

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ПО СХОДСТВУ С ЭТАЛОНОМ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ

© 2010 г. Т. А. Шереметьева, канд. физ.-мат. наук; Г. Н. Филиппов; А. М. Малов

Научно-исследовательский институт комплексных испытаний оптико-электронных приборов и систем, г. Сосновый Бор, Ленинградская обл.

E-mail: sher@sbior.spb.su, tsher@niiki.ru

Статья посвящена прикладным аспектам способа преобразования изображений по принципу сходства с эталоном. Способ реализован в базовом программном обеспечении, которое позволяет проводить преобразование как автоматически, так и с интерактивным участием пользователя. Способ пригоден для обработки многоканальных (многозональных, гиперспектральных) изображений. Обработка проводится целенаправленно, позволяя выделять полезную для данной задачи информацию, сжимая исходные данные. В работе представлены примеры обработки гиперспектральных изображений. Другой областью применения метода преобразования по принципу сходства с эталоном является автоматическое покоординатное совмещение изображений одной сцены, полученных в различных условиях (в разное время, в разных каналах).

Ключевые слова: преобразование изображений, многозональные изображения, гиперспектральные изображения, покоординатное совмещение изображений.

Коды OCIS: 100.2000, 110.6980, 3000.30040, 3000.30580

Поступила в редакцию 15.06.2009

Введение

Методы преобразования изображения в основном направлены на улучшение восприятия всего изображения посредством изменения яркости и контрастности, усиления резкости, выравнивания цвета, очистки изображений от шумов, выделения относительно фона, либо на сегментацию и классификацию всего изображения [1, 2].

При решении конкретной задачи не все объекты изображения представляют одинаковый интерес. В реальности не существует гарантии, что для каждого случая разделение на классы может быть проведено удовлетворительно, даже если выбраны оптимальные признаки. Очевидно, что проводить обработку целесообразно таким образом, чтобы на итоговом изображении объекты, представляющие интерес, отображались наилучшим образом с сохранением, по возможности, контекстной информации.

В данной работе рассматривается применение для некоторых практических задач метода преобразования изображений по принципу сходства

с эталоном [3–5]. Этот метод осуществляет “целенаправленную” визуализацию совокупности признаков отдельных пикселей, составляющих изображение. В результате такого преобразования получают синтезированное изображение в градациях серого. Яркость каждого пикселя такого изображения характеризует его сходство с эталоном (образцом). В качестве признакового пространства для многоспектральных изображений может быть выбрано пространство спектральных признаков с размерностью, равной числу спектральных каналов. Кроме того, размерность этого пространства может быть увеличена за счет привлечения текстурных, градиентных признаков и признаков смежности. В качестве меры сходства могут быть использованы любые из известных расстояний, используемых в задачах классификации изображений [1, 2]. Например, расстояние в векторном пространстве признаков между вектором, соответствующим эталону, $\mathbf{e} = (e_1, e_2, \dots, e_n)$ и вектором, соответствующим текущему элементу, $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ может быть определено

– как евклидово расстояние

$$d_1 = \sqrt{(e_1 - x_1)^2 + (e_2 - x_2)^2 + \dots + (e_n - x_n)^2}, \quad (1)$$

– либо как евклидово расстояние с весовыми коэффициентами, выбранными в соответствии с априорной информацией об эталоне

$$d_2 = \sqrt{\omega_1 (e_1 - x_1)^2 + \omega_2 (e_2 - x_2)^2 + \dots + \omega_n (e_n - x_n)^2}, \quad (2)$$

– либо как

$$d_3 = \max \{|e_1 - x_1|, |e_2 - x_2|, \dots, |e_n - x_n|\}. \quad (3)$$

Выбор эталона проводится либо заданием априорно известных значений признаков, либо с помощью указания на один из выделяемых объектов.

