

Аппаратно-программная реализация мультиспектральных систем технического зрения

Бондаренко М. А., Бондаренко А. В.

Эл. почта: rastermsk@gmail.com

Москва, ООО «РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ», www.rastr.net

Аннотация

Рассмотрены ключевые проблемы и предложены способы их разрешения, связанные с разработкой и реализацией мультиспектральных систем, которые могут состоять из видеокамер, работающих в УФ (0.2-0.4 мкм), ТВ (0.4-0.9 мкм) и ИК (0.9-1.7 мкм, 3-5 мкм и 8-14 мкм) спектральных диапазонах. Указанные системы формируют комбинированный видеопоток, содержащий информационные признаки от имеющихся информативных спектральных видеоканалов. К таким проблемам относится в первую очередь совмещение разнотипных видеоизображений, а также автоматический выбор значимых каналов и их последующее комплексирование при условии, что полезная информация содержится хотя бы в двух видеоканалах.

Введение

Всё более широкое распространение получают мультиспектральные видеосистемы, которые формируют комбинированное видеоизображение, содержащее информационные признаки от используемых разнотипных каналов. Такие системы могут использоваться для оптико-электронной разведки, для повышения осведомлённости экипажей мобильной военной или гражданской техники, включая авиационную технику, при управлении в сложных погодных и суточных условиях. Достаточно широкую известность получили авиационные системы улучшенного видения (СУВ) для повышения информированности экипажей гражданских самолётов при пилотировании на наиболее ответственных участках [1].

Реализация универсальной мультиспектральной системы в рамках одного канала пока не представляется возможной в силу принципиально различающихся технологий изготовления матриц и отсутствия универсальной оптики, одинаково хорошо пропускающей э/м излучение в широкой области (0.2-14 мкм). Тем не менее, известны случаи реализации одноканальных мультиспектральных систем на одной однородной матрице расширенного спектрального диапазона. Например, видеокамера бельгийской фирмы Xenics [2], работающая в расширенном видимом диапазоне 0.4-1.7 мкм. Однако указанная цифровая камера проигрывает по чувствительности эквивалентной двухканальной видеосистеме с видимым (0.4-0.9 мкм) и ближним ИК каналом (0.9-1.7 мкм) у того же производителя.

Таким образом, разработка мультиспектральных систем сопряжена с рядом технических трудностей:

1. Наличие рассогласования полей зрения видеоканалов из-за разных матриц и объективов.
2. Параллакс видеокамер мультисенсорной системы, образующих между собой стереопары.
3. Необходимость юстировки оптических осей системы для достижения их параллельности.
4. Разное тепловыделение и теплопроводность разных датчиков могут приводить видеосистему к неравномерному нагреву и, как следствие, к неравномерной засветке видеоизображений в ИК диапазоне.
5. Проблема выбора алгоритма и приоритета комплексирования видеоканалов из-за сложности формализации понятия «информативность изображения» и проведения её количественной оценки, согласованной с визуальным восприятием.

На рис. 1 изображена тройка кадров, полученных одновременно трёхспектральной СУВ фирмы ООО «Квантово-оптические системы» [3]. Данное изделие по сути – набор из трёх видеодатчиков схожего разрешения и полей зрения в едином корпусе, и системой на самом деле не является, так как в нём не реализовано совмещение и комплексирование видеоканалов.



Рис. 1. Пример рассогласования ракурсов, полей зрения, формата кадров и неравномерной засветки при полёте в сравнительно простых погодных условиях.

Наблюдаемые на рис. 1 эффекты – результат типичного пренебрежения пунктами 1 – 4: разработчик системы решил ограничиться приобретением трёх готовых видеокамер со штатными объективами, поместив их в один ряд внутри полого металлического корпуса.

Ниже произведён разбор указанных проблем и вопросов, в котором рассматриваются методики и алгоритмы их эффективного разрешения.

Конструктив мультиспектральной системы

Предлагаемый конструктив без внешнего корпуса для трёх спектральной системы (ТВ, ближний и дальний ИК каналы) представлен на рис. 2:

