

УДК 681.3.01:519.67

Модуль комплексирования каналов

И. В. Борисова, В. Н. Горенок, А. Н. Опарин, П. Г. Попов
ГУП "Сибирский научно-исследовательский институт оптических систем",
г. Новосибирск, Россия

Разработанный модуль комплексирования каналов осуществляет совместную обработку многоспектральной информации, преобразование ее в единое изображение и представление на общем дисплее. Метод компиляции изображений, использованный при реализации модуля, основан на анализе и комбинировании спектров Фурье локальных окрестностей изображений. Метод применим для любого количества каналов наблюдения и не зависит от их спектрального диапазона, в частности, реализована компиляция изображений видимого и ИК-диапазонов.

Под термином "комплексирование" нескольких каналов наблюдения прежде всего понимаются форматное и масштабное совмещение входных изо-

бражений, компенсация относительного дрейфа оптических осей каналов, а также компиляция, т. е. получение из входных видеоданных единого (интегрированного) изображения. Изображения, получаемые по различным каналам, могут существенно отличаться одно от другого по своим характеристикам. Если при этом рассматривать широкий ряд приборов, которые могут быть включены в состав комплексированной оптико-электронной аппаратуры (ТВ, НТВ, ТПВ, лазерный и другие каналы), то становится ясно, что в общем случае для компиляции требуется не каноническое яркостное представление изображений, а некоторое унифицированное описание и правила работы с ним.

Требования, предъявляемые к методу компиляции изображений:

компилированное изображение должно отличаться от исходных изображений более высоким качеством (визуальным — для наблюдения, признаковым — для распознавания и т. д. в зависимости от поставленной задачи);

качество компилированного изображения должно быть, по крайней мере, не хуже качества исходного изображения при блокировании (поражении или зашумлении) каких-либо остальных каналов наблюдения;

метод компиляции изображений не должен опираться на точное знание статистических характеристик изображений и шумов;

метод компиляции должен обеспечивать работу с любым количеством каналов наблюдения, независимо от их спектрального диапазона и сочетания.

В представленной работе рассмотрен один из подходов к решению данной задачи, реализованный концептуально, алгоритмически и аппаратно.

Компиляция изображений по многоканальным данным

Для каждой точки изображения рассмотрим спектр Фурье ее локальной окрестности, на который накладываются направленные фильтры. Эти фильтры проходят через начало координат Фурье-плоскости и вырезают сектора спектра в направлениях, составляющих углы $0, 45, 90, 135^\circ$ с вертикалью [1]. В случае дискретного преобразования Фурье направленные фильтры вырезают центральную строку, центральный столбец и две диагонали в матрице ДПФ. Энергию спектров, полученных после фильтрации, обозначим, соответственно, E_1, E_2, E_3, E_4 . Максимальную из этих энергий обозначим E_M , а энергию в перпендикулярном направлении — E_Π . Степень анизотропии окрестности может быть выражена отношением

$$S = E_\Pi / E_M. \quad (1)$$

Априорно предполагается, что изображения имеют одинаковый масштаб и совмещены. Общая схема двухканальной компиляции выглядит следующим образом.

Пусть $u(x, y)$ — входное изображение, его преобразование Фурье $F(\omega_1, \omega_2) = |F(\omega_1, \omega_2)| \exp(i\Theta(\omega_1, \omega_2))$. Амплитудный синтез определяется как синтез сигнала $u_1(x, y)$, который должен иметь преобразование Фурье $F\{u_1(x, y)\} = |F(\omega_1, \omega_2)|$. Соответственно, фазовый синтез дает сигнал $u_2(x, y)$, который должен иметь преобразование Фурье вида

$$F\{u_2(x, y)\} = A(\omega_1, \omega_2) \exp(i\Theta(\omega_1, \omega_2)), \quad (2)$$

где $A(\omega_1, \omega_2)$ — либо единица, либо (в общем случае) амплитудная функция, которая тем или иным образом представляет определенный класс сигналов, но не связана с какой-либо информацией о конкретном сигнале.

