

СОВМЕЩЕНИЕ СПЕКТРОЗОНАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

д.т.н., проф. А.И. Стрелков, к.т.н. А.А. Копылов, С.А. Сынчиков

В статье рассматриваются теоретические и практические вопросы повышения качества пространственного совмещения спектрозональных изображений в системах отображения видеоинформации. Предложено основным показателем пространственного совмещения спектрозональных изображений считать матрицу радиусов корреляции спектрозональных изображений. Экспериментально проверена возможность использования этой матрицы для формирования сигналов рассогласования в системе автоматического совмещения спектрозональных изображений (на примере разработанной системы контроля качества флексографической печати).

Постановка проблемы в общем виде. Одной из проблем при отображении спектрозональной либо цветной видеоинформации для визуального восприятия человеком является точное пространственное совмещение видеок кадров, полученных в различных спектральных диапазонах. Эти видеок кадры могут быть получены как одновременно, так и в разные моменты времени, как без перекрытия спектральных полос чувствительности оптических датчиков в случае спектрозональной съемки, так и с перекрытием – в случае цветной съемки. Повышение точности совмещения таких видеок кадров повышает качество синтезированных изображений, непосредственно воспринимаемых и анализируемых человеком, что имеет существенное значение для целого ряда научных и практических задач, начиная от дешифрирования данных дистанционного зондирования Земли и заканчивая созданием высококачественных цветных печатных репродукций различных изображений.

Анализ последних исследований и публикаций показал, что вопросам, связанным с совмещением спектрозональных изображений, уделяется достаточно много внимания. Так в [1] рассматривается методика комплексного дешифрирования аэрокосмических снимков, основанная на создании синтезированных изображений из отдельных синхронно получаемых спектрозональных снимков. Рассматриваются также вопросы оптимального синтеза изображений [2, 3], в том числе обеспечивающие заданный цвет объекта поиска [4]. В [5] обращается внимание на необходимость совмещения многозональных космических снимков, полученных в разные моменты времени, в том числе с большим интервалом

времени между ними. Однако вопросы автоматизации совмещения большого числа спектрональных изображений с использованием возможностей современной вычислительной техники остались нерассмотренными.

Целями данной статьи являются теоретическое рассмотрение формирования показателей пространственного совмещения большого числа спектрональных изображений $U_j(x,y)$ и экспериментальная проверка использования этих показателей для формирования сигнала рассогласования совмещения спектрональных изображений в соответствующей системе автоматической регулировки.

Теоретическое рассмотрение формирования показателей совмещения спектрональных изображений. Для упрощения построения математической модели совмещения большого числа m спектрональных изображений введем следующие допущения.

1. В первом приближении двумерная плотность, описывающая распределение яркости сигнала j -го спектрального канала $U_j(x,y)$ в декартовой прямоугольной системе координат, определяется по нормальному закону. Для упрощения математических выкладок процесс считаем эргодическим и стационарным. В этом случае поле характеризуется тремя параметрами – средним значением, корреляционной функцией и дисперсией, определяемой как значение корреляционной функции в точке $(0,0)$.

2. Поскольку ПЗС-матрица приемного устройства дает на выходе сигнал, дискретизированный по пространству с шагом dx и dy , равным размерам фоточувствительного элемента по осям x и y соответственно, необходимо учитывать ошибку дискретизации. Считаем эту ошибку равной $1/3$ размера элемента изображения.

