

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНВАРИАНТНОЙ ПРОЦЕДУРЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ТЕКСТУР

ПАНЧЕНКО И.А., ПУТЯТИН Е.П.

Инвариантная процедура обнаружения текстур на изображениях предполагает идентичный процесс обработки параметров каждого пиксела. Среди таких процедур наиболее простыми являются те, которые применяются при статистической обработке. Рассматривается один из возможных вариантов инвариантной идентификации текстур на основании сравнения гистограмм распределения яркости при измерении размеров окна анализа.

Введение

Анализ текстур является одним из наиболее важных элементов процесса обработки изображений. Изучение методов анализа текстур проводится уже длительное время. Однако методы, позволяющие достичь высокой достоверности распознавания, как правило, не предусматривают изменений поворота или масштаба. Но, опираясь на имеющийся опыт, можно утверждать, что инвариантность процедуры распознавания текстур является одним из наиболее важных факторов ее эффективности.

Наиболее эффективные методы обработки, как правило, предполагают весьма громоздкую процедуру вычислений, что существенно ограничивает область их применения [1,2]. Таким образом, задача поиска методик распознавания текстур требует дальнейшего внимания. Наиболее актуальным является разработка и исследование алгоритмов выделения признаков текстур, которые не только бы эффективно их описывали, но были бы инвариантными к поворотам и изменениям масштаба [3].

Целью данной работы является представление методики выделения текстур на основании сравнения гистограмм распределения яркости при измерении размеров окна анализа.

1. Исходные предположения

При создании методик идентификации текстур необходимо учитывать ряд критериев. Во-первых, инвариантность повороту, масштабу и яркости участка текстуры. Во-вторых, алгоритм идентификации должен быть строго формализован. В-третьих, он должен реализовываться минимальной вычислительной процедурой. И, наконец, он должен иметь возможность выделения наиболее информативных выходных параметров.

В данном случае в качестве исходного предположения используется определенное ранее свойство текстур, а именно – текстурой является участок изображения $(\Delta x, \Delta y)$, который при применении к нему некоторого оператора L приводит к следующему: при увеличении окна анализа (ОА) $\Delta x, \Delta y \rightarrow \infty$ результирующий вектор $u = L(\Delta x, \Delta y)$ стремится к постоянной величине, или $L(\Delta x, \Delta y) \rightarrow \text{const}$. Данное определение предполагает инвариантность подхода относительно поворота и масштаба текстуры. Однако оно не указывает механизма реализации. Тем не менее, можно определенно сказать, что разрабатываемая процедура должна включать изменение размеров окна анализа.

Инвариантность процедуры обнаружения предполагает идентичность обработки параметров каждого пиксела. Такими свойствами обладают процедуры статистической обработки данных, которые широко применяют при обработке изображений [1-3]. Тем не менее, отсутствие процедур, удовлетворяющих всем практическим нуждам, указывает на необходимость дальнейшей разработки статистических методов. Заметим, что методы Лавса, Фурье и ряд других, использованные в алгоритмах с передвижением ОА на один пиксел, также приводят в итоге к идентичной обработке, но вычислительная процедура получается весьма громоздкой.

Следующие требования менее жесткие, они обусловлены лишь требованиями реализации. В частности, обеспечить минимальность вычислительной процедуры можно при отсутствии повторений в обработке. Таким образом, если большее ОА включает часть меньшего, то параметры уже обработанного участка должны непосредственно войти в общий результат. Таким свойством обладают лишь аддитивные процедуры.

Выходные параметры алгоритма идентификации должны быть информативными и их число должно быть ограниченным, в противном случае процедура принятия решения может быть не эффективной. Такими свойствами обладают ряды интегральных параметров, информативность которых убывает при увеличении номера члена ряда. Это позволяет в алгоритме, реализующем процедуру принятия решения, оперативно минимизировать их число. Такими интегральными параметрами могут быть моменты статистического распределения или коэффициенты ряда Фурье. Но центрированные моменты высших порядков не обладают аддитивностью и содержат меньше информации об исходном объекте. Преобразование Фурье не приводит к потере информации, ряд Фурье позволяет восстановить исходную функцию, поэтому преобразование Фурье в данном случае предпочтительнее.

Интегрированные выходные параметры, полученные линейными преобразованиями, позволяют решить еще одну весьма важную задачу. Текстура на объекте может иметь различную освещенность. Фурье-преобразование информационных параметров приведет в

этом случае к изменению величины коэффициентов, но сохранит пропорции между ними. Последующее использование в алгоритме процедуры определения соотношений коэффициентов ряда Фурье позволит получить инвариантность еще к одному параметру – к яркости. Однако для выполнения этого условия алгоритм не должен включать нелинейных процедур.