Если в выражении (2) первый сомножитель будет представлять собой амплитудную информацию об одном изображении, а второй сомножитель — фазовую информацию о другом изображении, то, произведя обратное преобразование Фурье, можно получить изображение, содержащее информацию об обоих исходных изображениях.

Применение такого подхода ко всему изображению не дает желаемого результата, так как амплитудная информация рассеивается в полученном изображении, т. е. "переадресуется" фазовой информацией. Выходом из этого положения служит переход к локальной обработке изображений.

Выберем квадратное окно, соответствующее окрестности размером $l \times l$ элементов, и будем сканировать этим окном одновременно оба исходных изображения. На каждом шаге сканирования в выбранном окне производится процедура замешивания амплитудной и фазовой частей спектров, после чего выполняется обратное преобразование Фурье. Из полученного компилированного изображения запоминается только одна точка (например, левая верхняя), но ее координаты относительно окна не меняются при дальнейшем сканировании.

Рассмотренный алгоритм может быть легко модифицирован для компиляции трех и более изображений. При компиляции более двух исходных изображений отдельно синтезируются фаза и амплитуда результирующего изображения. Для формирования фазового спектра одновременно для всех изображений проводится оконная обработка аналогично тому, как это описано выше. На каждом шаге обработки из всех окон выбирается наилучшее в смысле принятого критерия. В данном случае выбирается окно, имеющее наибольшую анизотропию спектра, т. е. выбирается фазовая составляющая того из исходных изображений, где минимально отношение (1).

Формирование амплитудной составляющей не имеет смысла, поскольку изображения могут разительно отличаться одно от другого по яркости. Амплитуда $A(\omega_1, \omega_2)$ может быть взята из канала, выбранного априорно. Кроме того, канал, поставляющий амплитуду, может быть найден и в процессе работы как лучший по какому-либо критерию. Например, может быть выбран канал с максимальной дисперсией значений яркости. Естественно, что перед началом работы такой системы должно быть проведено тестирование каналов.

Главной проблемой компиляции изображений для визуального их отображения является "сохранение рисунка": важные детали компонент изображения должны быть представлены на результирующем сводном изображении, в то время как сама процедура компиляции не должна вносить элементов искажения. Однако слияние изображений различных каналов кроме положительного результата, заключающегося в объединении важных деталей каждого из изображений, имеет и отрицательный эффект: появление мелких малозначачих деталей, создающих хаотичную структуру. Окрестности с такой структурой не имеют четко выраженной анизотропии спектра. Поэтому будем рассматривать такой вид окрестностей как изотропные. Разделение окрестностей на изотропные S_0 и анизотропные S_1 производится в автоматическом режиме с помощью эффекта отскока [2]. Чтобы избежать потерь качества изображения, для компиляции используется не исходный спектр окрестности, а спектр, полученный в результате фильтрации в направлении m (в этом направлении энергия спектра максимальна). Значение нулевой частоты при этом остается неизменным. Для окрестностей, принадлежащих классу S_0 , сохраняется только нулевая частота.

Таким образом, для формирования итогового компилированного изображения $u_c(x, y)$ из нескольких исходных необходимо выбрать изображение $u_1(x, y)$ со спектром $F_1(\omega_1, \omega_2)$, поставляющее амплитудную часть, и изображение $u_2(x, y)$ со спектром $F_2(\omega_1, \omega_2)$, поставляющее фазовую часть. При этом изображения $u_1(x, y)$ и $u_2(x, y)$ могут совпадать. Синтезированная спектральная матрица $F_c(\omega_1, \omega_2)$ формируется следующим образом:

а — если $F_2 \in C_1$, то

$$F_c(0, 0) = F_1(0, 0); F_c(\omega_1, \omega_2) = F_2(\omega_1, \omega_2) \text{ при } \omega_1, \omega_2 \neq 0;$$

б — если $F_2 \in C_0$, то

$$F_c(0, 0) = F_1(0, 0); F_c(\omega_1, \omega_2) = 0 \text{ при } \omega_1, \omega_2 \neq 0.$$