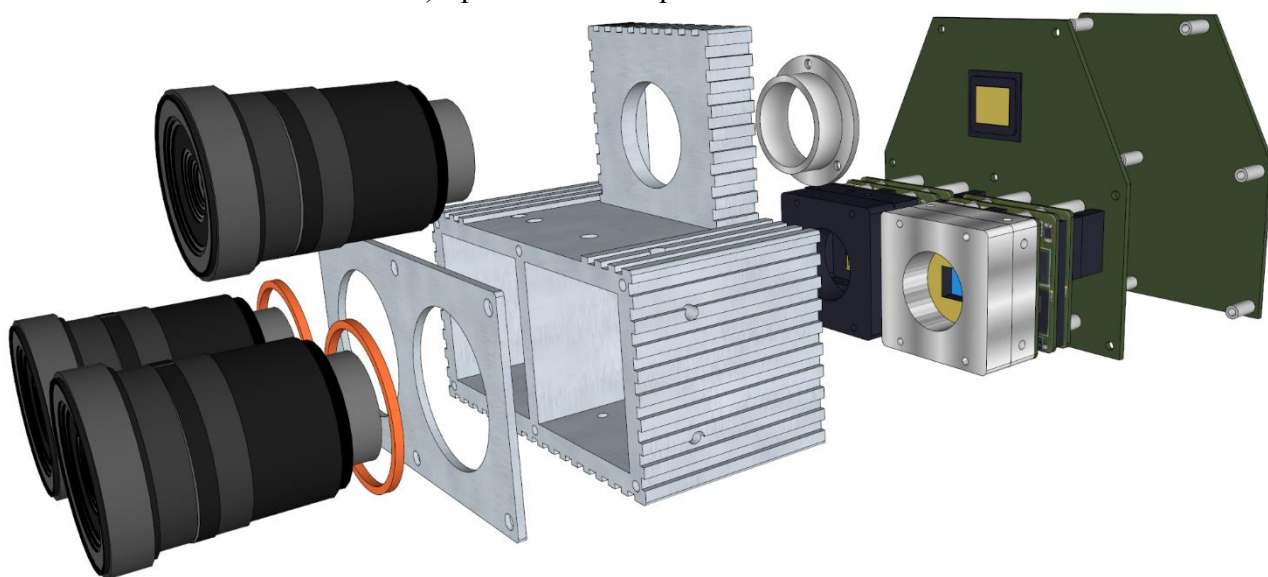


Рис. 2. Перспективный конструктив для трёхспектральной видеосистемы

Достижение приемлемой параллельности оптических осей достигается за счёт разработки единой платы фотоприёмников, куда вставляются видеоматрицы или видеомодули. Позиционирование видеокамер в готовых штатных корпусах представляется менее точным.

Проблема неравномерного нагрева изделия решается изготовлением внутреннего радиатора, плотно прилегающего к каждому из видеомодулей, служащего одновременно конструкцией для крепления объективов, рис. 2.

Минимизация параллакса между датчиками данной видеосистемы достигается за счёт расположения геометрических центров матриц и объективов соответственно в вершинах правильного треугольника с минимально допустимым конструктивом сторонами.

Видеоизображения и питание планируется передавать по единому кабелю, работающему по интерфейсу CoaXpress, что существенно повысит эргономику и надёжность системы.

Совмещение изображений в мультиспектральной системе

Совмещение видеоизображений может производиться как на аппаратном (вариофокальная оптика), так и на программном уровне (обработка изображений). Однако приобретение вариофокальной оптики существенно повысит конечную стоимость системы, не говоря уже об изготовлении на заказ видеоматриц с желаемым форматом и размерами элементов. К тому же вариофокальные объективы имеют меньшую светосилу и превосходят по массе и габаритам объективы с фиксированными фокусами.

В таблице 1 приведены реальные параметры трёхспектральной системы, разрабатываемой фирмой ООО «РАСТР ТЕХНОЛОДЖИ»:

Спектральный диапазон видеоматрицы, мкм	Фокус объектива, мм	Размер пикселя, мкм	Число пикселей по ширине и высоте	Поле зрения по ширине и высоте, градусы	Число эффективных пикселей по ширине и высоте	% эффективных пикселей от общего числа
0.4 – 0.9	25	9,7	1280 x 1024	27,89 x 22,47	1127 x 845	72,65
0.9 – 1.7	25	20	640 x 512	28,72 x 23,15	547 x 410	68,44
8 – 14	25	17	640 x 480	24,55 x 18,54	640 x 480	100

Таблица 1. Реальные параметры видеодатчиков разрабатываемой системы

В таблице 2 приведён оптимальный (желаемый) вариант по видеоматрицам, который не удалось найти, когда физические размеры их пикселей обратно пропорциональны разрешению видеоматриц:

Спектральный диапазон видеоматрицы, мкм	Фокус объектива, мм	Размер пикселя, мкм	Число пикселей по ширине и высоте	Поле зрения по ширине и высоте, градусы	Число эффективных пикселей по ширине и высоте	% эффективных пикселей от общего числа
0.4 – 0.9	25	10	1280 x 1024	28,72 x 23,15	1280 x 1024	100
0.9 – 1.7	25	20	640 x 512	28,72 x 23,15	640 x 512	100
8 – 14	25	20	640 x 512	28,72 x 23,15	640 x 512	100

Таблица 2. Оптимальные (желаемые) параметры видеодатчиков

В реальности % эффективных пикселей комбинированного изображения всегда будет ниже 100, так как видеоматрицы конструктивно не могут быть расположены в одном месте, что делает процедуру совмещения видеоизображений неотъемлемой частью алгоритмического обеспечения мультиспектральной видеосистемы.

