоставляет дополнительные возможности при автоматизации обработки изображений и распознавания объектов. С учетом информативности каждого из видеодатчиков комплексирование может осуществляться несколькими вариантами [4].

Первый вариант - комплексирование (преобразование по схеме "полутонные изображения" - "информативные признаки") предполагает использование определенных признаков в каждом канале. Здесь могут не предъявляться жесткие требования к видеодатчикам как по вертикальному и горизонтальному разрешению, так и по количеству уровней и геометрическому представлению пикселя.

Второй вариант - комплексирование (преобразование по схеме "полутонные изображения" - "графиче-

ское изображение") использует совместное преобразование видеoinформации от разных датчиков. Этот уровень требует большего подобия датчиков по их характеристикам и условиям работы, а также одновременного восприятия фоноцелевой картины и синхронной выдачи информации.

Третий вариант - комплексирование предполагает получение результирующего изображения от различных сенсоров попиксельно по схеме "полутонное изображение" - "полутонное изображение". Третий вариант возможен при наличии датчиков с близкими по пространственному и контрастному разрешению параметрами, а результат комплексирования в этом случае представляется в виде объемного пространственного изображения, приближающегося к естественному. Этот вариант сложен как по алгоритмическому обеспечению, так и по аппаратным средствам реализации потоковой цифровой обработки в реальном времени.

Реализованный в изделиях семейства «Охотник» вариант комплексирования использует текущие характеристики ТПВ-изображения для дополнительного изменения текущих значений яркости телевизионной картинки. ТПВ-датчик и выполняет функцию обнаружителя потенциальных целей, препятствий, характерных элементов фоноцелевой картины. Такой подход позволяет получить естественное полутонное комплексированное изображение с детальной информацией от ТВ-датчика и повышенным локальным контрастом, а его алгоритмическое обеспечение обеспечивает последующую аппаратную реализацию в реальном времени с максимально возможными характеристиками (768x576 элементов разложения при 256-ти градациях уровня серого). На комплексированном видеоизображении обеспечивается проработка текстурной составляющей подстилающей поверхности за счет внесения информации о температурных контрастах, сохраняется естественное объемное восприятие, присущее телевизионному изображению за счет наличия теней. Возможен также эффект stereopsis, при разнесении ТВ и ТПВ датчиков, который улучшает дополнительно пространственное и объемное восприятие на дальностях до 30 - 50 метров, что особенно важно для обзорных систем управления подвижными объектами или летательных аппаратов при маловысотном полете и посадке на необорудованные площадки. В аппаратуре осуществляется попиксельное совмещение изображений за счет выравнивания полей зрения и юстировки линий визирования, синхронизация видеопотоков данных от ТВ и ТПВ датчиков. Предварительно осуществляется поканальная обработка изображений для поддержания постоянного контраста, стабилизации средней яркости, повышения четкости и снижения уровня шума в выводимом изображении при сохранении максимального количества градаций уровней серого [5].

На восприятие изображений (как исходных, так и преобразованных с целью улучшения видения) в целом оказывают отрицательное влияние и такие факторы как: отсутствие или недостаточность стабилизации изображения, малые угловые размеры изображения интересующего объекта, неудобное для работы с ним угловое положение изображения, нелинейные геометрические искажения и др. В целях коррекции визуализируемых

изображений в состав алгоритмического обеспечения изделий семейства «Охотник» входит раздел координатных преобразований, включающих электронную стабилизацию изображений, компенсацию углового поворота, электронное масштабирование, электронную юстировку линий визирования сенсоров, выравнивание полей зрения и др.

Алгоритмическое обеспечение предусматривает ручной и автоматический способы настройки аппаратных средств задачи УВ на максимально высокое качество выходного изображения.

При ручном способе настройки возможен выбор преобразований: яркостная коррекция – парирование «белого», парирование «черного»; временная фильтрация – изменение глубины рекурсии. Виды преобразований, апертуры, коэффициенты выбираются в соответствии с решаемой задачей, типом датчика (ТВ, ТПВ) и условиями наблюдения.

При автоматической адаптации алгоритмической системы используются более сложные решения, обеспечивающие «интеллектуальную» настройку аппаратуры на максимально информативное для оператора выходное изображение по нормированному контрасту, средней яркости при максимально возможном значении сигнал/шум.

