

УДК 621.397.331:557.4

С.Г. Антощук, Н.А. Сербина

Одесский национальный политехнический университет, Украина

Система распознавания текстурных изображений при экологическом мониторинге

В статье проведен анализ методов обработки текстурных изображений при экологическом мониторинге. Предложена методика построения системы распознавания текстурных изображений, особенностью которой является автоматизированный анализ контуров энергетических спектров.

Введение

Непрерывное расширение спектра задач, в решении которых используются результаты обработки аэрокосмических изображений, служит убедительным доказательством эффективности использования аэрокосмических изображений в хозяйственных и исследовательских целях [1].

Эффективность проведения экологического мониторинга в регионах (обнаружение лесных пожаров, оперативный мониторинг газо- и нефтепроводов, оценка последствий чрезвычайных событий и т.п.) напрямую связана с применением результатов обработки аэрокосмических изображений. Изображения, полученные при экологическом мониторинге, в подавляющем большинстве являются текстурными. Методы, используемые при обработке и распознавании текстур, предметно ориентированы, поэтому нет универсальной системы, подходящей для всех решаемых задач. Проведем сравнительный анализ известных методов и подходов к обработке и распознаванию текстурных изображений.

Анализ методов обработки текстурных изображений

Существует целый ряд определений текстур в литературе по машинному зрению. Пикетт дал такую формулировку: «текстура используется для описания двумерных массивов изменений яркости», Претт – «текстура – описание пространственной упорядоченности элементов изображения», Харалик – «текстура – организованный участок поверхности», Тамура – «текстура – нечто составляющее макроскопическую область», Ричардс – «текстура определена для наших целей как атрибут поля, не имеющего никаких компонентов (составляющих), которые выступают счетными (перечислимыми)» [2-4].

Известно, что текстура обладает рядом свойств. Именно благодаря этим свойствам можно с уверенностью говорить, что работа ведется с текстурой. Основные свойства текстур можно описать так:

- текстура – свойство области; текстура точки не определена. Т.е. текстура – это контекстное свойство, и его определение должно включать в себя значения уровней серого в окрестности. Размер этой окрестности зависит от типа текстуры или размера примитивов (простых геометрических элементов изображения), определяющих текстуру;
- текстура в изображении может быть воспринята в различных масштабах или уровнях разрешения;
- область воспринимается как текстурная, когда число элементарных объектов (примитивов) в области велико. Если только несколько элементарных объектов присутствуют, то воспринимается группа исчисляемых объектов вместо текстурируемого изображения.

Текстуру, если она разложима, можно описывать в соответствии с двумя главными измерениями. Первое измерение относится к составляющим текстуру тоновым производным элементам и локальным признакам. Второе измерение связано с пространственным расположением тоновых производных элементов, то есть с пространственным взаимодействием и взаимозависимостью производных элементов.

Тоновые производные элементы – это области изображения с определенными тоновыми признаками. Так как текстура – пространственное свойство, измерение ее признаков должно быть ограничено областями, обладающими относительной однородностью. Такую область можно охарактеризовать ее площадью и формой.

На качественном уровне текстуру можно описать следующим образом: крупнозернистая, мелкозернистая, гранулированная, гладкая, беспорядочная, линейчатая, пестрая, нерегулярная, холмистая. Каждое из этих прилагательных выражается признаком тоновых производных элементов или пространственного взаимодействия между ними.

Для объективного описания текстуры в терминах фоновых и текстурных элементов нужно точно определить понятие фонового и текстурного признаков. Оказывается, тон и текстура не являются независимыми понятиями, а находятся в сложном взаимоотношении. В изображении всегда есть и тон и текстура, хотя иногда один из этих признаков может подавлять другой, и в таких случаях предпочтительно говорить только о тоне либо только о текстуре. Поэтому, когда дается точное определение тона и текстуры, имеется в виду не два, а одно понятие «тон – текстура».

Основные внутренние отношения в понятии «тон – текстура» можно описать следующим образом. Если изменения тоновых производных элементов в пределах небольшого участка изображения малы, то доминирующим признаком данного участка служит тон. Если же тоновые производные элементы существенно изменяются, то доминирующим признаком участка является текстура. Для описания текстуры необходимо уметь описывать как тоновые производные элементы, так и пространственные отношения между ними. Отсюда следует, что понятие «тон – текстура» имеет двухуровневое строение, при этом первый уровень связан с определением локальных признаков, которые проявляются в тоновых производных элементах, а второй – с определением пространственной организации производных элементов.

Известны разные подходы к измерению и описанию текстуры изображения – статистические, геометрические, структурные.

Одно из свойств, определяющих текстуру, – пространственное распределение серых значений. Поэтому использование статистических признаков – один из ранних методов, предложенных в литературе по машинному зрению.