В качестве эталона может быть выбрано некоторое множество векторов \mathbf{E} признакового пространства. В этом случае можно использовать расстояние Махаланобиса, т. е. расстояние, которое задается выражением

$$d_4 = (\mathbf{x} - \mathbf{m})^T \mathbf{C}^{-1} (\mathbf{x} - \mathbf{m}), \quad (4)$$

где \mathbf{m} – среднее множество \mathbf{E} , \mathbf{C} – ковариационная матрица множества \mathbf{E} .

Для каждого эталона получают соответствующее ему синтезированное изображение. Заметим, что при выборе эталона указанием на объект (образец), находящийся на том же изображении, нет необходимости в переходе от относительных к абсолютным значениям свечения и энергии излучения.

Метод универсален по общему построению алгоритма и может быть легко адаптирован к конкретным задачам обработки изображений. Адаптировать метод можно с помощью выбора признакового пространства, меры сходства и эталона.

Целью такого преобразования изображений является предварительная обработка, при которой концентрируется информация, требующаяся для решения конкретной задачи.

Обработка многоканальных изображений

При многоканальной (многоспектральной, гиперспектральной) съемке видеоданные представлены множеством снимков одного объекта, зафиксированных в различных спектральных интервалах.

Многоканальные системы являются мощным средством для исследования различных

объектов научного, хозяйственного и военного назначения. Однако сложность информационного массива многоканальных данных требует разработки специального программного обеспечения. Существующие методы обработки многоканальных изображений сложны и трудоемки. Например, дорогостоящее зарубежное программное обеспечение ArcView Image Analysis, предназначенное для обработки данных дистанционного зондирования, требует для обработки информации значительных временных затрат и усилий специалистов с достаточно высокой квалификацией в области геоинформационных технологий. Однако достаточно широкий класс практически важных задач требует оперативной обработки многоканальных данных, и их обработка должна быть доступна специалистам прикладного профиля.

Задача извлечения из многоспектральных изображений содержательной информации в общем случае весьма сложна. Удовлетворительное дешифрирование во многих случаях не может быть осуществлено без участия человека. Визуальное представление данных облегчает специалисту-пользователю вынесение решений, позволяя использовать неформализованные признаки, накопленные опытом.

Метод преобразования изображения по принципу сходства с эталоном может быть применен для визуализации многоканальных изображений. При этом осуществляется “целенаправленная” визуализация. На итоговом изображении объекты, представляющие интерес, отображаются наилучшим образом и, кроме того, сохраняются похожие на них объекты.

При обработке многоканальных изображений по методу сходства с эталоном из множества снимков получают итоговое изображение в тонах серого. В результате обработки этим методом вместо совокупности изображений получают одно изображение для выбранного эталона. Выбирая различные эталоны и меры сходства, получают различные варианты визуализации одной и той же сцены. Это дает наблюдателю возможность, меняя эталон, анализировать изображаемую сцену. Такой инструмент можно сравнить с лупой в признаковом пространстве (подробнее представлены пиксели, соответствующие некоторой области признакового пространства). При изменении выбранной области признакового пространства изменяется вид всего изображения, и на нем выделяются другие объекты, соответствующие новой области.

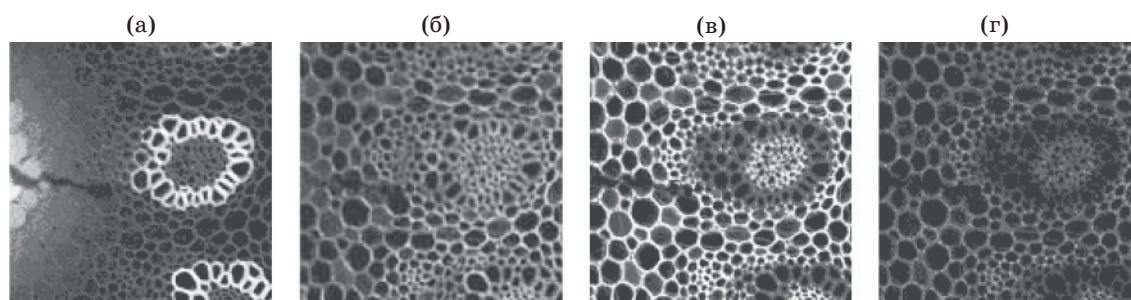


Рис. 1. Выборка из 50 использованных для обработки исходных гиперспектральных изображений микропрепарата в спектральном диапазоне 420–750 нм. а – длина волны 462 нм, б – 606 нм, в – 654 нм, г – 702 нм.

