

Козловский Антон Николаевич
магистр технических наук
Kazlouski A. M.
Master of Engineering Science

**АЛГОРИТМ РАСПОЗНАВАНИЯ ПРОСТОГО ОБЪЕКТА
ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ
PLAIN OBJECT RECOGNITION ALGORITHM IN IMAGE
PROCESSING BASED ON STOCHASTIC GEOMETRY**

Аннотация: Задача распознавания объекта изображения является одной из актуальных в современной цифровой обработке изображений. В статье рассматривается улучшение разработанного автором алгоритма распознавания простого объекта изображения. Усовершенствована система трейс-, диаметральных и круговых функционалов. В частности, разработан новый набор диаметральных функционалов, для более точного и быстро действенного распознавания.

Ключевые слова: контурный анализ, объект изображения, вершина угла, распознавание.

Summary: Pattern recognition is central problem of image processing. This paper presents the improved plain object recognition algorithm in image processing based on stochastic geometry developed by the author. The system of trace, circular and diametrical functionals has been reworked. In particular, developed a new set of diametrical functionals, for a more efficient and rapid recognition.

Keywords: contour analysis, image object, the vertex, pattern recognition.

Введение

Последние достижения в развитии технического зрения, а также аппаратного и программного обеспечения сделали возможным практическое использование различных автоматизированных систем, направленных на поддержку принятия решений. Как следствие, алгоритмы

цифровой обработки изображений находят все более широкое применение в научных и прикладных исследованиях в различных областях. Одной из важнейших задач цифровой обработки изображений является разработка алгоритмов распознавания объекта изображения, что является ключевым этапом решения различных задач. Поэтому разработка алгоритма распознавания объекта изображения актуальна в научном и практическом плане.

Алгоритмы распознавания объекта изображения используются при решении задачи совмещения изображений, а также находят широкое применение в системах технического зрения.

Аффинное преобразование является частным случаем проективного преобразования (подгруппа) [1]. Поэтому аффинная инварианта не сохраняет свои свойства при условии проективного искажения, а проективная инварианта сохраняет их в случае аффинного искажения. Как следствие разработка алгоритма распознавания объекта изображения инвариантного относительно проективного искажения актуальна.

Целью статьи является улучшение разработанного автором алгоритма распознавания простого объекта изображения. Его отличительной особенностью является инвариантность относительно проективного искажения. Разработаны новые наборы диаметральных и круговых функционалов. Это обеспечивает более точное и быстро действенное распознавание.

Алгоритм распознавания простого объекта изображения

В основе разработанного автором алгоритма распознавания простого объекта изображения на основе стохастической геометрии (Ag. 1) [2] лежит представление вершины угла простого объекта изображения в качестве характерной черты формы его границы. Проективное преобразование сохраняет вершину угла, кроме случаев превращения угла

преобразованием в угол 0 , π и 2π (рад). Подробно математическая модель простого объекта изображения рассмотрена в работе [3].

Рассматриваемый алгоритм распознавания простого объекта изображения (Ag. 2) как и алгоритм Ag. 1 состоит из следующих шагов:

Шаг 1. Произвести нормализацию исходного изображения;

Шаг 2. Обнаружить вершину угла ν простого объекта pl ;

Шаг 3. Вычислить вектор признаков u простого объекта pl ;

Шаг 4. Произвести классификацию простого объекта pl .

При этом действия, выполняемые на каждом шаге у алгоритмов Ag. 1 и Ag. 2 одинаковы. Рассмотрим шаг 3 алгоритма Ag. 2 более детально.

Характерной особенностью формируемого признака изображения (триплетный) является его структура в виде композиции трех функционалов: $\Pi(I) = \Phi \circ P \circ T(I \circ l(\varphi, p, t))$, где каждый функционал (Φ , P и T) действует на функции одной переменной (φ , p и t). Подробно теория триплетных признаков изображения рассмотрена в работе Н. Г. Федотова [4].

В рассматриваемом нами случае компактность и линейная разделимость классов достигаются путем анализа формы границы Γ_{Ω} простого объекта pl на основе контурного анализа. Обработка трейс-трансформанты выполняется диаметральными функционалами, отвечающими за переход от обработки трейс-трансформант к круговым трансформантам. Оценка подобия изображений выполняется исходя из совпадения аппроксимативного представления круговых трансформант – плоских кривых с периодом 2π .