Автокорреляционная функция (АКФ) и взаимно корреляционная функция (ВКФ) для соответствующих i -му и j -му каналам спектрональных изображений $U_i(x,y)$ и $U_j(x,y)$, принимающих участие в процессе синтеза изображения, определяется следующим образом:

$$B_{ij}(\Delta x, \Delta y) = \frac{1}{S} \iint_S U_i^0(x, y) U_j^0(x - \Delta x, y - \Delta y) dx dy; \quad (1)$$

$$U_i^0(x, y) = U_i(x, y) - m[U_i(x, y)]; \quad (2)$$

$$U_j^0(x - \Delta x, y - \Delta y) = U_j(x - \Delta x, y - \Delta y) - m[U_j(x, y)]; \quad (3)$$

$$m[U_i(x, y)] = \frac{1}{S} \iint_S U_i(x, y) dx dy, \quad (4)$$

где $B_{ij}(x,y)$ – авто- или взаимно корреляционная функция в зависимости от значений индексов «цвета» i, j ; $U_i(x,y)$ – функция, описывающая

изображение i -го спектрального канала; x, y – координаты в плоскости изображения матрицы ПЗС приемной видеокамеры; S – площадь активного элемента матрицы ПЗС; $\Delta x, \Delta y$ – смещение изображения (сигнала) по осям x и y соответственно.

С учетом выражения (1) составим матрицу дисперсий

$$\begin{pmatrix} B_{11}(0,0) & B_{12}(0,0) & \dots & B_{1m}(0,0) \\ B_{21}(0,0) & & & \dots \\ \dots & & & \dots \\ B_{m1}(0,0) & \dots & \dots & B_{mm}(0,0) \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Основной интерес представляют только диагональные элементы, определяющие интенсивность сигнала соответствующего спектрального канала.

Определим радиус корреляции, как расстояние, на котором функция, описываемая выражением (1), уменьшается в e раз относительно своего максимума

$$\rho_{ij} = \sqrt{(x_m - x_e)^2 + (y_m - y_e)^2}, \quad (6)$$

где (x_m, y_m) – аргументы функции (1), при которых она достигает максимума; (x_e, y_e) – аргументы функции (1), при которых она уменьшается в e раз относительно своего максимума.

Рассмотрим матрицу, составленную из радиусов корреляции

$$\begin{pmatrix} \rho_{11} & \rho_{12} & \dots & \rho_{1m} \\ \rho_{21} & & & \dots \\ \dots & & & \dots \\ \rho_{m1} & \dots & \dots & \rho_{mm} \end{pmatrix}. \quad (7)$$

Диагональные элементы (ρ_{11}, ρ_{22} и т.д.) матрицы радиусов корреляции определяют четкость полученного изображения в i -м канале датчика и позволяют контролировать интегральное качество снимка в этом отдельном канале вызванное многими факторами – влиянием флуктуаций атмосферы, дифракционным рассеянием и абберациями объектива, «смазыванием» за счет вибраций и за счет движения объекта съемки относительно камеры. Все прочие элементы определяют взаимное пространственное расхождение спектральных изображений.

Экспериментальная проверка использования предложенных показателей для формирования сигнала рассогласования совмещения спектральных изображений (на примере системы контроля качества печати на флексографическом оборудовании). Одной из задач контроля качества печати на флексографическом оборудовании является необхо-

димостью непрерывного визуального и/или автоматического контроля прецизионного совмещения в продольном направлении печатных валов, обеспечивающих одновременную печать 6 – 8 цветов на рулонных носителях при скорости подачи печатного материала до 80 м/мин. Принимая допущение, что каждому валу (цвету) соответствует свое спектрозональное изображение, получаем полную аналогию задачи совмещения спектрозональных изображений.

Решению задачи контроля качества флексографической печати служит стробоскопический метод контроля, в котором производится периодический синхронизированный ввод изображения текущего участка печатного материала с последующим его визуальным отображением или компьютерной обработкой. На рис. 1 представлено упрощенное схематическое представление основных узлов флексографического оборудования с элементами стробоскопического автомата (жирными стрелками обозначено направление прохождения печатного материала).