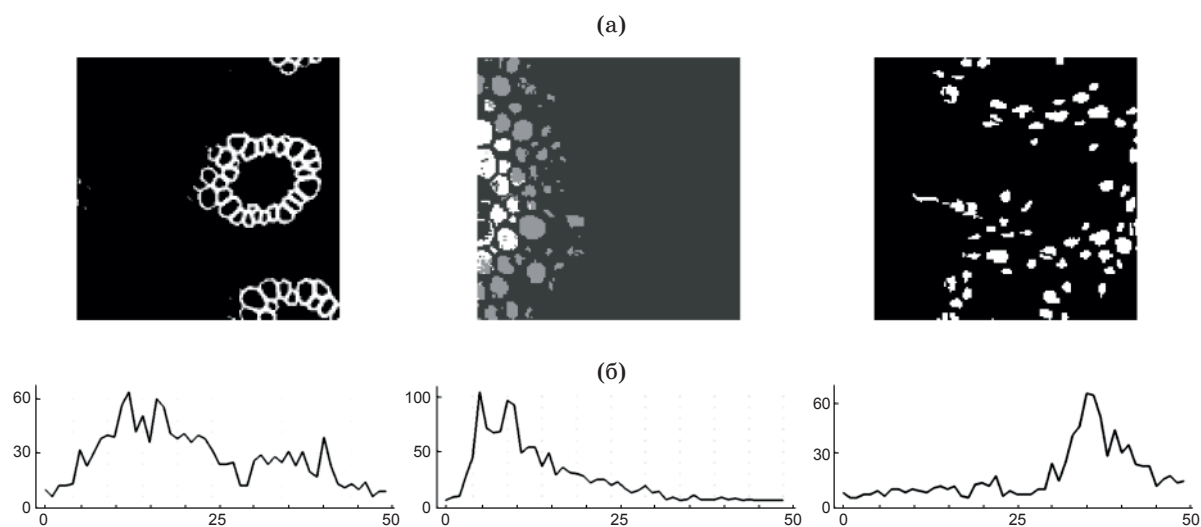


Рис. 2. Изображения (а), полученные преобразованием пятидесяти исходных изображений с использованием трех соответствующих эталонов (б).

Поскольку яркость каждого пиксела изображения характеризует его сходство с объектом интереса, то, выбирая визуально порог по яркости и изменяя контраст, специалист может выделять интересующие его объекты, используя знания предмета и накопленный опыт. Бинарные изображения затем могут быть использованы для автоматического определения морфометрических параметров выделенных объектов.

Пример обработки гиперспектральных изображений представлен на рис. 1 и 2. В качестве исходных данных использованы 50 гиперспектральных изображений биологического препарата (изображения получены с помощью автофлюоресцентной микроскопии в спектральном диапазоне от 420 до 750 нм с интервалом 6 нм). На рис. 1 в качестве примера исходных данных приведены 4 из 50 изображений препарата.

Возможности визуализации многоспектральных снимков демонстрирует рис. 2. На рисунке

изображены результаты, полученные преобразованием пятидесяти исходных изображений с использованием различных эталонов. Эталоны представлены в виде графиков под преобразованными изображениями.