2. Алгоритмическое обеспечение задач обнаружения, захвата и автоматического сопровождения целей практически во всех изделиях семейства «Охотник» представляет собой основной раздел общего алгоритмического обеспечения каждого из них. Решение задачи автоматического обнаружения цели сокращает время реакции оператора на анализ фоноцелевой обстановки. Автоматическое сопровождение цели в замкнутом контуре значительно повышает точность работы ОЭС при работе ракетно-пушечным вооружением.

В первых изделиях семейства (СОИ-ОПК для вертолетов типа Ми-8МТКО) круг решаемых задач ограничивался сопровождением наземных неподвижных площадных целей на неравномерном фоне. Задача решалась с помощью корреляционного разностного алгоритма, описанного в [6,7], на базе вычисления разностной критериальной функции отличия текущего изображения объекта от эталонного

$$F(\alpha, \beta) = \sum_{i, j \in H} |h(i, j) - l(i + \alpha, j + \beta)|,$$

где $l(i, j)$ – текущее изображение, $h(i + \alpha, j + \beta)$ – эталонное изображение цели, α, β – параметры, характеризующие смещение центра объекта относительно начала координат. Зона поиска изображения цели ограничена, частота обработки информации – 25 Гц. Для повышения устойчивости работы алгоритма при изменениях ракурса цели, движении носителя в алгоритме использовано межкадровое сглаживание (фильтрация) эталонного изображения цели, позволяющее учесть изменения цели, накапливающиеся в процессе ее автосопровождения.

В усовершенствованном варианте этого изделия (СОВИ ОПС), наряду с корреляционным алгоритмом, введен алгоритм сопровождения, использующий статистическую сегментацию обрабатываемого изображения [7]. Алгоритм предназначен для слежения за малораз-

мерными протяженными целями на равномерном фоне (небо) и за протяженными контрастными целями на неравномерном фоне (земля, море). Его основу представляет байесовский критерий принятия решений о принадлежности точки на изображении фону или цели. На изображении выделяются две области: область окна и область рамки так, чтобы объект полностью помещался в окне, а в рамке находились только точки фона. Классификация точек проводится в соответствии с выражением

$$\hat{P}(O) = \alpha \cdot A \cdot \hat{P}(P),$$

где $P(O)$ – оценка вероятности принадлежности точки к цели, $P(P)$ – оценка вероятности принадлежности точки к фону, α – априорная вероятность принадлежности точки к цели, A – стоимость ошибочной классификации.

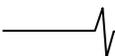
В процессе работы алгоритма важно поддержание соответствия между площадью окна и площадью рамки при построении гистограмм, обеспечиваемого введенной процедурой адаптивной подстройки размеров окна и рамки. Для захвата цели на сопровождение в начальный момент времени оператор должен «стробировать» цель (наложить на нее прицельный маркер определенного размера). При этом обеспечивается устойчивое слежение за целью. Чтобы облегчить и ускорить процедуру захвата в алгоритм введен циклический перебор размеров прицельного маркера во время захвата. Этим удастся избавить оператора от необходимости подбора размеров прицельного маркера вручную.

В корреляционном алгоритме слежения и в алгоритме, основанном на сегментации, имеется возможность продолжения слежения за целью при потере оптической связи с ней. Для прогнозирования положения цели используются оценки траекторного фильтра, формируемые в процессе слежения. При работе в замкнутом контуре сопровождения прогнозируемое положение поворотной платформы формируется по данным о её скорости и ускорении, накопленным к моменту пропадания цели. Допускается прогнозирование положения цели в течение 5-6 секунд. Увеличение интервала времени нецелесообразно в связи с возрастанием ошибок в прогнозе из-за различий в скоростях перемещения цели и носителя.

По истечении времени прогноза выполняется поиск цели в расширенной зоне анализа. Если цель найдена, слежение продолжается, в противном случае слежение завершается.

Дальнейшее совершенствование алгоритмического обеспечения связано с увеличением максимального размера обрабатываемого эталонного изображения, увеличением зоны поиска и обработкой одновременно нескольких эталонных изображений.

В изделии АТТ (применение на вертолете Ми-28Н и самолете Су-34) существенно развит корреляционный алгоритм в части одновременной обработки до 25 эталонных изображений (точек привязки), что позволило реализовать режим «электронной» стабилизации изображения. Включение режима «электронной» стабилизации увеличивает дальность обнаружения и распознавания типовых целей от 2 до 4 км в зависимости от сложности фоноцелевой картины. Эффективность вве-



денных алгоритмических усовершенствований подтверждена реальной работой свыше сотни произведенных изделий на реальных объектах ВВТ.

