

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hueckel M. N. A local visual operator which recognizes edges and lines // J. of ACM.— 1973.— 20, N 4.— P. 634.
2. Hueckel M. N. An operator which locates edges in digitized pictures // J. of ACM.— 1971.— 18, N 1.— P. 113.
3. Меро Л., Васен З. Упрощенный и ускоренный вариант оператора Хюккеля для оптимального нахождения перепада на изображении // Тр. IV Междунар. объединен. конф. по искусственному интеллекту.— Т. 8: Анализ визуальной информации.— М., 1975.

УДК 681.3.06 : 681.3.019

Н. Г. ХОЛЬШИН  
(Новосибирск)

#### ПАКЕТ ПРОГРАММ ДЛЯ КЛАССИФИКАЦИИ СПЕКТРОЗАОНАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В статье рассмотрен пакет прикладных программ CLUST, реализованный на языке Фортран 4<sup>+</sup> для обработки и анализа цифровых растровых полутоновых спектрозональных (цветных) изображений, размещаемых либо в плоскостях (листах) видеопамати, либо в соответственно организованных файлах данных, если видеопамать отсутствует.

**Состав программных средств.** Прикладные программы, содержащиеся в пакете, преимущественно ориентированы на классификацию изображений и позволяют выполнять следующие процедуры:

предварительная обработка изображений (коррекция с целью ослабления влияния условий съемки, линейная и медианная фильтрация, контрастирование, изменение динамического диапазона яркости, морфологические операции и т. д.);

формирование признаков;  
кластерный анализ изображений;  
дискриминантный анализ изображений;  
сервисное обеспечение (выделение участков изображения, пересылка изображений с масштабированием, поворот и инвертирование, построение гистограмм и срезов, маскирование, выделение отдельных кластеров или классов, пересылка кластеров по средней яркости, формирование границ и определение их координат и т. д.).

Кратко рассмотрим некоторые из этих процедур.

**Формирование признаков изображений.** При обработке и анализе спектрозональных изображений, кроме исходных яркостных спектральных характеристик, обычно используются разнообразные вторичные признаки [1]. Для уменьшения описания размерности спектрозонального изображения формируются либо признаки спектрального контраста, либо их линейные комбинации вида  $Y = \hat{R} \times X$ . Матрица преобразования  $\hat{R}$  выбирается исходя из статистической независимости  $Y$  (метод главных компонент), т. е. преобразование определяется собственными векторами ковариационной матрицы  $X$ .

Наиболее сложными и в то же время самыми информативными являются текстурные характеристики, позволяющие разделять объекты, отличающиеся пространственной структурой полей яркости. Поэтому значительная часть пакета CLUST предназначена для формирования разнообразных текстурных признаков. Общий подход состоит в построении функции пространственного распределения для элементарного участка (окна) изображения и определения интегральных количественных характеристик для центрального элемента этого участка.

Программно реализовано формирование ряда текстурных параметров, в частности, вычисление в скользящем окне размером  $(2W + 1) \times (2W + 1)$  центральных моментов  $n$ -го порядка ( $n = 1 \dots 4$ ), градиентов Робертса, Собела, Уоллиса или Кирша, а также признаков, характеризующих относительной длиной серий, шириной автокорреляционной функции, числом перепадов яркости по заданному порогу (признак Розенфельда и Троя) [2], кривизной поверхности в скользящем окне. Возможно также в качестве характеристики текстуры использовать фрактальную размерность, которая определяется коэффициентом линейной зависимости средних перепадов яркости элементов изображения от расстояния между элементами в скользящем окне.

Целесообразность применения того или иного признака при классификации изображений можно определить, вычисляя толерантность при добавлении и исключении данного признака.

*Кластеризация и дискриминантный анализ.* Они относятся к методам классификации в  $n$ -мерном пространстве признаков с использованием либо априорных сведений о классах (дискриминантный анализ), либо заданных параметров таких, например, как количество кластеров, максимальное количество элементов в кластере, диапазон значений признаков и т. д. (кластерный анализ). Программно реализован набор из шести кластерных и одного дискриминантного алгоритмов. Дискриминантный алгоритм связан с построением групповых дискриминирующих функции в пространстве одной из трех метрик: евклидовой, манхеттенской или Маханалобиса. В качестве кластерных алгоритмов предлагаются две дивизивные и две агломеративные иерархические кластерные процедуры [3], предназначенные для получения обучающих выборок, а также две модификации итеративного оптимизационного алгоритма.

Пакет прикладных программ CLUST предполагает адаптацию или самостоятельную разработку пользователем четырех базовых аппаратно-зависимых подпрограмм для записи/чтения фрагмента/точки в (из) видеоплоскость (или файл данных). Кроме того, возможно потребуется доработка четырех подпрограмм, зависящих от типа операционной системы (написаны для RSX11M или ОС РВ): чтение/запись изображения в (из) файл на диске в (из) видеопамять, а также чтение/запись изображения из (в) файла накопителя на магнитной ленте в (из) видеопамять.

**Пример применения.** Пакет CLUST использовался для сегментации изображений лесных массивов [4]. При заданных параметрах классов задача сегментации сводится к последовательному сравнению параметров фрагментов изображения с параметрами этих классов. Если параметры классов неизвестны и имеется лишь общее представление о классах изображений (например, некоторые изображения предварительно дешифрованы визуальными-инструментальными методами), то задача заключается в построении процедуры классификации на основе имеющейся информации. Предложены два подхода к построению алгоритмов сегментации: двухступенчатый и оптимизационный.

В первом случае после предварительной обработки (коррекция, формирование признаков, контрастирование) фрагмент изображения или все изображение преобразуется в массив  $n$ -мерных векторов размером  $32 \times 32$  элемента. Из этого массива формируется обучающая выборка для заданного числа классов по заданному кластерному алгоритму, которая позволяет строить множество групповых дискриминантных функций и сегментировать исходное линейно фильтрованное изображение. Устранение чрезмерной изрезанности границ сегментов и отдельных выбросов достигается с помощью медианной фильтрации или морфологических операций.

Во втором случае процедуры начальной и конечной обработки проводятся аналогично, но для сегментации используется итеративный оптимизационный кластерный алгоритм [3]. При этом основной задачей является эффективное начальное разбиение на кластеры, что позволяет значительно уменьшить время сегментации.

С использованием сервисных подпрограмм проводилось также сравнение автоматических сегментаций с визуальными.

Таким образом, данный пакет позволяет проводить цикл обработки спектральных изображений и может применяться в прикладных и исследовательских целях.

Автор выражает благодарность В. А. Иванову за постановку задачи и постоянную помощь в работе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егоров В. В., Жуков Б. С. Методические вопросы дистанционного зондирования // Итоги науки и техники. Сер. Исследование земли из космоса.— М.: ВИНТИ, 1987.— Т. 1.
2. Прэтт У. Цифровая обработка изображений.— М.: Мир, 1982.— Т. 2.
3. Spath H. Cluster Analysis Algorithms.— N. Y.: John Willey & Sons, 1980.
4. Иванов В. А., Хольшин И. Г., Черкашин В. П. Методы сегментации спектральных аэрофотоизображений вырубок разной давности // Тез. докл. Всесоюз. конф. «Аэрокосмический мониторинг лесов».— Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1990.

Поступило в редакцию 26 декабря 1990 г.