Покоординатное совмещение снимков

Эффективность дешифровки изображений объектов и сцен зачастую может быть достигнута только при совместной обработке видеоданных, получаемых в разное время, разными съемочными системами, в различных спектральных зонах. Для совместной обработки таких изображений требуется их автоматическое высокоточное координатное совмещение. Такие снимки даже при одинаковых ракурсах и масштабах значительно отличаются друг от друга. Поэтому обычные корреляционные методы совмещения изображений могут оказаться неудовлетвори-

тельными [6]. Существуют два существенно отличающихся подхода совмещения изображений: методы, основанные на площадях, и методы, основанные на деталях изображения. Различные преимущества и недостатки свойственны каждому из этих подходов. Объединить эти два подхода возможно с помощью метода преобразования изображений по сходству с эталоном. Для покоординатного корреляционного совмещения таких снимков авторы предлагают каждый из них предварительно преобразовать по методу сходства с эталоном (образцом), привлекая в качестве признакового пространства текстурные, градиентные признаки и признаки смежности. Метод не использует опорных точек сцены непосредственно. Преобразование по методу сходства с эталоном, выполненное для каждого из совмещаемых изображений, увеличивает надежность методов совмещения, основанных на площадях. Действительно, это преобразование позволяет увеличить сходство изображений при правильном их покоординатном совмещении и увеличить их отличия при относительном смещении. Таких преобразований можно выполнить достаточно много, а именно столько, сколько существует на неподвижном изображении отличных друг от друга эталонов. Для каждого эталона выполняется привязка – определяются координаты смещения. Эталоны выбираются автоматически (без участия человека-оператора). Можно использовать все имеющиеся эталоны. Но если изображения таковы, что эталонов много, то их выбор может быть проведен

с помощью случайной выборки. Для выбранной совокупности эталонов строится распределение полученных координат.

Пример совмещения изображений видимого и инфракрасного (ИК) диапазонов приведен на рис. 3. Представленные на этом рисунке изображения сцены в видимом и ИК диапазонах (рис. 3а, б) имеют параллельный покоординатный сдвиг. Была проведена привязка, смещение оценивалось в долях пиксела. На рис. 3в приведено распределение смещений, полученных для различных эталонов. Качество совмещения можно определить с помощью статистических характеристик. Например, для данного распределения смещений вычислены следующие характеристики:

мода распределения соответствует смещениям: по оси OX равному $-0,25$ пиксела, по оси OY равному $-0,5$ пиксела,

математическое ожидание смещения по оси OX равно $-0,2$ пиксела, среднее квадратичное отклонение по оси OX равно $0,52$ пиксела,

математическое ожидание смещения по оси OY равно $-0,6$ пиксела, среднее квадратичное отклонение по оси OY равно $0,55$ пиксела.

Заключение

Преобразование многоканальных изображений по способу сходства с эталоном имеет ряд положительных свойств.

Обработка по этому способу интуитивно проста и вполне доступна специалистам приклад-