Перечисленный набор требований и условий позволяет составить формальную процедуру обработки изображения для идентификации участков, занятых текстурами.

Заметим также, что алгоритму выделения текстуры может предшествовать сегментация и оконтуривание изображения.

2. Условия и основные соотношения

Полную характеристику каждого пиксела изображения дает спектральное распределение яркости. Однако такими возможностями обладают лишь специальные средства формирования изображений. Большинство обычных технических средств подают на выход либо один интегральный сигнал яркости, либо три сигнала, соответствующих каждому из основных цветов.

Исходным для формирования алгоритма является отмеченное выше предположение, что закон распределения яркости по участкам, занятым текстурой, остается постоянным. Тогда оператором $L(\Delta x, \Delta y)$ является процедура вычисления гистограммы распределения яркости в ОА. Гистограмма, как некоторая функциональная зависимость, сохраняет в себе достаточно много информации об изображении.

Гистограмма распределения яркости в ОА определяется с помощью обычной процедуры:

$$P_{mn}(k) = \frac{1}{MN} \sum_{m'n' \in D} \{b(m'n') = b(k)\}, \quad b = 0..255, \quad (1)$$

где M, N – размеры текущего ОА; $b(m'n')$ – пиксел, яркость которого равна $b(k)$.

В качестве примера рассмотрим известное изображение сидящего тигра на фоне травы. Исходное изображение цветное. На нем трава ярко-зеленая, шкура тигра желтая с черными полосами, участок возле уха – белый (рис. 1).

Учитывая черно-белый формат большинства печатных изданий, представим здесь алгоритм выделения текстуры только на основе анализа яркостных распределений на различных участках изображения. В этом случае сравнение исходного изображения и результатов обработки будет наглядным. Переход к обработке цветных изображений осуществляется использованием полученного алгоритма для каждого из основных цветов.

На данном изображении можно выбрать четыре характерных участка. Первый – с изображением травы. Текстуру этого участка можно отнести к случайным

[4]. Второй – на стыке травы и шкуры тигра. Здесь соединяются две разные текстуры: случайная текстура травы и нестрогая периодическая текстура шкуры. Оба объекта естественного происхождения. Третий – в области шкуры. Четвертый – в области уха. Последний участок не является текстурой в узком смысле этого слова [4]. В качестве окон анализа выбраны квадраты размерами 15x15, 25x25, 35x35 и 50x50 пикселей. Заметим, что выбор этих участков в определенной степени соответствует процедуре предварительной сегментации. Положение окон анализа также показано на рис. 1.

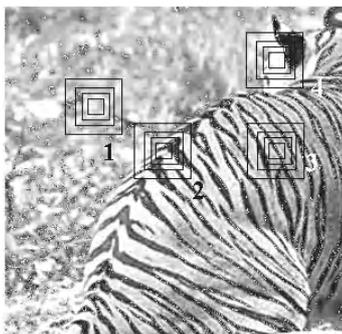


Рис. 1. К построению алгоритма определения текстур

Исходные суммы равноярких пикселей текстуры шкуры тигра (участок 2) показаны на рис. 2.

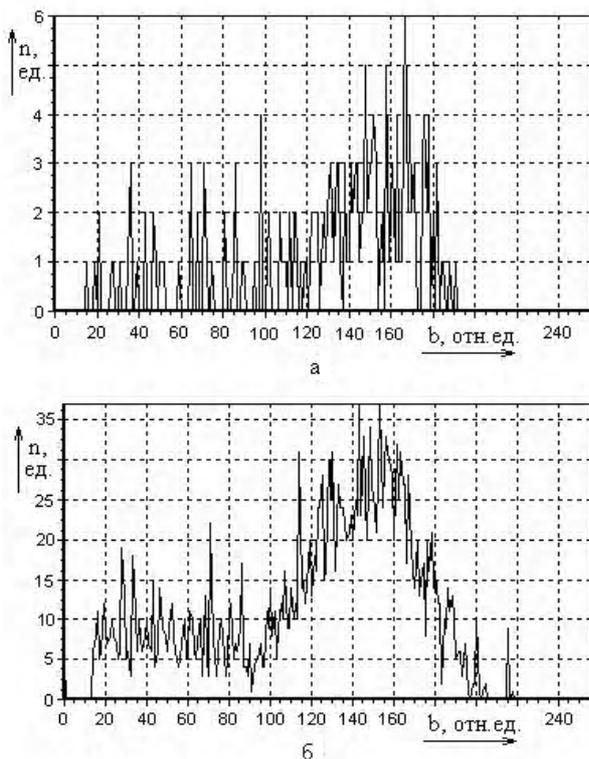


Рис. 2. Исходные суммы текстуры «шкура» при окне анализа: а – 15x15; б – 50x50

На этих гистограммах присутствует шум, обусловленный дискретностью преобразования яркостного сигнала. Этот шум особенно заметен в высокочастотной области. Для его подавления необходим фильтр