Процедура обработки предполагает восстановление одного элемента изображения. Наиболее простой случай — восстановление элемента $u_c(0, 0)$, для его восстановления не требуется выполнять обратное преобразование Фурье. Рассмотрим быстрый алгоритм для каждого из случаев формирования синтезированной спектральной матрицы:

$$а — u_c(0, 0) = \frac{1}{l^2} \left(\sum_{\omega_1, \omega_2 \neq 0} \operatorname{Re} |F_2(\omega_1, \omega_2)| + F_1(0, 0) \right) =$$

$$= u_2(0, 0) + \frac{1}{l^2} |F_1(0, 0) - F_2(0, 0)|;$$

$$б — u_c(0, 0) = F_1(0, 0)/l^2.$$

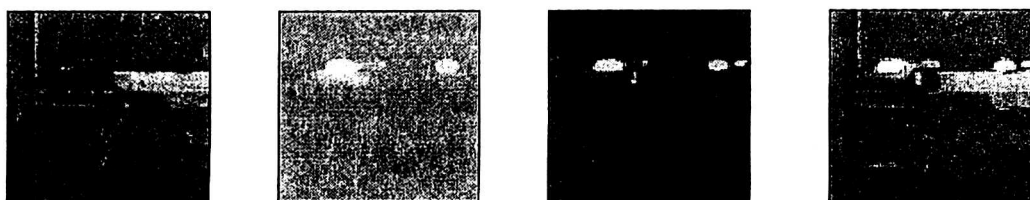
Реализация модуля комплексирования каналов

Предложенный метод компиляции изображений был положен в основу разработанного модуля комплексирования каналов. При реализации последнего использован быстрый алгоритм компиляции. Модуль комплексирования каналов выполнен на нейропроцессорах NM6403, обеспечивающих работу в режиме времени, близком к реальному. Модуль комплексировывает три канала наблюдения — низкоуровневый ТВ; ИК 3—5 мкм; ИК 8—14 мкм.

Для устойчивого функционирования с заданными характеристиками необходимо не менее одного канала. Максимальный формат входных изображений — 582×752.

Совмещение разноформатных изображений выполняется на пирамиде изображений [3]. Выбор разрешения и масштаба представляет собой компромисс между наибольшим и наименьшим из имеющихся разрешений. Согласование исходных изображений по разрешению проводится с учетом того, что повысить разрешение "худшего" изображения невозможно, а понизить разрешение "лучшего" изображения с возможностью последующего восстановления вполне реально. Совмещение изображений осуществляется предварительной юстировкой оптических каналов и дополнительным совмещением оцифрованных изображений [4].

На рисунке приведен пример работы модуля комплексирования с изображениями видимого и ИК-диапазонов. Компилированное изображение содержит как объекты видимого диапазона, так и объекты, не различимые на ТВ-изображении, но видимые в ИК-диапазоне.



а

б

в

г

Работа модуля комплексирования:

а, б, в — исходные изображения; г — результат компиляции

Исследования модуля комплексирования показали повышение отношения сигнал/шум в компилированном изображении по сравнению с любым из используемых каналов.

Л и т е р а т у р а

1. Кунт М., Икономопулос А., Кошер М. Методы кодирования изображений второго поколения // ТИИЭР. 1985. Т. 73. № 4. С. 59—86.
2. Попов П. Г., Борисова И. В. Практическое применение эффекта “отскока” в обработке изображений // Оптический журнал. 1999. Т. 66. № 4. С. 94—101.
3. Берт П. Дж. Интеллектуальное восприятие в пирамидальной зрительной машине // ТИИЭР. 1988. Т. 76. № 8. С. 175—186.
4. Попов П. Г. Совмещение изображений телевизионного и тепловизионного каналов // Автометрия. 1993. № 1. С. 35—39.

Image merging device

I. V. Borisova, V. N. Gorenok, A. N. Oparin, P. G. Popov
Siberian Research Institute of Optical Systems, Novosibirsk, Russia

The developed image merging device executes joint processing of the multispectral information, transformation it into the integrated image, and representation on general visual display. In order to implement this device, the method of the image compilation is used that is based on the analysis and combination of the Fourier spectrum of the image vicinities. This method can be applied for compilation of any number of images and does not depend on their spectral range. In particular, compilation of the TV-images and IR-images is realized.