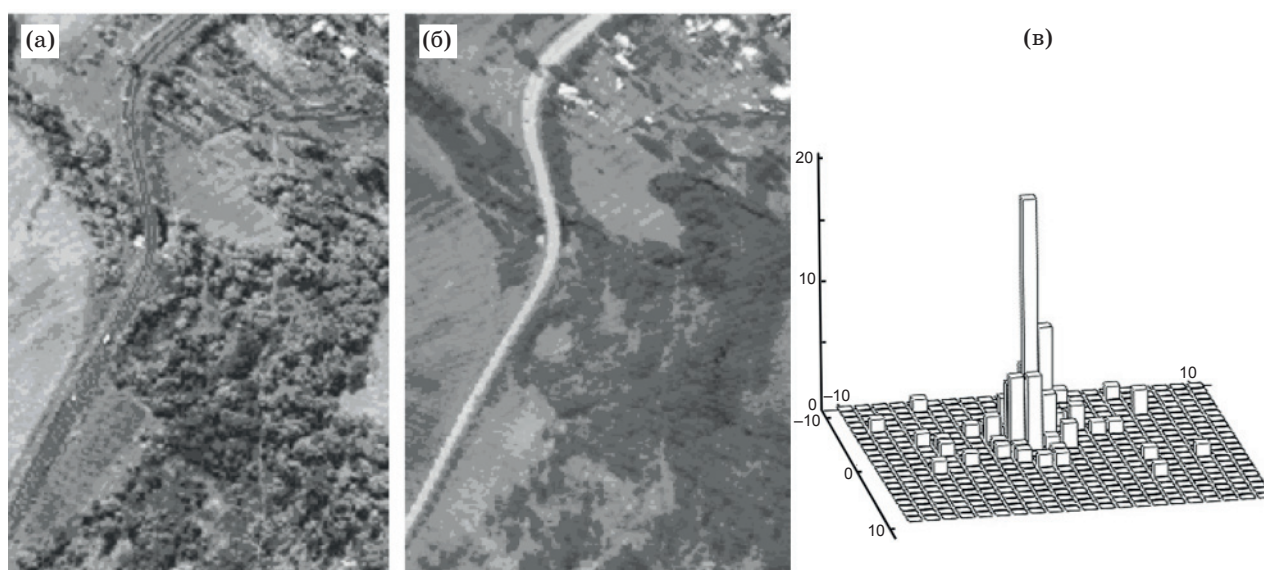


Рис. 3. Определение покоординатного смещения изображений. а, б – исходные изображения, в – гистограмма оценок смещений.

ного профиля. Визуальное представление данных облегчает специалисту-пользователю вынесение решений, позволяя использовать неформализованные признаки, накопленные опытом, и интерактивно управлять процессом выделения объектов интереса.

Быстрое и компактное представление информации. Действительно, мера сходства вычисляется быстро и является скалярной величиной, что позволяет отображать синтезированное изображение в одномерной шкале и позволяет передавать его, используя при этом лишь один канал связи.

Достаточно просто осуществить интерактивный вариант выделения объектов интереса путем выбора порогов по яркости на итоговом синтезированном изображении.

Способ позволяет существенно уменьшить влияние на результаты визуального дешифрирования условий съемки, так как эталон может быть выбран на исходных изображениях. В этом случае значения признаков эталона получены при тех же условиях съемки, что и значения признаков визуализируемой сцены.

Итоговое изображение может быть адаптировано к конкретной задаче дешифрирования с помощью выбора признакового пространства, эталона и меры сходства.

Успешное применение способа преобразования изображений по сходству с эталоном для выделения объектов интереса продемонстрировано на примере обработки гиперспектральных изображений биологического препарата. (Изображения были предоставлены нам *Convallaria*

section, acquisition with Leica TCS SP5, data received from Biotechnologisches Zentrum der TU Dresden.)

Преобразование изображений по сходству с эталоном может быть применено для покомпонентного совмещения снимков одной и той же сцены, полученных различными датчиками и при различных условиях съемки. При использовании такого способа совмещения имеется возможность оценить надежность корреляционной привязки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gonzalez R., Woods R. Digital image processing. 2002. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. Пер. с англ. / Под ред. Чочиа П.А. М.: Техносфера, 2006. 1072 с.
2. Jahne B. Digital image processing. Springer, 2005. Яне Б.. Цифровая обработка изображений. Пер. с англ. М.: Техносфера, 2007. 584 с.
3. Sheremetyeva T.A. Method of representation of remote sensing data that facilitates visual interpretation // Proc. of the 5th Intern. Conf. on Space Optics (ICSO 2004), SP-554, Toulouse, France.
4. Шереметьева Т.А., Филиппов Г.Н. Способ преобразования изображений // Патент РФ № 2267232. 2005.
5. Sheremetyeva T.A., Filippov G.N., Malov A.M. Visualization of multispectral images // Intern. Symp. OPTRO 2005, Paris, France.
6. Василейский А.С. Исследование методов совмещения видеоданных дистанционного зондирования // Автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. М.: ИКИ РАН, 2003. 18 с.