Фурье. Таким образом, Фурье – разложение в данном алгоритме можно быть использовано как для фильтрации, так и для идентификации текстуры. Это еще раз указывает на рациональность выбора коэффициентов ряда Фурье для создания эффективной процедуры распознавания.

Одномерное преобразование Фурье имеет вид:

$$F_j = \int_{-\infty}^{\infty} P_{mn}(i) e^{-j(\xi x)} dx, \quad (2)$$

где ξ – пространственные частоты $b(x, y)$ функции яркости.

Критерием совпадения является идентичность коэффициентов разложения. При этом вероятность обнаружения текстуры определяется степенью совпадения численных значений коэффициентов с одинаковыми порядковыми номерами. Объем статьи не позволяет осветить вопрос численного определения вероятностей «обнаружения текстуры» или «пропуска текстуры» [4], которому при разработке критериев было уделено внимание. Поэтому здесь ограничимся только описанием алгоритма и представлением некоторых, на наш взгляд, наиболее наглядных результатов численного эксперимента.

3. Описание алгоритма

Обнаружение текстуры является сложным процессом, и алгоритм может включать большое число основных и вспомогательных операций, например предварительную фильтрацию, выбор пути перемещения ОА и прочее.

К предварительным операциям относится перевод цветного изображения в градации серого. Он производится с помощью выражения

$$\text{Grey} = 0,3 \cdot V_r + 0,59 \cdot V_g + 0,11 \cdot V_b.$$

Последующие операции необходимы для данной методики.

Основная часть алгоритма на выбранном участке изображения содержит следующие шаги:

Шаг 1. Выбор размера окна анализа.

Шаг 2. Вычисление сумм равноярких пикселей и построение исходных гистограмм, согласно (1).

Шаг 3. Вычисление коэффициентов ряда Фурье с помощью дискретного преобразования Фурье.

Шаг 4. Восстановление фильтрованной гистограммы с помощью обратного преобразования Фурье по ограниченному числу коэффициентов ряда.

Шаг 5. Возвращение к выбору следующего окна анализа.

Шаг 6. Построение таблицы коэффициентов рядов Фурье и фильтрованных гистограмм.

Шаг 7. Сравнение значений коэффициентов и формы гистограмм.

4. Результаты численного эксперимента

Для наглядного представления работы алгоритма покажем часть результатов расчетов после нескольких этапов.

В табл. 1 представлены действительные части первых тридцати коэффициентов Фурье-разложения для участка «травы» при выбранных размерах окон анализа (15x15, 25x25, 35x35 и 50x50 пикселей).

Таблица 1

N_{Φ}	15x15	25x25	35x35	50x50
1	0,871	0,921	0,943	1
2	-0,377	-0,378	-0,282	-0,250
3	-0,447	-0,528	-0,623	-0,709
4	0,601	0,689	0,550	0,518
5	-0,104	-0,102	0,083	0,195
6	-0,254	-0,375	-0,375	-0,394
7	0,143	0,291	0,135	0,061
8	0,067	0,026	0,134	0,153
9	-0,079	-0,155	-0,089	-0,060
10	0,003	0,077	-0,031	-0,022
11	0,040	0,015	0,031	0,012
12	-0,096	-0,053	0,009	-0,010
13	0,121	0,056	-0,017	0,001
14	-0,006	-0,007	-0,018	0,009
15	-0,145	-0,053	0,027	0,001
16	0,120	0,032	0,009	-0,020
17	0,025	0,030	-0,022	-0,002
18	-0,058	-0,015	0,034	0,038
19	-0,029	-0,046	-0,008	-0,012
20	0,036	0,030	-0,049	-0,036
21	0,055	0,040	0,026	0,029
22	-0,067	-0,050	0,028	0,018
23	-0,021	-0,006	-0,027	-0,033
24	0,041	0,032	-0,012	-0,001
25	0,035	0	0,034	0,031
26	-0,049	-0,021	-0,004	-0,013
27	-0,036	-0,000	-0,036	-0,016
28	0,070	0,015	0,019	0,022
29	-0,003	-0,002	0,027	-0,000
30	-0,039	0,004	0	-0,018

В табл. 2 представлены аналогичные результаты для участка «ухо».

