

АЛГОРИТМ НАХОЖДЕНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МЕЖДУ СПЕКТРОЗОНАЛЬНЫМИ ИЗОБРАЖЕНИЯМИ НА ОСНОВЕ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ

**А. Н. Козловский, **Р. Х. Садыхов*

**Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси*

Сурганова, 6, г. Минск, 220012, Беларусь,

***Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники*

П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Беларусь

Представлен алгоритм нахождения предварительного пространственного преобразования между спектрально-зональными изображениями на основе стохастической геометрии. Нахождение предварительного пространственного преобразования осуществляется с помощью распознавания бинарных объектов изображений на основе Тгасе-преобразования. Тестирование представленного алгоритма подтвердило его эффективность – надежность.

Ключевые слова: взаимное совмещение изображений, стохастическая геометрия, тройной признак, Тгасе-преобразования;

1 ВВЕДЕНИЕ

Задача нахождения предварительного пространственного преобразования между изображениями, являющихся проекциями одних и тех же точек пространства, представляет интерес для различных приложений. Поскольку этап нахождения предварительного пространственного преобразования является важной составной частью процедур как автоматического, так и ручного взаимного совмещения изображений, то представляет интерес разработки автоматических алгоритмов нахождения предварительного пространственного преобразования между изображениями. Такие алгоритмы состоят из нескольких шагов. На первом шаге обычно находятся хорошо идентифицируемые точки на взаимно совмещаемых изображениях: угловые точки на изображениях, т. е. точки, которые являются угловыми точками объектов изображения. Далее среди множества найденных угловых точек определяются соответственные пары опорных точек (ОТ). На последнем шаге выполняется нахождение предварительного пространственного преобразования на основе найденных соответственных пар ОТ.

Заметим, что существующие алгоритмы на этапе определения соответственных пар ОТ используют алгоритм RANSAC [1]. Причем входной набор пар соответственных ОТ выбирается случайным образом, а так как количество ОТ на опорном и совмещаемом изображениях отличается в сферу пространственных искажений, то этап определения соответственных пар ОТ существенно за-

медляется. Для преодоления данного недостатка и был разработан предлагаемый алгоритм.

2 СХЕМА АЛГОРИТМА НАХОЖДЕНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МЕЖДУ СПЕКТРОЗОНАЛЬНЫМИ ИЗОБРАЖЕНИЯМИ

Алгоритм нахождения предварительного пространственного преобразования между спектрально-зональными изображениями на основе стохастической геометрии осуществляется в четыре следующих шага:

1. Определение бинарных краев объектов исходных изображений.
2. Формирование наборов бинарных объектов изображений.
3. Определение соответственных пар ОТ.
4. Нахождение предварительного пространственного преобразования.

На первом шаге работы алгоритма осуществляется обнаружение бинарных краев объектов опорного и совмещаемого изображений путем применения детектора краев Канни [2]. Для этого применяются следующие процедуры: соединение пикселей краев объектов, разделенных промежутком в m пикселей и удаление отростков пикселей.

На втором шаге осуществляется формирование наборов бинарных объектов принадлежащих опорному или совмещаемому изображению. Причем, бинарный объект считается, принадлежащим соответствующему множеству, если он имеет одинарный замкнутый контур и общее количество пикселей в контуре больше или равно n .

На третьем шаге выполняется определение соответственных пар ОТ – угловые точки соответствующих бинарных объектов. Распознавание бинарных объектов осуществляется на основе Тгасе-преобразования [3, 4]. Угловые точки находятся согласно алгоритму CSS [5], а соответственные пары ОТ определяются при помощи алгоритма RANSAC.

На последнем, четвертом шаге, по найденному множеству соответственных пар ОТ выполняется нахождение предварительного пространственного преобразования.

Изображения (базовое, совмещаемое) исходные, бинарные

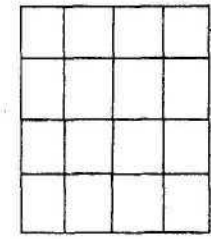


Рис. 1. Схема алгоритма нахождения предварительного пространственного преобразования между спектрозональными изображениями на основе стохастической геометрии.

3 НАБОР ТРИПЛЕТНЫХ ПРИЗНАКОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ РАСПОЗНАВАЕМЫЕ БИНАРНЫЕ ОБЪЕКТЫ

Распознавание бинарных объектов на основе Трасе-преобразования в представленном алгоритме основывается на следующем наборе функционалов, причем используемые диаметральные и круговые функционалы Ξ должны обладать одним из следующих свойств:

- инвариантность к сдвигу т. е.

- $\Xi(\xi(x+b)) = \Xi(\xi(x)), \forall b \in \mathfrak{R}$;
- существует положительная функция α такая, что $\Xi(\xi(ax)) = \alpha(a)\Xi(\xi(x)), \forall a > 0$ из области Dom α задания функции α ;
- существует положительная функция γ такая, что: $\Xi(c\xi(x)) = \gamma(c)\Xi(\xi(x)), \forall c > 0$ из области Dom γ задания функции γ .