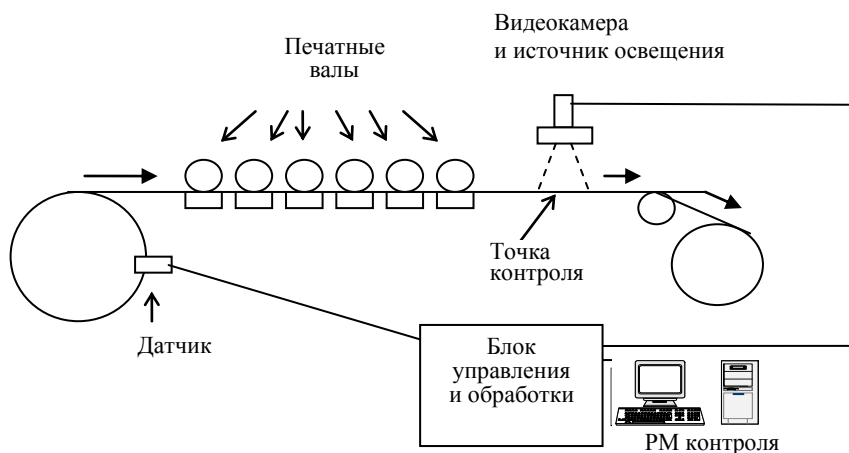


Рис. 1. Схема основных узлов флексографического оборудования с элементами системы контроля качества печати

Состав экспериментальной установки. Обычная схема построения стробоскопа для визуального контроля включает в себя датчик импульсов, прикрепленный к шестерне ведущего вала с фиксированным количеством зубьев, видеокамеру с возможностью запуска от внешнего триггера, видеодисплей, импульсный источник освещения и схему обработки и формирования сигналов управления. Построение подобных схем на специализированных элементах малой и средней степени интеграции не позволяет расширять функциональные возможности прибора в целом и обладает высокой стоимостью. Указанных недостатков можно избе-

жать, применив схему управления на базе современного промышленного компьютера. Исходя из расчетных параметров процесса контроля флексографической печати и для упрощения схемы построения было принято решение вести управление компонентами прибора через параллельный порт промышленного компьютера архитектуры уровня Pentium-III и произведен следующий выбор комплектующих: **камера** – тип Sony DFW-VL500 с интерфейсом IEEE1394, встроенным 12-кратным трансфокатором и внешним триггером затвора; **видеодисплей** – на базе ЭЛТ с рабочим разрешением 640x480 элементов, частота вертикальной развертки 100 Гц, глубина цвета 32 бита; **датчик** – электромагнитный, с подачей сигнала уровня TTL на вход прерывания параллельного порта; **источник освещения** – импульсный, высокой интенсивности, с длительностью импульса света в 5 мксек; **механический привод каретки** – на базе шагового двигателя с результирующим шагом поперечного перемещения приемного модуля в 0,65 мм.

Управление и синхронизация триггера камеры и источника освещения проводится через соответствующие цепи развязки от регистров статуса, управление механическим приводом – от регистров данных порта.

На рис. 2 отображены структура аппаратного и программного обеспечения экспериментальной установки для автоматического совмещения спектрозональных изображений.

Программное обеспечение экспериментальной установки было реализовано для операционной системы Windows 2000 Pro и состоит из нескольких модулей на разных программных уровнях.

На уровне ядра системы были реализованы:

- **драйвер поддержки работы с видеокамерой** через интерфейс IEEE1394 (запись/чтение внутренних регистров управления и статуса камеры, прием и первичная обработка формата отдельных видеокадров);

- **драйвер управления и синхронизации внешнего оборудования** через последовательный порт в режиме SPP (обработка прерываний от датчика движения, формирование и выдача синхроимпульсов запуска для триггера затвора камеры и источника импульсного освещения, выдача заданных кодовых комбинаций на управляющую микросхему шагового двигателя механического привода).

Программное обеспечение высокого уровня выполняет следующие функции:

- преобразование цветовых плоскостей YUV422-RGB каждого отдельного кадра с видеокамеры для отображения на экране;
- визуализацию кадра;
- при работе в автоматическом режиме – буферизацию последова-

тельности кадров и проведение их сравнения для подстройки момента начала синхронизации камеры;

- оценку в установившемся синхронном режиме степени совмещения нанесения красителей разного цвета на образцовом участке печати (паттерне) и выдача предупреждения оператору при выходе этого параметра за критический уровень;

- поддержку интерфейса пользователя для работы с параметрами устройства через экранное меню.