Важным фактором в работе любой СОВИ является минимизация участия оператора в управлении ею. Поэтому в изделии, применяющемся на вертолете Ка-52, реализован алгоритм автоматического обнаружения движущихся целей [8], позволяющий значительно упростить действия оператора при захвате цели на сопровождение.

Ядром алгоритма обнаружения является вычисление оценок фонового изображения и формирование на их основе бинарной картинке с выделенным движущимся объектом. Алгоритм включает в себя этапы межкадрового оценивания фонового изображения, вычисление вероятностей значимых изменений, пороговую обработку, специальные процедуры разметки бинарных изображений и оценки параметров сегментов. В результате выделяются движущиеся цели с наложенными прицельными маркерами. Оператору необходимо лишь выбрать нужную цель и начать автосопровождение.

Если на изображении нет движущихся целей, то используется алгоритм обнаружения неподвижных целей, задача которого заключается в выделении на изображении областей, однородных по яркости и стробирование их прицельной маской.

Важным направлением разработки нескольких изделий семейства «Охотник» оказалось введение в алгоритмическое обеспечение возможности работы по точечным малококонтрастным воздушным целям. Эта функция реализована в изделиях ОВИ-М2 (применение в ЗРК «Квадрат»), ОВИ-М3 (применение в ЗРК «Бук-М2Э»). В алгоритмах обнаружения точечных целей используется параллельная фильтрация текущего изображения масками, учитывающими наличие объекта на изображении и его отсутствие [9]. Входное изображение $I(i, j)$ обрабатывается линейным фильтром, имеющим маску w_1 размерности $q_{11} \times q_{12}$. Параллельно с этим оно сглаживается фильтром с маской w_2 размерностью $q_{21} \times q_{22}$, причем $q_{21} > q_{11}$, $q_{22} > q_{12}$. По специальному решающему правилу точки разделяются на точки фона и цели. Алгоритм позволяет обнаруживать цели с размерами от 2×1 до 32×32 элементов разложения. Это позволяет в некоторых случаях использовать параллельно данный алгоритм и байесовский алгоритм сегментации. Совместное применение алгоритмов значительно повышает устойчивость слежения за целями.

Применение разработанного алгоритмического аппарата позволяет изделиям семейства «Охотник» эффективно и с высокой устойчивостью решать поставленные задачи и обеспечивает следующие основные технические характеристики и возможности:

- автоматическое обнаружение от 1 до 8 воздушных и движущихся целей;
- автоматизированный захват целей на сопровождение с адаптацией размера следящего строба;
- анализ возможности захвата целей на сопровождение;
- захват цели на автосопровождение размерами от 2×2 до 256×256 элементов разложения (э.р.);
- слежение за целью при изменении её линейных

размеров от 2×2 до 256×256 э.р.;

- слежение за целью при скорости ее движения до 250 э.р. в секунду;
- слежение за целью при изменении ее ракурса со скоростью до 30% в секунду;
- слежение за целью при изменении ее средней яркости со скоростью до 20 уровней яркости в секунду;
- поиск цели в расширенном следящем стробе при потере оптической связи с целью на время до 6 с;
- слежение за целями при отношении сигнал/шум не менее 3;

Практика использования аппаратуры семейства «Охотник» в различных конкретных применениях приводит к необходимости решения ряда проблем их комплексного взаимодействия в составе бортового оборудования объекта ВВТ, что должно обеспечиваться соответствующими индивидуальными расширениями программно-алгоритмического обеспечения отдельных изделий семейства.

Особенности вычислительной платформы семейства «Охотник»

Сложность математического обеспечения и необходимость вычислений в реальном времени определяют жесткие требования к вычислительной платформе в отношении производительности вычислений и, соответственно, к архитектуре, техническим решениям и элементной базе.

Вычислительная платформа системы обработки видеоинформации реализует алгоритмическое обеспечение всех функциональных задач в реальном времени с эквивалентной производительностью вычислений порядка 10-12 тысяч MIPS. Она представляет собой открытую систему и содержит ресурсы и возможности, необходимые для функциональной адаптации под условия конкретного применения. При организации вычислительной платформы доминирующим является принцип аппаратной реализации математического обеспечения функциональных задач цифровой обработки изображений, реализованный на базе реконфигурируемых процессоров (ПЛИС). Программные средства (цифровые процессоры обработки сигналов) используются здесь для реализации функций управления, обмена информацией и т.п., где присутствует сложная логическая разветвленность алгоритмов и не требуется высокая производительность вычислений. Это обеспечивает оперативную загрузку различных алгоритмов УВ и комплексирования разноспектральных изображений, координатных преобразований, обнаружения, выделения и измерения текущих координат целей, а также алгоритмов управления, как непосредственно в процессе работы системы, так и при необходимости изменения ее функциональных возможностей.