Аналогичные результаты получены и для мнимых частей коэффициентов разложения.

Как видно из этих таблиц, различие значений для участка «ухо» начинается уже на 2...3 гармонике, в то время как для участка «травы» подобие сохраняется до 8...9-й. Совпадение дальнейших коэффициентов можно отнести к случайным. Тем не менее, чтобы наглядно показать как регулярную, так и случайную составляющую, построение восстановленных гистограмм (4-й шаг алгоритма) производится по первым 30-ти коэффициентам ряда.

На рис.3 показаны фильтрованные гистограммы, составленные для участка «травы».

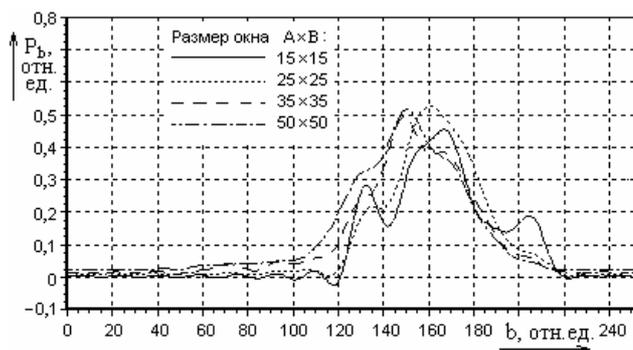


Рис. 3. Восстановленные гистограммы текстуры «травы» при $N_{\max}=30$

Отрицательные значения являются следствием ограничения гармоник при восстановлении.

Таблица 2

N_{Φ}	OA=15x15	25x25	35x35	50x50
1	0,871	0,921	0,943	1
2	-0,727	-0,484	-0,369	-0,261
3	0,454	0,160	0,017	-0,121
4	-0,246	0	0,211	0,321
5	0,080	-0,002	-0,069	-0,053
6	0,098	0,098	0,069	-0,016
7	-0,231	-0,162	-0,082	0,007
8	0,291	0,226	0,112	0,020
9	-0,299	-0,169	-0,078	-0,078
10	0,258	0,105	0,012	-0,006
11	-0,178	-0,056	-0,044	-0,065
12	0,095	0,060	-0,003	-0,042
13	-0,020	0,016	-0,037	-0,052
14	-0,048	-0,081	-0,080	-0,090
15	0,089	0,053	-0,010	-0,028
16	-0,076	-0,012	-0,041	-0,032
17	0,018	0,002	-0,031	-0,052
18	0,017	0,007	-0,005	-0,000
19	0,001	-0,006	-0,035	-0,032
20	-0,010	-0,009	-0,001	0,007
21	-0,043	-0,009	-0,020	0,006
22	0,102	0,086	0,075	0,028
23	-0,103	-0,054	-0,034	0,006
24	0,076	0,069	0,032	0,050
25	-0,069	-0,056	0,012	0,010
26	0,083	0,073	0,031	0,036
27	-0,100	0,012	0,030	0,058
28	0,094	0,056	0,061	0,042
29	-0,069	-0,015	0,010	0,034
30	0,058	0,064	0,052	0,045

Аналогичные гистограммы для участка «шкуры» представлены на рис.4.

Изменение размеров OA на рис.4 оказало влияние в области низких уровней яркости. Это следствие включения в OA широкой темной полосы (левый нижний угол OA=25x25). На рис.3 случайная составляющая больше, что соответствует характеру участка.

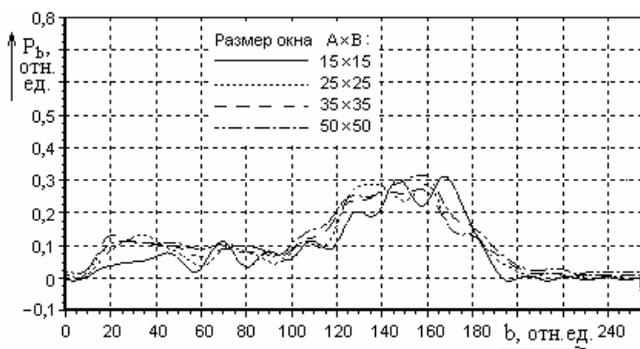


Рис. 4. Восстановленные гистограммы текстуры «шкура» при $N_{\max}=30$

На рис.5 представлены гистограммы, рассчитанные для области «уха».

