

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
А В Т О М Е Т Р И Я

№ 1

1993

УДК 621.391

П. Г. Попов
(Новосибирск)

СОВМЕЩЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ТЕЛЕВИЗИОННОГО
И ТЕПЛОВИЗИОННОГО КАНАЛОВ

Предложена процедура совмещения изображений различных диапазонов длин волн, в частности, рассмотрен вопрос совмещения телевизионного и тепловизионного изображений. Приведены экспериментальные результаты.

Совмещение изображений, получаемых по каналам в различных диапазонах волн, может осуществляться, по крайней мере, двумя способами: юстировкой оптических каналов и совмещением оцифрованных изображений.

Предварительная оптическая настройка двух каналов необходима для того, чтобы объект находился по возможности в центре поля зрения обоих каналов. Подобная операция производится юстировкой оптических трактов телевизионного (ТВ) и тепловизионного (ТПВ) каналов по объекту, расположенному на бесконечности.

Однако этой операции явно недостаточно для многих приложений. Во-первых, это связано с тем, что ее нельзя провести точно. Во-вторых, в процессе работы может произойти разъюстировка каналов. В-третьих, на согласовании каналов сказывается изменение дальности наблюдения. И наконец, совмещение каналов должно быть семантическим, т. е. соответствовать наилучшему визуальному совмещению изображений. Последнее условие не достигается простым совмещением полей зрения каналов, так как сами изображения имеют существенно различный характер, в частности, ТПВ-изображение характеризуется флуктуирующей кромкой объекта, положение и распределение яркости которой зависят от окружающего объекта фона. Поэтому необходимо окончательное совмещение каналов производить методами цифровой обработки изображений.

Изображения одной и той же сцены, полученные в разных спектральных диапазонах, могут существенно отличаться по яркости друг от друга. По этой причине координатное совмещение изображений часто не может быть произведено традиционными методами, например при использовании взаимной корреляционной функции.

Эту задачу можно решить, используя локальные анизотропные признаки изображений (ЛАП) [1—3]. При этом каждый элемент изображения описывается условным числом (кодом), соответствующим общей направленности его окрестности, где под направленностью окрестности понимается направление, перпендикулярное направлению, соответствующему наибольшей мощности фурье-спектра данной окрестности.

Достаточно использовать пять классов признаков [4]. Четыре из них соответствуют преобладающим корреляционным связям окрестности, составляющим углы 0, 45, 90 и 135° с вертикалью (классы 1—4). Пятый класс составляют окрестности с изотропной структурой.

Окрестности всех точек одинаковы и для удобства вычислений имеют форму квадрата. Для адекватного представления структуры изображения линейный размер окрестности не должен превышать величину интервала ав-

токорреляции исходного изображения. Классы могут нумероваться произвольно, условно выбранными числами. Номер класса окрестности рассматриваемой точки изображений принимается в качестве признака этой точки, т. е. ЛАП. Таким образом формируется пятиградационное псевдоизображение, каждая точка которого описана номером класса окрестности. Для определения класса окрестности на практике достаточно проанализировать мощность эле-

При распознавании объектов с небольшим числом элементов разложения (порядка 16×16) методы, основанные на корреляционном анализе обрабатываемых и эталонных изображений, становятся малоэффективными, поскольку при наличии даже малого шума максимальные значения авто- и кросскорреляционных функций незначительно отличаются друг от друга [5]. При использовании ЛАП удастся работать с объектами меньших размеров.

ЛАП, являясь, по сути дела, детекторами перепадов яркости, реагируют на присутствие перепада яркости независимо от формы и величины перепада. Поэтому ЛАП допускают яркостные преобразования исходных изображений, которые, изменяя величину перепадов, не приводят к их исчезновению или появлению ложных контуров.

Опираясь на эти свойства ЛАП, можно ожидать, что изображения, имеющие близкую геометрическую структуру, будут иметь и близкие описания в пространстве признаков.

На рис. 1 приведено изображение грузовика, полученное в видимом (а) и тепловом (b) ($3 + 5$ мкм) диапазонах длин волн. На рис. 2, а, b представлены те же изображения в закодированном виде. Для наглядности на рис. 2 ЛАП представлены в виде направлений. Исходные изображения имеют размер 32×32 элемента разложения, а кодирование производилось по окрестностям размером 4×4 элемента.

Для изображений, описанных ЛАП, вводятся специальные меры близости в пространстве признаков. Наиболее простой из предложенных [1] мер близости является величина

$$S = \sum_j \sum_k \delta |B_1(j, k) - B_2(j, k)|,$$

где $B_1(j, k)$ и $B_2(j, k)$ — элементы сравниваемых изображений, а

$$\delta(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } x = 0; \\ 0 & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