Алгоритмы преобразования изображений (УВ) для представления оператору, а также алгоритмы АО и АС целей, предъявляют ряд требований к реализующей их вычислительной платформе. На начальном этапе применения цифровой обработки изображений в оптических прицельных станциях использовались корреляторы с размером эталона не более чем 8×8 точек, работающие по зоне поиска 16×16 э.р. Далее требования увеличилось до

32x32 с зоной поиска 64x64. В настоящее время требуется реализовывать эталоны до 64x64 точки с зоной поиска 128x128 э.р., кроме того, появились требования по работе с датчиками цветных телевизионных изображений, что привело к увеличению потока обрабатываемого изображения более чем в два раза. Количество таких одновременно работающих корреляторов возрастает с 1-го до 20 и более. Подобный рост обусловлен как повышением требований к устойчивости работы следящих алгоритмов, так и изменением технических характеристик систем технического зрения, в первую очередь в части возрастания пространственного разрешения и кадровой частоты. Свою специфику вносит также работа в узких полях зрения на больших скоростях, особенно это проявляется в летательных аппаратах (из-за вибрации линии визирования появляется необходимость включения электронной стабилизации). Примерно так же растут требования ко всем видам цифровой обработки изображений.

Реализация алгоритмов в реальном времени для различных применений возможна несколькими различными вариантами.

Первый вариант – на основе процессорных вычислений при помощи DSP, имеющих в своем составе узлы для потоковой обработки. Это возможно, например, в процессорах Texas Instruments и Analog Devices, использующих VLIW-архитектуру (до 8 операционных узлов, способных работать параллельно, выполняя одну операцию за такт на частотах от 500 МГц до 1 ГГц). Однако структура операционных узлов данных процессоров ориентирована на определенный круг задач, на котором их эффективность максимальна. Любой “шаг в сторону” приводит как к простаиванию отдельных узлов процессорного конвейера, так и к необходимости производить вспомогательные действия, связанные с подготовкой операндов к вычислениям. В этом случае для реализации задач в полном объеме необходимо количественное наращивание операционной емкости, что приводит к неприемлемому росту габаритов, энергопотребления и снижению наработки на отказ.

Второй вариант – создание аппаратных средств, специализированных на конкретную задачу (ASIC для коррелятора, ASIC для обнаружителя и др.). Такой путь дает самые малогабаритные и малоэнергопотребляющие технические решения. Однако время на разработку специализированных СБИС на настоящий момент очень велико. Более того, как показывает практика, на этапе разработки (вплоть до запуска изделий в серию, а иногда и после, в процессе эксплуатации), возникает необходимость внесения корректив в действующие алгоритмы, что обусловлено рядом обстоятельств конкретного применения. На базе СБИС такая гибкость невозможна.

Третий вариант – программно-аппаратная платформа, сочетающая в себе гибкость перепрограммирования с необходимой производительностью специализированных микросхем. Такую возможность предоставляют программируемые интегральные логические схемы (ПЛИС). В сочетании с сигнальными процессорами, применяемыми в данном случае для решения задач с меньшим объемом данных (управление в контуре, построение и поддержание связанных списков обнаруживаемых в каждом кадре объектов и др.), удается достичь компромис-

са между гибкостью и производительностью платформы обработки. Жесткая схема аппаратных вычислений, необходимая для достижения высокого быстродействия, совмещается с гибкой и оперативной реконфигурацией вычислительной среды в рамках возможностей ПЛИС по технологии FPGA (field programmable gate array), обеспечивая возможность быстрой адаптации изделия к различным условиям его применения в составе обзорно-прицельных систем. Ряд внешних воздействующих факторов, способных нарушить функционирование устройства, требует применять технические решения, снижающие вероятность отказов устройства в целом до требуемой величины. Использование ПЛИС позволяет, с одной стороны, решать ряд последовательных задач на одной базе путем перезагрузки содержимого (без потери потоковой производительности), с другой стороны, возможно организовать параллельные структуры, необходимые для 2-х или 3-х кратного резервирования.