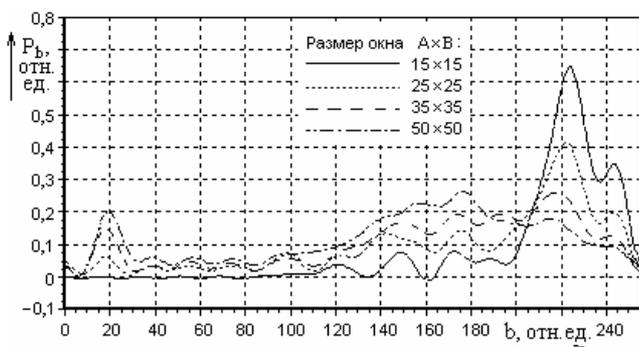


Рис. 5. Восстановленные гистограммы уровней яркости в области «уха» при $N_{\max}=30$

Этот участок не является текстурой, и это приводит к существенному различию гистограмм при всех размерах ОА.

Чтобы показать ограничения данной методики, проведем расчеты для области «стыка» (участок б на рис. 1). Гистограммы для этого участка представлены на рис.6.

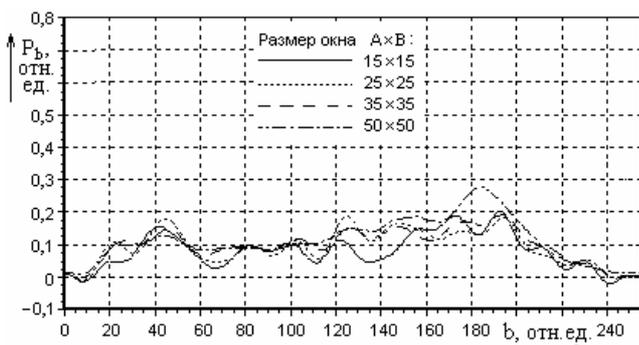


Рис. 6. Восстановленные гистограммы уровней яркости в области «стыка» при $N_{\max}=30$

Изменение гистограммы этого участка больше соответствует изменениям гистограмм на текстурах. Это явилось следствием того, что центры всех выбранных ОА расположены точно на стыке текстур. Это показывает, что при реальном распознавании требуется предварительное оконтуривание изображений.

Выводы

Текстурный анализ требует разработки как теоретических основ, так и создания новых практических методик. Представленная в данной работе предварительная оценка возможности идентификации текстур на основании сравнения гистограмм распределения яркости при измерении размеров окна анализа показала достаточную эффективность такой методики. Показана также необходимость ее дальнейшего совершенствования.

Безусловно, при идентификации цветных изображений процедура будет работать эффективнее. Изображения в градациях серого существенно ухудшают возможность распознавания, поскольку технические средства регистрации изображений имеют ограниченный диапазон яркостей и плотность (яркость) стараются сделать по возможности одинаковой.

Кроме геометрических искажений, данная процедура может быть инвариантной еще по одному фактору – по яркости освещения объекта. В этом случае в качестве численного критерия для принятия решения необходимо использовать отношения коэффициентов ряда разложения.

Литература: 1. Яне Б. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2007. 584 с. 2. Форсайт Д., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход. М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. 928 с. 3. Путятин Е.П., Аверин С.И. Обработка изображений в робототехнике. М.: Машиностроение, 1990. 320 с. 4. Путятин Е.П., Панченко И.А. Об аксиоматике текстурного анализа в задачах обработки изображений // Радиоэлектроника и информатика. 2011. № 4. С.25-31. 5. Анисимов Б.В., Курганов В.Д., Злобин В.К. Распознавание и цифровая обработка изображений. М.: Высшая школа, 1983. 294 с. 6. Laws K. Rapid texture identification. In SPIE Vol. 238 Image Processing for Missile Guidance, 1980. P. 376-380 p. 7. Laws K. Textured Image Segmentation, Ph.D. Dissertation, University of Southern California, January 1980. 8. Чи-Мэн Пан и Мун-Чуен Ли. Логарифмически-полярные вейвлет-сигнатуры для классификации текстур, инвариантных к вращению и масштабу. IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, Vol. 25, No. 5. 2003.

Поступила в редколлегию 14.04.2012

Рецензент: д-р физ.-мат. наук, проф. Дорошенко В.А.

Панченко Ирина Александровна, аспирант кафедры информатики ХНУРЭ. Научные интересы: анализ изображений, программирование. Адрес: Украина, 61736, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (057) 7021-419.

Путятин Евгений Петрович, д-р. техн. наук, проф., заведующий кафедрой информатики ХНУРЭ. Научные интересы: анализ изображений. Адрес: Украина, 61736, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. (057) 7021-419.