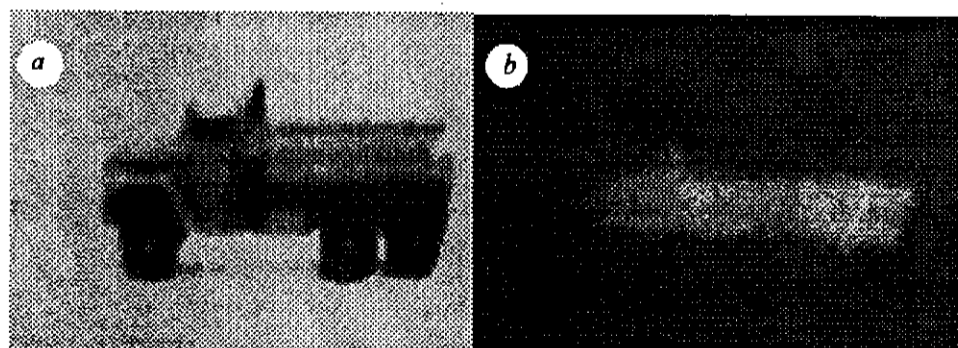


Рис. 1

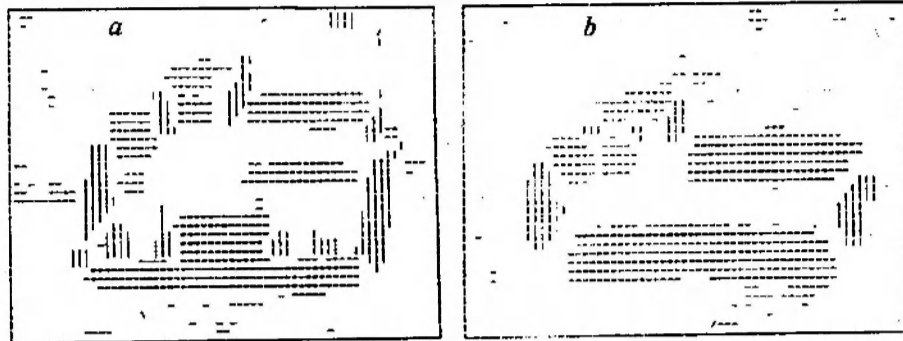


Рис. 2

Иными словами, S дает количество совпадающих элементов изображений при их совмещении. При перемещении эталонного изображения по анализируемому фрагменту образуется матрица меры близости (аналог корреляционной матрицы), по максимальному значению которой осуществляется координатная привязка эталона.

Для совмещения изображения, полученные в обоих каналах, кодировались с использованием окрестностей одного и того же размера. Затем осуществлялась координатная привязка изображений: в одном из каналов выбиралось эталонное изображение и определялось его местоположение на другом изображении.

Проведенные эксперименты показали, что ТВ- и ТПВ-каналы согласуются друг с другом, но наличие ложных пиков не позволяет непосредственно осуществить надежную привязку изображений.

Для выяснения причин появления ложных пиков и малого контраста истинных пиков были проведены статистические исследования коэффициентов Фурье по окрестностям размером 4×4 элемента и изображениям размером 32×32 элемента разложения. Исследования показали, что амплитуда спектра Фурье на высоких пространственных частотах имеет различный характер для ТВ- и ТПВ-изображений.

В случае ТВ-изображения в этих компонентах содержится информация о мелких деталях объекта и фона.

В ТПВ-изображениях отсутствуют мелкие информационные детали, что связано с достаточно плохим качеством изображения, формируемого существующими ТПВ-системами. Однако наличие высокочастотного шума в ТПВ-изображениях ведет к росту коэффициентов Фурье на высоких частотах.

Таким образом, рассматриваемые каналы не согласуются по интервалам автокорреляции и высоким пространственным частотам. Для устранения этого недостатка достаточно провести предварительную фильтрацию высоких частот при выделении признаков.

Типичный спектр телевизионного изображения можно описать соотношением [6]

$$S(\omega_x, \omega_y) = \frac{2a_s^2 \bar{\epsilon}}{S_u(a_s^2 + \omega_x^2)(a_s^2 + \omega_y^2)} + \frac{2\pi^2}{S_u} \bar{\epsilon} \delta(\omega_x) \delta(\omega_y),$$

где a_s — параметр, определяющий характер изображения и равный обратной величине интервала корреляции; S_u — площадь изображения; $\bar{\epsilon}$ — средняя энергия изображения; δ — дельта-функция Дирака.

Если частоты в спектре Фурье считать эквидистантными, а ω_0 — частотой основной гармоники, то для коэффициентов Фурье основной и второй гармоник в случае окрестности размером 4×4 имеем

$$S(\omega_0, 0) = \frac{2a_s^2 \bar{\epsilon}}{S_u(a_s^2 + \omega_0^2)a_s^2}, \quad S(2\omega_0, 0) = \frac{2a_s^2 \bar{\epsilon}}{S_u(a_s^2 + 4\omega_0^2)a_s^2},$$

$$S(\omega_0, \omega_0) = \frac{2a_s^2 \bar{\epsilon}}{S_u(a_s^2 + \omega_0^2)(a_s^2 + \omega_0^2)}, \quad S(2\omega_0, 2\omega_0) = \frac{2a_s^2 \bar{\epsilon}}{S_u(a_s^2 + 4\omega_0^2)^2}.$$

Тогда отношения коэффициентов Фурье по координатным осям и диагоналям будут равны:

$$\frac{S(\omega_0, 0)}{S(2\omega_0, 0)} = \frac{a_s^2 + 4\omega_0^2}{a_s^2 + \omega_0^2}, \quad (*)$$

$$\frac{S(\omega_0, \omega_0)}{S(2\omega_0, 2\omega_0)} = \frac{(a_s^2 + 4\omega_0^2)^2}{(a_s^2 + \omega_0^2)^2} = \left[\frac{S(\omega_0, 0)}{S(2\omega_0, 0)} \right]^2.$$

Последние соотношения можно переписать через эквивалентные величины в пространственной области: размер изображения (площадь) и площадь автокорреляции Δ_k .