Матрица проекций (трейс-матрица) имеет следующие размеры:

- по переменной φ – ось горизонтальная, область изменения $0, \dots, 2\pi$ с шагом $\pi/20$, число дискрет 41;

- по переменной p – ось направлена вверх, область изменения зависит от размеров изображения. Шаг один отсчет изображения.

Трейс-функционалы не изменились и остались теми же, что и у алгоритма Ag. 1. Это интеграл вдоль сканирующей прямой l и количество вершин углов ν простого объекта pl .

Среднее арифметическое взвешенное выступает в качестве диаметрального функционала P . Эта величина находит свое практическое применение в физике (в частности, средняя скорость тела или центр масс) и экономике.

Аппроксимация круговой трансформанты выполняется на основе преобразования Уолша – Адамара. Преобразование Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару инвариантно относительно циклического сдвига исходной последовательности. Мощность множества всех значений функции $f(\varphi)$ равна 41. Поэтому спектр преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару состоит из 64 значений. Отметим, что учитываются значения всех спектральных коэффициентов, в отличие от алгоритма Ag. 1, который рассматривал 38 первых коэффициентов.

Ниже представлена разработанная автором система трейс-, диаметральных и круговых функционалов.

Трейс-функционалы:

- $T_1: \int f(t)dt$ – интеграл вдоль прямой l ;
- $T_2: \sum \nu_i$ – количество вершин углов ν простого объекта pl при его пересечении с прямой l .

Диаметральные функционалы:

- $P_1: [\sum f(p_i)w_i]/\sum w_i$ – среднее арифметическое взвешенное ненулевых значений функции $f(p)$ с весами равными количеству их повторений.

Круговые функционалы:

– $\Phi_1: |A_0 - A_1|$ – модуль разности 0-го и 1-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_2: |A_2 - A_3|$ – модуль разности 2-го и 3-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_3: |A_4 - A_5|$ – модуль разности 4-го и 5-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_4: |A_6 - A_7|$ – модуль разности 6-го и 7-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_5: |A_8 - A_9|$ – модуль разности 8-го и 9-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_6: |A_{10} - A_{11}|$ – модуль разности 10-го и 11-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_7: |A_{12} - A_{13}|$ – модуль разности 12-го и 13-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_8: |A_{14} - A_{15}|$ – модуль разности 14-го и 15-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_9: |A_{16} - A_{17}|$ – модуль разности 16-го и 17-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_{10}: |A_{18} - A_{19}|$ – модуль разности 18-го и 19-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_{11}: |A_{20} - A_{21}|$ – модуль разности 20-го и 21-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_{12}: |A_{22} - A_{23}|$ – модуль разности 22-го и 23-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_{13}: |A_{24} - A_{25}|$ – модуль разности 24-го и 25-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_{14}: |A_{26} - A_{27}|$ – модуль разности 26-го и 27-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_{15}: |A_{28} - A_{29}|$ – модуль разности 28-го и 29-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_{16}: |A_{30} - A_{31}|$ – модуль разности 30-го и 31-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$.

– $\Phi_{17}: |A_{32} - A_{33}|$ – модуль разности 32-го и 33-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– $\Phi_{18}: |A_{34} - A_{35}|$ – модуль разности 34-го и 35-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– Φ_{19} : $|A_{36} - A_{37}|$ – модуль разности 36-го и 37-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– Φ_{20} : $|A_{38} - A_{39}|$ – модуль разности 38-го и 39-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– Φ_{21} : $|A_{40} - A_{41}|$ – модуль разности 40-го и 41-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– Φ_{22} : $|A_{42} - A_{43}|$ – модуль разности 42-го и 43-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– Φ_{23} : $|A_{44} - A_{45}|$ – модуль разности 44-го и 45-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– Φ_{24} : $|A_{46} - A_{47}|$ – модуль разности 46-го и 47-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– Φ_{25} : $|A_{48} - A_{49}|$ – модуль разности 48-го и 49-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– Φ_{26} : $|A_{50} - A_{51}|$ – модуль разности 50-го и 51-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– Φ_{27} : $|A_{52} - A_{53}|$ – модуль разности 52-го и 53-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– Φ_{28} : $|A_{54} - A_{55}|$ – модуль разности 54-го и 55-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– Φ_{29} : $|A_{56} - A_{57}|$ – модуль разности 56-го и 57-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– Φ_{30} : $|A_{58} - A_{59}|$ – модуль разности 58-го и 59-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– Φ_{31} : $|A_{60} - A_{61}|$ – модуль разности 60-го и 61-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$;