Трасе-функционалы:

1. T_1 : $\int f(t)dt$ - интеграл вдоль прямой;
2. T_2 : дисперсия функции, предварительно нормированная на ее интеграл. Нормирование делается для того, чтобы использовать само понятие дисперсии, которое определено только для не отрицательных функций, интеграл от которых равен единице. Если функция было тождественным нулем, то считается, что дисперсия равна нулю. Это необходимо для непрерывности Трасе-преобразования (хотя обычно считают, что дисперсия нулевой функции равна бесконечности);
3. T_3 : дисперсия функции, вычисленная, как указано в предыдущем пункте, затем умноженная на интеграл от функции. Это делается для того, чтобы учесть малость функции и придать малый вес случайному шуму и искажениям;
4. T_4 : число сегментов при пересечении прямой и образа;
5. T_5 : длина отрезка между первым касанием объекта и последним. Математически это есть длина выпуклой оболочки суппорта (носителя) функции;
6. T_6 : сумма абсолютных величин первых частных производных по x ;
7. T_7 : сумма абсолютных величин первых частных производных по y .

Диаметральные функционалы:

1. P_1 : $[\int f^2(p)dp]^{1/2}$ - Гильбертова норма функции;
2. P_2 : минимум функции;
3. P_3 : максимум функции;
4. P_4 : вариация функции.

Круговые функционалы:

1. Φ_1 : $[\int f^4(\varphi)d\varphi]^{1/4}$ - Евклидова норма функции;
2. Φ_2 : Евклидова норма функции, деленная на вариацию функции;
3. Φ_3 : амплитуда второй гармоники Фурье-функции, деленная на максимум функции;

4. Φ_4 : амплитуда четвертой гармоники Фурье-функции, деленная на Евклидову норму функции;
5. Φ_5 : минимум функции;
6. Φ_6 : максимум функции;
7. Φ_7 : вариация функции.

Итого мы имеем $7 + 4 + 7 = 18$ разных функционалов, позволяющих сформировать $7 \times 4 \times 7 = 196$ признаков изображения.

Грассе-матрица имеет следующие размеры:

- по переменной φ ось горизонтальная, область изменения $0, \dots, 2\pi$, число дискрет 40;
- по переменной p ось направлена вверх, область изменения $-15, \dots, 15$, число дискрет 69.

Каждый бинарный объект, участвующий в процессе распознавания, таким образом, характеризуется вектором из 196 чисел.

Для каждого распознаваемого бинарного объекта опорного изображения вычисляется расстояние в 196-мерном пространстве от каждого бинарного объекта из множества объектов совмещаемого изображения. Минимальное расстояние считается результатом процесса распознавания бинарного объекта.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Для иллюстрации эффективности работы представленного алгоритма рассмотрим его работу на примере опорного изображения I и совмещаемого с ним изображения I_1 . Совмещаемое изображение I_1 было получено путем преобразования базового изображения I посредством некоторого проективного пространственного преобразования и бикубической интерполяции значений яркости. Изображения I , I_1 размером 501×501 и 918×924 пикселей, соответственно, представлены на рисунке 2.

Множество бинарных объектов совмещаемого изображения представлено на рисунке 2 (в). Задача состоит в отнесении бинарного объекта из множества опорного изображения к одному из бинарных объектов из множества совмещаемого изображения.

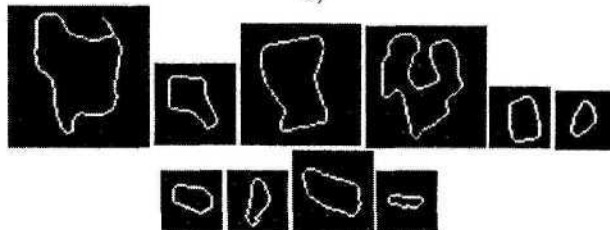
Можно сделать вывод, что представленный в статье набор триплетных признаков удовлетворительно решает поставленную задачу различения бинарных объектов.



а)



б)



в)

Рис. 2. На рисунке 2 изображены: а) опорное изображение; б) совмещаемое изображение; в) набор бинарных объектов совмещаемого изображения.

Отметим, что при использовании алгоритма CSS, для нахождения угловых точек объектов, было найдено 262 и 319 угловых точек на опорном изображении и совмещаемом изображении соответственно.

5 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный в работе алгоритм нахождения предварительного пространственного преобразования между спектрально-зональными изображениями на основе стохастической геометрии состоит из четырех этапов: определение бинарных краев объектов исходных изображений; формирование наборов бинарных объектов изображений; определение соответственных пар ОТ; нахождение предварительного пространственного преобразования.

Тестирование предложенного алгоритма осуществлялось на реальных изображениях. Основным достоинством предложенного алгоритма является надежная реализация этапа определения соответственных пар ОТ, достигаемая за счет использования распознавания бинарных объектов, выполняемого на основе предложенного набора триплетных признаков.

По полученным результатам можно считать, что представленный алгоритм решает поставленную перед ним задачу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бородач А. В., Жук Д. В., Тузиков А. В. // Доклады пятой международной конференции "Обработка информации и управление в чрезвычайных и экстремальных ситуациях", Минск, 24–26 октября 2006 г. – Минск: ОИ-ПИ НАН Беларуси, 2006. – Том 2 – С.105–111 – ISBN 985–6744–27–X.
2. J. Canny, "Computational Approach to Edge Detection", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 8(6), pp. 679-698, 1986.
3. Федотов Н. Г., Кадыров А. А. //Автометрия, № 1, 1996, с.88–93.
4. Федотов Н. Г., Кадыров А. А. //Автометрия, № 4, 1997, с.65–79.
5. X.C. He and N.H.C. Yung, "Corner detector based on global and local curvature properties", Optical Engineering, 47(5), pp: 057008, 2008.