В качестве аппаратных элементов для потоковой видеообработки хорошо зарекомендовали себя ПЛИС производства фирмы Xilinx. На их базе реализованы все разработанные и поставляемые изделия семейства «Охотник». В качестве сигнальных процессоров применяются DSP фирм Texas Instruments и Analog Devices. Полученные результаты полностью удовлетворяют требованиям функциональных задач ЦОИ (технических заданий) для данных применений, с гарантийным запасом операционных ресурсов в случае усложнения задачи или при необходимости адаптации с целью применения на других изделиях.

Необходимо отметить имеющуюся необходимость использования высокоскоростных цифровых интерфейсов межсистемного (бортового) обмена. Она возникает как из-за невозможности применения старых аналоговых линий связи для передачи видеосигнала высокой четкости, так и из-за появляющейся в модернизируемых комплексах необходимости передачи по одной линии связи данных от нескольких источников видеосигнала. Использование ПЛИС позволяет легко задать любой протокол передачи данных (основанный на каком-либо стандарте, либо специфичный для конкретного применения, например, в ряде моделей семейства обеспечивается передача и прием видеосигналов по скоростному цифровому интерфейсу спецификации Fibre Channel Physical Standard (ANSI X3.230-1994).

Параллельно с наращиванием производительности вычислений острой является задача существенного сокращения массо-габаритных показателей изделий (например, для малоразмерных беспилотных летательных аппаратов). В этом случае эффективность использования операционных ресурсов становится особенно актуальной и реализация на одних только DSP исключается из-за вышеуказанного неэффективного использования схем процессоров при обработке сигнала. Заказные СБИС имеют большую операционную емкость, чем ПЛИС, однако последние дают возможность осуществлять быструю перезагрузку в процессе работы, позволяя тем самым «экономить» на задачах, не выполняющихся параллельно (разные операторы УВ, различные алгоритмы АО и АС целей). Современные ПЛИС позволяют выполнять частичную перезагрузку прошив-

ки, если недопустимо кратковременное отключение в процессе работы в части решения какой-либо функциональной задачи.

Разработанные изделия семейства «Охотник» с разнообразными наборами функций и возможностей для различных применений приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Характеристики функциональности изделий семейства СОВИ «Охотник»

Тип изделия	Системы применения	УВ	К	ЭС	КК	ЭМ	АО	АЗ	ЭСл	АСЗК	Ц	Интерфейсы *	Группа исполнения	Литера
СОИ-ОПК	обзорная	+	-	-	-	-	-	-	+	+	1	RS-232	3.1.1	КД ГК
СОВИ-ОПС	обзорная	+	-	-	-	-	-	-	+	+	1	RS-232	3.1.1	КД ГК
СОИ-ПЛТ	обзорно-прицельная	+	-	-	-	-	-	-	+	+	2	МКИО	3.1.1	КД ГД
СОВИ	обзорно-прицельная	+	-	-	-	+	-	-	+	+	2	RS-485 ** RS-232 МКИО	3.1.2	О
БТИ	обзорная	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	RS-485	1.10	О ₁
БТИ-1	обзорно-прицельная	+	-	-	+	+	-	+	+	+	2	RS-485	1.10	О ₁
АТТ	обзорно-прицельная	+	-	+	+	+	-	-	+	-	1	RS-485 МКИО ARINC **	3.1.2	О ₁
АСТ	обзорно-прицельная	+	-	-	+	+	-	+	+	-	1	RS-485 МКИО	2.1.1 2.2.1	О ₁
ОВИ-МЗ(М2)	обзорно-прицельная	+	+	-	-	-	+	+	+	+	1-8	RS-485	1.7.1	О ₁ (КД ГК)
ТТА	обзорно-прицельная	+	-	-	-	+	+	+	+	+	2	-	1.7.1	О
СОВИ-ШТУРМ	обзорно-прицельная	+	-	-	+	+	-	-	+	-	2	RS-485	1.4.1	О
ВУВИ-АГ	поисковая	+	+	+	+	+	-	-	+	+	2	RS-232 *** RS-485	В5	КД ГК
БУВИ-01, -07, -08	поисковая	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	RS-485 RS-232	-	КД ГК
МКУВИ	вождения	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1.5.4	ITU-R **** BT.654-4	1.5.4	О ₁
БОВИ	обзорно-прицельная	+	+	+	+	+	+	+	+	+	1.3	R-422	1.3	О ₁
МЦОВИ	поисковая	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	RS-232	-	КД ГК

* - полный аналоговый входной/выходной видеосигнал для черно-белого телевидения по ГОСТ 7845-92

** - Fibre channel

*** - полный аналоговый цветной входной/выходной видеосигнал по ГОСТ 7845-92

**** - для выходных видеоданных.

Обозначения в таблице: УВ –улучшение видения; К –комплексирование; ЭС –электронная стабилизация; КК – компенсация крена; ЭМ –электронное масштабирование; АО –автоматическое обнаружение; АЗ –автоматический захват; ЭСл –электронное слежение (в поле зрения); АСЗК –автоматическое сопровождение в замкнутом контуре; Ц –число сопровождаемых целей.