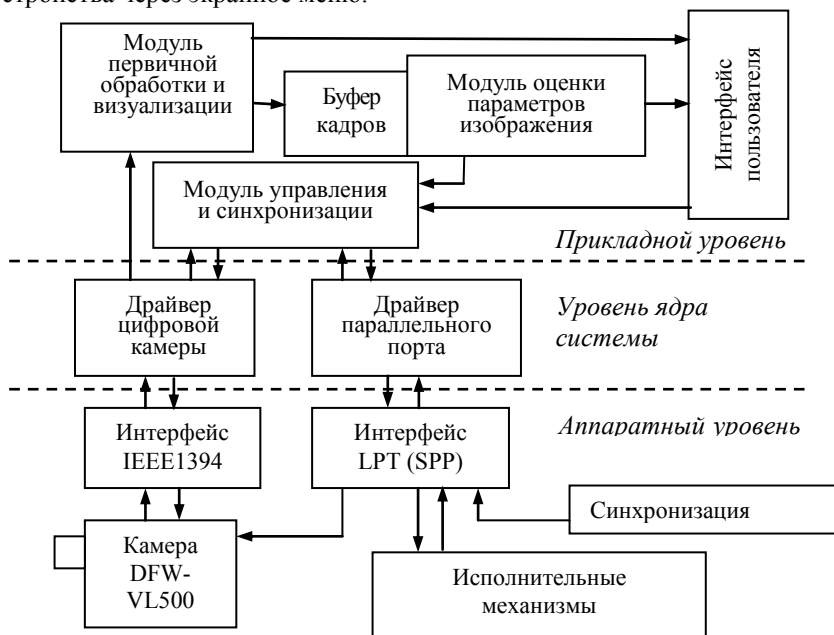


Рис. 2. Структура аппаратного и программного обеспечения экспериментальной установки

С точки зрения применения методов обработки видеок кадров и автоматизированного принятия решения об отклонении параметров изображения от заданных, наибольший интерес представляет реализация модуля оценки параметров изображения на прикладном уровне. На рис. 3 представлена возможная форма образцового паттерна при нормальной работе (а) и при возникновении несведения одного из печатающих валов (б). Из рисунка видно, что величина отклонения может быть оценена в абсолютных величинах путем разделения цветовых составляющих образцового элемента печати и вычисления расстояния между ними. В связи с тем, что положение несмещенных цветовых меток в синхронизированной системе остается неизменным от кадра к кадру, определение относительного смещения мо-

жет быть проведено независимо по каждому цвету, участвующему в печати для устранения кратных ошибок. В этом случае возникшее рассогласование печатных валов оценивается относительно ранее установленного условного центра (на рис. 3, в отмечен тонкой пунктирной линией).

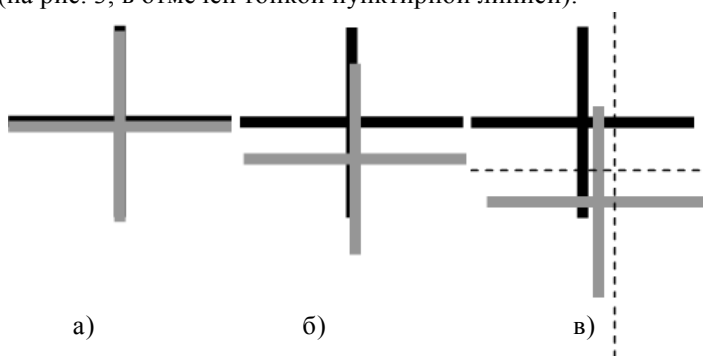


Рис. 3. Изображение образцового паттерна при нормальной работе и вариантах несведения спектрональных изображений