– Φ_{32} : $|A_{62} - A_{63}|$ – модуль разности 62-го и 63-го спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару сигнала $f(\varphi)$.

Итого имеется 35 функционалов, формирующих вектор признаков u изображения из 64 элементов. Автором предложены следующие функционалы: T_2 , P_1 и $\Phi_1 - \Phi_{32}$. Таким образом число признаков изображения уменьшено с 200 Ag. 1 до 64. Это обеспечивает лучшую линейную делимость классов.

Разработанный алгоритм распознавания Ag. 2 обеспечивает точность распознавания относительно проективного искажения в среднем 92 %, а точность распознавания алгоритма Ag. 1 относительно проективного искажения в среднем 89 %. Сопоставление простого объекта pl выполняется с помощью классификатора по минимальному расстоянию, где мера близости простого объекта pl определяется манхэттенской метрикой. В ходе тестирования использовался разработанный автором алгоритм обнаружения вершины угла объекта изображения [5].

В качестве исходных данных для тестирования алгоритмов Ag. 1 и Ag. 2 использовалась база реальных аэрокосмических изображений, включающая 140 изображений, а также различные произвольные эталонные выборки простых объектов. Эталонная выборка S из семи произвольных простых объектов показана на рис. 1.

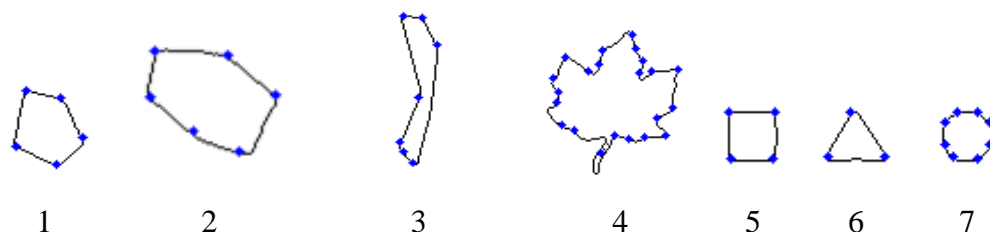


Рис. 1. Семь произвольных простых объектов. Выделенные отсчеты – вершины углов

Заключение

Предложен улучшенный алгоритм распознавания простого объекта изображения на основе стохастической геометрии. В качестве диаметрального функционала выступает среднее арифметическое взвешенное, обладающее физическим смыслом. Учитываются значения всех спектральных коэффициентов преобразования Уолша – Адамара с упорядочиванием по Адамару. Разработанный алгоритм распознавания повышает точность распознавания относительно проективного искажения в среднем на 3 % с увеличением быстродействия.

Литература

1. Постников М.М. Лекции по геометрии. Семестр I. Аналитическая геометрия. М.: Наука, 1973. 752 с.
2. Козловский А.Н. Алгоритмы обнаружения и распознавания простого объекта на изображениях / Эффективные исследования современности. Сборник научных работ X Международной научной конференции Евразийского Научного Объединения. – Москва: ЕНО, октябрь 2015. Часть 1. С. 58–61.

3. Козловский А.Н. Математические модели элементарного и простого объекта изображения на основе контурного анализа / Международный научный журнал. 2016. № 3. С. 75–77. DOI:10.21267/IN.2016.3.1107.
4. Федотов Н.Г. Теория признаков распознавания образов на основе стохастической геометрии и функционального анализа. М.: Физматлит, 2009.- 304 с.
5. Козловский А.Н. Алгоритм обнаружения вершины угла на изображении на основе аппроксимации контура бинарного изображения // Международный научный журнал. 2016. № 9. С. 63–73. DOI:10.21267/IN.2016.9.3288.