На настоящий момент времени произведено около двухсот пятидесяти изделий, они успешно эксплуатируются, выполняя функции цифровой обработки изображений в наземных, морских и воздушных объектах ВВТ. Продолжаются работы по их дальнейшему совершенствованию как в части алгоритмического, так и аппаратного обеспечения в целях развития функциональности и повышения эффективности решаемых задач.

Литература

1. Зеленюк Ю.И., Алпатов Б.А., Костяшкин Л.Н., Романов Ю.Н. Видеокомпьютерные технологии в разработке обзорных и обзорно-прицельных систем// Мир Авионики, №1-2, 2000, с. 28-32.
2. Травникова Н.П. Эффективность визуального поиска. - М.:Машиностроение, 1985.
3. Орлов В.А., Петров В.И. Приборы наблюдения ночью и при ограниченной видимости.- М.: Воениздат, 1989.
4. Богданов А.П., Романов В.Ю., Романов Ю.Н. Комплексирование телевизионных и тепловизионных видеоизображений. Материалы 11-ой международной научно-технической конференции «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций», Рязань, 2002, с.41-43.
5. Зеленюк Ю., Костяшкин Л., Романов Ю., Давиденко В., Кузнецов С. Комплексирование разнеспектральной информации в приборе механика водителя// Военный парад, №6, 2006, с.40-42.
6. Алпатов Б.А., Селяев А.А. Алгоритм оценки местоположения объекта на двумерном изображении// Приборостроение, №5, 1988, с.21-27.
7. 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.
8. Алпатов Б. А., Блохин А.Н. Модели и алгоритмы обнаружения и выделения движущихся фрагментов изображений// Автометрия, №4, 1995, с.45-49.
9. Муравьев В.С., Муравьев С.И. Пространственно-временной алгоритм выделения объектов, наблюдаемых на облачных фонах // Цифровая обработка сигналов и ее применения. Тез. докл. 9-й междунар. конф. Том 2. – М.: 2007. – С. 375-377.

“OKHOTNIK” FAMILY OF MULTIPURPOSE VIDEOIMAGE PROCESSING SYSTEMS

Alpatov B.A., Blokhin A.N., Kostyashkin L.N., Romanov Y.N., Shapka S.V.

The paper presents the tasks and algorithmic support of “Okhotnik” videoimage processing system vision enhancement, automatic acquisition, target lock-on and tracking. It offers the vision enhancement operator algorithms, the algorithms of videoimage fusion implementation, the algorithms of different-type object selection against diversified background and the algorithm of line-of-sight control. The peculiarities of family system computing platforms in real time are also being analyzed in the paper. The developed modifications of “Okhotnik” family are also described here.

У в а ж а е м ы е а в т о р ы !

Редакция научно-технического журнала "Цифровая обработка сигналов" просит Вас соблюдать следующие требования к материалам, направляемым на публикацию:

1) Требования к текстовым материалам и сопроводительным документам:

- *Текст - текстовый редактор Microsoft Word.*
- *Таблицы и рисунки должны быть пронумерованы. На все рисунки, таблицы и библиографические данные указываются ссылки в тексте статьи.*
- *Объем статьи до 12 стр. (шрифт 12). Для заказных обзорных работ объем может быть увеличен до 20 стр.*
- *Название статьи на русском и английском языках.*
- *Рукопись статьи сопровождается:*
 - *краткой аннотацией на русском и английском языках;*
 - *номером УДК;*
 - *сведениями об авторах (Ф.И.О., организация, телефоны, электронная почта).*

2) Требования к иллюстрациям:

Векторные (схемы, графики) - желательно использование графических редакторов Adobe Illustrator или Corel DRAW.

- *Растровые (фотографии, рисунки) - М 1:1, разрешение не менее 300dpi, формат tiff.*