Пространственная смежность уровней серого оценивает признаки изображения, связанные со статистическими вычислениями второго порядка. Харалик [4] предложил использование матриц смежности уровня серого (GLCM), которые стали одними из наиболее известных и широко используемых признаков текстуры. Признаки матрицы смежности страдают от некоторых трудностей. Не существует хорошо обоснованного метода для выбора вектора смещения d и вычисление матрицы смежности для различных значений d не удобно в реализации.

Важное свойство многих текстур – повторяющийся характер расположения текстурных элементов в изображении. Автокорреляционная функция изображения может использоваться для оценивания степени регулярности, а также мелкозернистости грубой структуры текстуры, представленной на изображении.

Класс геометрических методов анализа текстуры характеризуется по определению текстуры как составленный из «элементов текстуры» или примитивов. Метод анализа обычно зависит от геометрических свойств этих текстурных элементов. Как только элементы текстуры идентифицированы, имеется два основных подхода к анализу текстуры. Один вычисляет статистические признаки извлеченных элементов текстуры и использует их как элементарные текстурные признаки. При другом подходе стараются выделить принцип расположения примитивов, который описывает текстуру. Последний подход может включать в себя геометрический или синтаксические методы анализа текстуры, например анализ диаграмм полигонов Вороного [5].

Структурные модели текстуры предполагают, что текстуры составлены из простых текстурных примитивов согласно некоторому правилу размещения. Этот класс алгоритмов, вообще, ограничен по мощности, за исключением, когда работают с очень регулярными текстурами.

Зрение является наиболее естественным для человека механизмом восприятия информации о внешнем мире и из внешнего мира. При восприятии человек не строит словесное описание изображения, а оперирует с ним как с неким целостным образом или системой таких образов. Как показывают психофизические исследования, зрительная система человека анализирует текстурированные изображения, расщепляя их на частотные и ориентационные составляющие.

Фурье-преобразование – анализирует глобальный частотный состав сигнала. При анализе текстуры методом цифровых преобразований изображение разбивают на небольшие квадратные непересекающиеся фрагменты. Пусть фрагмент имеет размеры $m \times n$ клеток раstra. Тогда соответствующие n^2 значений яркости можно рассматривать как компоненты n^2 -мерного вектора. Совокупности фрагментов соответствует множество n^2 -мерных векторов. При преобразовании каждый из этих векторов выражают в новой системе координат. В преобразовании Фурье используется базис из тригонометрических функций косинус и синус. Суть преобразований в том, что базисные векторы новой координатной системы хорошо интерпретируются в терминах пространственной частоты или порядка следования. Полезность таких преобразований обусловлена тем, что пространственная частота служит наиболее адекватным параметром описания текстуры.

В результате анализа существующих методов обработки текстурных изображений для реализации алгоритмов распознавания аэрокосмических изображений наиболее целесообразно использовать признаки, вычисленные в области Фурье-преобразования.

Распознавание текстурных изображений

Для задач экологического мониторинга необходимо разработать систему распознавания аэрокосмических изображений. На рис.1 приведен фрагмент космического снимка района города Новосибирска.



Рис. 1. Аэрокосмический снимок города Новосибирска

На этапе разработки необходимо вычислить и проанализировать признаки текстурных изображений, отвечающие таким требованиям: помехоустойчивость, инвариантность к масштабу и повороту, вычислительную эффективность алгоритмов анализа.

На основе проведенного анализа методов обработки текстурных изображений разработан алгоритм, отвечающий вышеперечисленным требованиям. Алгоритм состоит из следующих этапов:

- вычисление энергетического спектра изображения (рис. 2: а)2, б)2);
- построение гистограммы спектра и определение порога;
- бинаризация изображения спектра;
- контурная обработка (рис. 2: а)3, б)3);
- операция прослеживания контура;
- определение геометрических моментов признаков;
- классификация текстуры.