Наиболее эффективным и наименее затратным представляется полностью программный способ совмещения видеоизображений с использованием методов компьютерной графики, основанный на наложении текстур видеоизображений на картинный полигон, размеры которого кратны размерам формируемого кадра. Совмещение достигается путём увеличения с интерполяцией и сдвига текстур на этом полигоне через изменение их текстурных координат так, чтобы объекты на комбинированном изображении не двоились.

Адаптивный алгоритм комплексирования изображений

Комплексирование изображений полезно только при наличии существенной информации в двух и более видеоканалах. Поэтому нужно уметь количественно оценивать их информативность.

Согласно исследованию [4], к существенным информационным признакам изображений относятся воспринимаемые детали (пространственные признаки), представляющие собой протяжённые перепады яркости, и спектральные контрасты или спектрально-энергетические признаки. В конечном счёте, безэталонную оценку информационных признаков изображения можно свести к оценке протяжённых перепадов его яркости. Для изображения, не содержащего протяжённых артефактов дискретизации, эффективен следующий алгоритм:

1. Вычисляют разность между максимумом \overline{max} и минимумом \overline{min} среднего модуля градиента яркости в скользящем окне 5x5 пикселей по изображению. Такой размер окна

соответствует минимальному размеру гарантированно воспринимаемых деталей объектов оператором. Вычисляемый показатель характеризует отношение сигнал/шум изображения.

2. Вычисляют сумму тех модулей градиентов яркости изображения, которые выше порогового значения $I_{max} * \frac{\min}{\max}$, где I_{max} – максимальное возможное значение яркости изображения. Данный порог объективно разделяет постоянную составляющую изображения (шумы) и перепады яркости, относящиеся к сигналу. Этот показатель характеризует меру насыщенности изображения воспринимаемыми объектами.
3. Произведение вычисленных показателей характеризует информативность изображения, то есть совокупность энергетики воспринимаемых объектов.

Для оценки приоритета видеоканалов вычисляют описанным способом информативность и её нормируют. Если вычисленный приоритет одного канала существенно ниже остальных, то его информационные признаки не будут заметно различимы на комбинированном изображении. Поэтому вводится адаптивное условие использования видеоканала $C_i > 0.25C_{max}$, где C_{max} – наибольший приоритет из всех каналов, а C_i - приоритет i -го канала.

После выбора информативных каналов необходимо осуществить их комплексирование. Согласно [4], наиболее перспективными представляются подходы на основе метода трёхмерной фильтрации [5], разработанного Дрынкиным В. Н., восстанавливающего многомерное сообщение по его отсчётам по элементам изображений и источникам их формирования. Область пропускания такого фильтра нижних частот (ФНЧ) рассчитана, исходя из общих свойств анизотропии человеческого зрения, и представляет собой аппроксимацию октаэдра в области нормированных частот. Совместная работа [6] продемонстрировала эффективную аппаратную реализацию трёхмерного ФНЧ на ПЛИС в видеопроцессоре для обработки движущихся изображений в реальном времени.

Заключение

Рассмотрены основные вопросы, связанные с разработкой мультиспектральной системы технического зрения. Предложено их эффективное аппаратное и программное решение на примере разработанной трёхспектральной системы.

Литература

1. E2VS Displays Potential as Breakthrough Product // Aviation week network. October 2015. URL: <http://aviationweek.com/nbaa-2015/e2vs-displays-potential-breakthrough-product>
2. Цифровая камера Xeva-1.7-320. URL: <http://www.xenics.com/ru/camera/xeva-17-320>
3. СУВ-МВ320. URL: http://www.qos.ru/ru/product_04.php
4. Бондаренко М. А., Дрынкин В. Н. Оценка информативности комбинированных изображений в мультиспектральных системах технического зрения // Программные системы и вычислительные методы. – 2016. – № 1. – С. 64–79. DOI: 10.7256/2305-6061.2016.1.18047
5. Дрынкин В. Н., Фальков Э. Я., Царёва Т. И. Формирование комбинированного изображения в двухзональной бортовой авиационно-космической системе, сборник трудов конференции ТЗСУ-2012. – С. 33-40, URL: http://www.iki.rssi.ru/books/2012_2tz.pdf
6. Бондаренко А. В., Докучаев И. В., Ядчук К. А., Бондаренко М. А., Дрынкин В. Н. Пространственно-временная фильтрация движущихся изображений // Техническое зрение. – 2014. – Вып. 1(5). URL: <http://magazine.technicalvision.ru/spatio-temporal-filtering-of-moving-images/>