Основная частота связана с размером изображения соотношением $a_s^2 = \frac{1}{\Delta_k}$. Соотношение (*) сводится к следующему:

$$\frac{S(\omega_0, 0)}{S(2\omega_0, 0)} = \frac{1 + 4 \frac{\Delta_k}{S_u}}{1 + \frac{\Delta_k}{S_u}}.$$

Анализ изображений, приведенных на рис. 1, показывает, что $\bar{\Delta}_k \cong 32$ элементам. Следовательно,

$$\frac{S(\omega_0, 0)}{S(2\omega_0, 0)} = \frac{1 + 4 \frac{32}{(16)^2}}{1 + \frac{32}{(16)^2}} = \frac{12}{9} \cong 1,3 = \frac{1}{k_0},$$

$$\frac{1}{k_1} = \left(\frac{1}{k_0} \right)^2 \cong 1,78,$$

где

$$k_0 = \frac{S(2\omega_0, 0)}{S(\omega_0, 0)}, \quad k_1 = \frac{S(2\omega_0, 2\omega_0)}{S(\omega_0, \omega_0)}, \quad k_0 = 0,75, \quad k_1 = 0,56.$$

Следовательно, можно не вычислять высокочастотные составляющие спектра, а находить их, пользуясь аналитическими выражениями:

$$S(2\omega_0, 0) = k_0 S(\omega_0, 0),$$

$$S(2\omega_0, 2\omega_0) = k_1 S(\omega_0, \omega_0).$$

Пользуясь обозначениями классов, запишем выражения для сумм элементов энергетического спектра по направлениям (без учета нулевой частоты):

$$S_{1,3} = S(\omega_0, 0) + S(2\omega_0, 0) = S(\omega_0, 0)[1 + k_0],$$

$$S_{2,4} = S(\omega_0, \omega_0) + S(2\omega_0, 2\omega_0) = S(\omega_0, \omega_0)[1 + k_1].$$

Для частного случая $\Delta_k = 32$ получаем

$$S_{1,3} = S(\omega_0, 0)1,75,$$

$$S_{2,4} = S(\omega_0, \omega_0)1,56.$$

После проведенной коррекции сумм определяется класс окрестности.

Для процедуры совмещения находится местоположение эталонного фрагмента ТВ-изображения на ТПВ-изображении и наоборот. Разность полученных и исходных координат эталона дает относительное смещение изображений в каналах наблюдения. При этом говорить о правильном совмещении можно только в случае, когда разности ТВ — ТПВ и ТПВ — ТВ привязок совпадают.

При проведении экспериментов эталонные фрагменты выбирались размером 16×16 элементов разложения. Нормированный график меры близости закодированных изображений показан на рис. 3.

Применение предложенной процедуры позволяет производить устойчивое совмещение ТВ- и ТПВ-изображений, а также изображений, полученных в других спектральных диапазонах либо при разных условиях съемки.

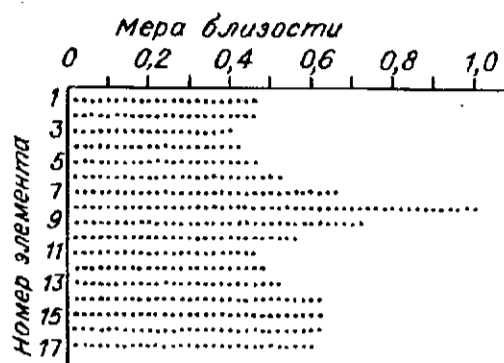


Рис. 3

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов П. Г., Порядина С. А. Кодирование изображений локальными анизотропными признаками // Оптические и оптико-электронные средства обработки информации.—Л.: ЛФТИ, 1989.
2. Попов П. Г., Порядина С. А., Солнышков А. А. Амплитудно-фазовая коррекция изображений // Проблемы создания и практического использования оптических процессоров реального масштаба времени: Тез. докл.—Черкассы: КГУ, 1989.
3. Попов П. Г., Порядина С. А. Построение анизотропных фильтров для коррекции строчных геометрических шумов // Автометрия.—1991.—№ 2.
4. Лебедев Д. С. Статистическая модель изображения // Иконика: Пространственная фильтрация изображений. Фотографические системы.—М.: Наука, 1970.
5. Потатуркин О. И., Стерник Г. А. Распознавание объектов на основе синтаксического описания их контуров // Автометрия.—1991.—№ 2.
6. Красильников Н. Н. Теория передачи и восприятия изображений.—М.: Радио и связь, 1986.

Поступила в редакцию 1 апреля 1992 г.