Алгоритмически слежение за совмещением меток проводится в два этапа. При поступлении в систему каждого нового кадра для него производится вычисление автокорреляционной функции, после чего проводится сравнение этого параметра с вычисленными ранее. При отклонении результата выше заданного предела проводится построчный анализ пикселей изображения для определения границ цветовых переходов. После обнаружения таких границ и определения рассогласованного цвета вычисляется абсолютное отклонение положения печатного вала от условного центра, определенного в момент первичной или повторной синхронизации системы. При несоответствии такого отклонения установленным нормам качества для конкретного печатного оборудования выдается предупреждение оператору и, при наличии установленных исполнительных механизмов, производятся необходимые автоматические регулировки углов поворота печатных валов.

Несколько упрощенная реализация этого принципа нашла применение в модуле автоматической подстройки синхронизации системы. В данном режиме производится последовательный перебор программных коэффициентов деления входящих синхроимпульсов, вычисление АКФ для каждого кадра, последовательное сравнение результатов и фиксирование момента синхронизации при их совпадении. Описанная экспериментальная система контроля качества флексографической печати прошла тестирование и в настоящий момент находится в промышленной эксплуатации на полиграфическом производстве ЗАО «Полиэмос», г. Харьков.

Выводы. Таким образом, использование АКФ, ВКФ и матрицы радиусов корреляции позволяет контролировать как четкость отдельных снимков, полученных в каждом спектральном канале, так и взаимное пространственное расхождение спектрозональных изображений ($m \approx 4 - 10$). Это позволяет автоматизировать процесс их совмещения с использованием промышленной микроЭВМ в реальном времени, что было практически подтверждено на примере системы контроля качества печати на флексграфическом оборудовании ($m = 6$).

Дальнейшие исследования будут направлены на анализ причин пространственного расхождения изображений при гиперспектральной съемке ($m \approx 10^2, 10^3$) и исследование возможности их автоматического совмещения в реальном масштабе времени с использованием современной цифровой техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фроленко В.М. Методика комплексного дешифрования зональных аэрокосмических снимков с использованием оптического прилада синтеза // *Космична наука і технологія*. – 1997. – Т. 3, № 5/6. – С. 47 – 54.
2. Фроленко В.М. Оптимальне цифрове синтезування зональних аэрокосмічних зображень // *Космічна наука і технологія*. – 1998. – Т. 4, № 2/3. – С. 51 – 57.
3. Фроленко В.М. Моделі оптимального синтезування зональних аэрокосмічних знімків // *Космічна наука і технологія*. – 1999. – Т. 5, № 2/3. – С. 13 – 21.
4. Фроленко В.М. Цифрове синтезування зональних аэрокосмічних зображень, яке забезпечує заданий колір об'єктів // *Космічна наука і технологія*. – 1999. – Т. 5, № 1. – С. 32 – 37.
5. Лялько В.И., Сахацкий А.И., Ходоровский А.О. Интеркалибровка разновременных многозональных космических снимков для экологического мониторинга (на примере исследования зоны влияния аварии на ЧАЭС) // *Космічна наука і технологія*. – 1997. – Т. 3, № 3/4. – С. 54 – 58.

Поступила 14.04.2003

СТРЕЛКОВ Александр Иванович, доктор техн. наук, профессор, главный научный сотрудник научного центра при ХВУ. В 1968 году окончил ВИРТА ПВО. Области научных интересов – квантовая электроника, прикладная оптика, оптико-электронные средства в статистической обработке оптических сигналов.

КОПЫЛОВ Александр Алексеевич, канд. техн. наук, начальник НИЛ научного центра при ХВУ. В 1982 году окончил радиофизический факультет ХГУ. Области научных интересов – оптико-электронные системы, оптические информационные технологии, обработка изображений.

СЫНЧИКОВ Станислав Александрович, аспирант ХНУРЭ. В 1991 году окончил радиофизический факультет ХГУ. Область научных интересов – обработка оптических и радиоизображений, компьютерные технологии.