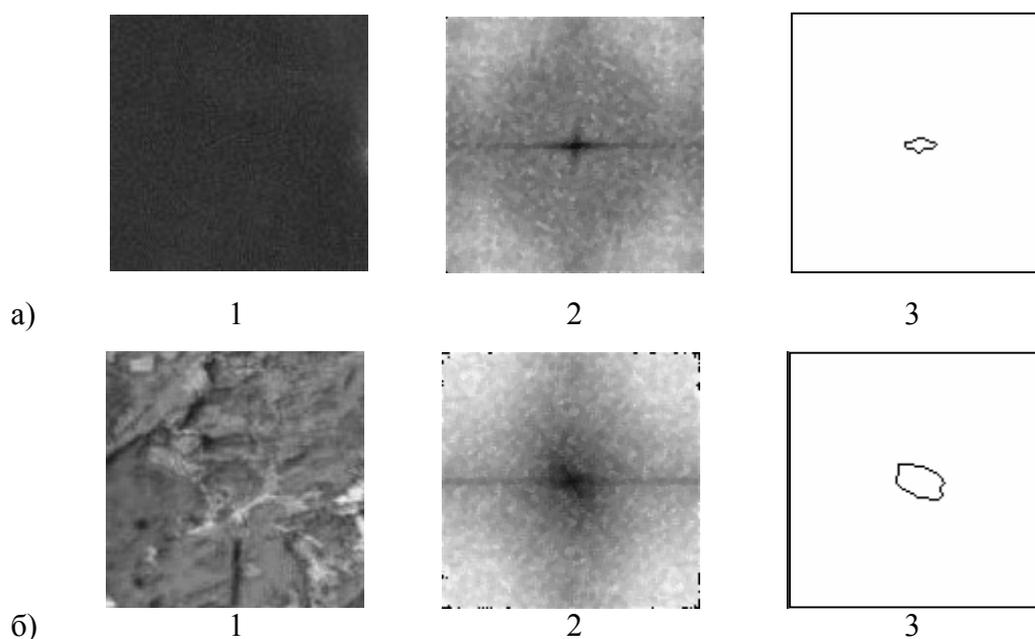


Рис. 2. Фрагменты текстурных аэрокосмических изображений: а) – изображение моря, б) – изображение суши; 1 – исходные изображения, 2 – изображения энергетического спектра, 3 – изображения контуров энергетических спектров

Для автоматизации процедуры определения порога и установления адаптивного уровня порога применяется гистограмма относительных частот появления определенных уровней в энергетическом спектре изображения. Относительная частота интенсивности g -го пикселя определяется:

$$P_f = n_g / (MN)$$

где $g = 0, 1, \dots, G-1$ – значение интенсивности пикселя;
 n_g – количество элементов изображения с уровнем g ;
 M – количество строк изображения;
 N – количество столбцов изображения.

После расчета гистограммы происходит вычисление локальных минимумов с использованием преобразования Гильберта:

$$\hat{S}(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{S(\tau) d\tau}{t - \tau}$$

Порог для последующей бинаризации изображения энергетического спектра выбирается автоматически из локальных минимумов гистограммы.

Предлагается использовать для распознавания и классификации текстур систему признаков, которая формируется при расчете геометрических моментов признаков бинаризованного энергетического спектра изображения и признаков формы. Как классификационные признаки геометрические моменты в полярной системе координат обладают рядом достоинств. Признаки инвариантны к

масштабу, что позволяет производить классификацию при различных размерах обрабатываемого фрагмента и исходного изображения. Интегрирование по углу обеспечивает инвариантность к повороту фигуры. Признаки инвариантны к параллельному переносу, поскольку полюс системы координат совмещается с центром тяжести фигуры. Число признаков легко наращивается без перестройки алгоритма вычисления до достижения устойчивого распознавания [6].

Для распознавания и классификации текстурной области по форме энергетического спектра достаточно иметь информацию о его контуре. Имея полную информацию о контуре, легко определить площадь, координаты центра тяжести и морфометрические признаки, а также геометрические моменты признаков. В работе для формирования вектора признаков использовались следующие морфометрические признаки: отношение минимальной и максимальной осей инерции, коэффициент выпуклости, коэффициент заполнения и ориентация максимальной оси инерции по отношению к оси X [7]. Вычисление признаков по контурам объектов позволяет устранить избыточность видеоинформации и снизить влияние помех, что повышает помехоустойчивость и быстродействие.

Для прослеживания контуров используются эвристические методы. Алгоритмы прослеживания контуров на бинаризованном изображении контурного препарата объекта основаны на анализе окрестностей элементов изображения. Обычно анализируют окрестность 3 x 3 элемента. При этом найденный элемент контура становится текущим, его координаты заносятся в массив координат контура, и далее производится анализ его окрестности. Эта процедура выполняется до тех пор, пока все координаты контура не будут занесены в массив. Таким образом, можно определить координаты контура, который не имеет разрывов, «ложных контуров» и «хвостов».

Однако в условиях помех после процедуры контурной обработки получается контур объекта, имеющий разрывы, ответвления и «ложные контуры». Получение координат прослеженного контура с устранением таких недостатков является важным этапом вычисления признаков объекта.

Разработан алгоритм морфологического анализа и фильтрации контура. Особенностью разработанного алгоритма является сканирование дальней окрестности точки при наличии разрыва контура. При этом учитываются предпочтительные направления движения, которые рассчитываются на основе предыдущих направлений движения в точку разрыва. Расчет предпочтительных направлений движения основан на гипотезе о гладкости контурной кривой. Разрыв заполняется по кратчайшему расстоянию между двумя обнаруженными точками контура. «Хвосты» в контуре или «ложные контуры» устраняются путем отката назад и стирания этих дефектов контура. Результатом морфологического анализа и фильтрации контура является связный прослеженный контур. Разработанная процедура позволяет автоматизировать процесс обработки текстурных изображений и получения признаков.

Задача классификации представляет собой задачу разбиения пространства признаков на области, которые соответствуют классам. Разбиение надо производить так, чтобы не было ошибочных решений. Если этого сделать нельзя, желательно уменьшить вероятность ошибки. При этом задача классификации

превращается в задачу статистической теории принятия решений, широко применяемую в теории распознавания образов.

В данной работе при решении задачи распознавания был использован в качестве решающего правила критерий взвешенных расстояний в пространстве признаков. Т.е. решение принимается по минимуму взвешенных расстояний в пространстве признаков. Эталонные признаки $P_{эij}$ соответствуют центрам различных классов в пространстве признаков и формируются усреднением признаков данного класса в процессе обучения системы.

Формализованную процедуру принятия решения можно описать следующим образом. Пусть P_{xi} – величина i -го признака некоторого подлежащего классификации фрагмента изображения, а $P_{эij}$ соответственно среднее значение для j -го класса текстур, полученное по обучающей выборке, σ_{ij} – среднеквадратическое отклонение i -го признака для j -го класса текстур. Тогда расстояние от точки P_x , соответствующей признаку классифицируемого фрагмента изображения, до точки $P_{эj}$, соответствующей признаку – эталону j -го класса, будет определяться выражением:

$$d(j) = \frac{\sum_{i=1}^S (P_{xi} - P_{эij})^{0.5}}{\sigma_{ij}^2},$$

где $i=1, \dots, S; j=1, \dots, K$ – число распознаваемых классов. Решение принимается по минимуму взвешенных расстояний $d(j)$.

Выводы

Исследованы типы текстур и методы анализа текстурных изображений. На основе проведенного анализа выдвинуты требования к классификационным признакам. Выбрано признаковое пространство в соответствии с выдвинутыми требованиями. Разработан алгоритм адаптивного выбора порога бинаризации на основе анализа гистограмм энергетического спектра текстуры. Разработан алгоритм морфологического анализа и фильтрации контура. Разработан алгоритм классификации и распознавания текстурных изображений.

Анализ гистограмм на экстремумы проводился с помощью преобразования Гильберта, что позволило повысить помехоустойчивость метода.

Предложенная методика адаптивного выбора порога позволила автоматизировать процедуру анализа изображений и повысить помехоустойчивость классификации.

Использованы для формирования вектора признаков контура энергетических спектров, что позволило существенно сократить объем обрабатываемой информации и решать задачу в реальном масштабе времени.

Разработанные алгоритмы отвечают задачам экологического мониторинга и могут быть использованы в широком круге практически важных задач.

Литература

1. Дистанционное зондирование: количественный подход: Пер. с англ. В.П. Пяткина и О.А. Юдиной; Под ред. А.С. Алексеева. – М.: Недра, 1983. – 415 с.
2. Coggins J.M. A Framework for Texture Analysis Based on Spatial Filtering Ph. D. // Computer Science Department. – Michigan: Michigan State University, 1982.
3. Tamura H., Mori S., Yamawaki Y. Textural Features Corresponding to Visual Perception // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. – 1978. – № 8. – P. 460-473.
4. Haralick R.M. Statistical and Structural Approaches to Texture // Proc. of the IEEE, 67. – 1979. – P. 786-804.
5. Tuceryan M., Jain A.K. Texture Segmentation Using Voronoi Polygons // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. – 1990. – № 12. – P. 211-216.
6. Анисимов Б.В., Курганов В.Д., Злобин В.К. Распознавание и цифровая обработка изображений: Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Высш. шк., 1983.
7. Рудаков П.И., Сафонов И.В. Обработка сигналов и изображений. MATLAB 5.x / Под общ. ред. В.Г. Потемкина. – М.: Диалог: МИФИ, 2000. – 416 с.
8. Власенко В.А., Антошук С.Г., Сербина Н.А. Анализ признаков формы энергетических спектров текстурных изображений // Труды Одес. политехн. ун-та. – Одесса. – 2001. – Вып. 1(12). – С. 144-147.
9. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. – М.: Мир, 1982.

The term «texture» is discussed. The texture images processing modern methods are analyzed. The structure airspace images pattern recognition system for ecological monitoring is suggested. The futures are computed from Furies power spectrum domain. They are scale and rotate invariants and have noisy stability properties.

Статья поступила в редакцию 26.07.02.