

Методы выделения характерных особенностей изображений подстилающей поверхности при некорреляционном совмещении

Е.В. Герман, А.А. Логинов, М.Б. Никифоров

ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет», г. Рязань, ул. Гагарина, 59/1, nikiforov.m.b@evm.rsreu.ru

В данной работе рассматриваются вопросы совмещения изображений подстилающей поверхности, полученных от сенсоров, с их виртуальными эталонами. Приводится обобщенный алгоритм решения данной задачи. Рассматриваются методы выделения характерных особенностей.

At the paper questions of combination of images of the spreading surface received from sensor controls and a digital district map, by not correlation methods based on allocation of features are considered. The generalised algorithm of the decision of the given problem is resulted. Methods of allocation of features are considered.

Специфика задачи совмещения изображений подстилающей поверхности, полученных от сенсоров, и виртуальной модели местности (ВММ), полученной по цифровой карте местности (ЦКМ), для создания комбинированного изображения заключается в следующем. В «классической» задаче совмещения рассматривается вопрос совмещения однородных либо близких изображений, то есть изображений одной и той же сцены, полученных либо с разных точек обзора (в этом случае имеются перекрывающиеся области), либо в разные моменты времени (задача анализа оптического потока). Исходные изображения могут отличаться масштабом, быть геометрически преобразованы друг относительно друга, зашумлены и т.д. В задаче совмещения изображений подстилающей поверхности и ВММ необходимо совместить принципиально отличающиеся по своей природе изображения одной и той же сцены, каждое из которых имеет свою специфику:

1. Характерные особенности изображений ВММ и изображений от сенсоров будут различными, так как изображение ВММ является искусственным изображением сцены, а полученное от сенсоров – естественным.

2. Количество и качество объектов на обоих типах изображений различно.

3. Координатное рассогласование обоих изображений невелико (имеются значительные области перекрытия) и в значительной мере может быть скомпенсировано предварительными геометрическими преобразованиями.

Необходимы алгоритмы, обеспечивающие совмещение в реальном масштабе времени.

Обобщенный алгоритм решения задачи нахождения соответствий.

Типичной является следующая последовательность решения задачи:

1. Предварительная обработка исходных изображений.
2. Поиск характерных особенностей на изображениях.
3. Сопоставление особенностей.
4. Фильтрация выбросов.
5. Оценка несоответствия между изображениями.
6. Компенсация несоответствия, слияние изображений.

Предварительная обработка исходных изображений.

Требуется выполнить предобработку исходных изображений, которая позволила бы выделить особенности, характерные как для изображения ВММ, так и изображения, полученного от сенсоров. Такими особенностями будут являться контуры (границы)

либо углы (точки) контуров населенных пунктов, дорог, водоемов, лесных массивов, линии горизонта и др. Следовательно, необходима предобработка, переводящая исходные изображения в пространство контуров.

Типичной последовательность ее выполнения:

- фильтрация исходного изображения;
- применение морфологических операций открытия и закрытия для выделения границ;
- при необходимости (в случае выделения конкретных типов объектов – водоемов, дорожного покрытия, линий горизонта и др.) – бинаризация изображений;
- применение детектора границ (Канни или др.).

Все дальнейшие вычисления требуется проводить именно в пространстве контуров, следовательно, сравнение границ может осуществляться с помощью уголковых детекторов либо детекторов границ.

Из методов обнаружения края при помощи различных дифференциальных операторов на сегодняшний день широко распространены следующие операторы: Робертса (Roberts), Собеля (Sobel), Канни (Canny) [1].

Нахождение точечных особенностей.

Велика вероятность того, что кривые, окружности и прямые линии на изображениях от сенсоров и ЦКМ могут не совпадать, в связи с чем в качестве признаков изображений предлагается использовать точечные особенности.

Возможны два качественно различных подхода к решению задачи выделения точечных особенностей на изображении.

1. Поиск опорных точек контуров.

Могут быть использованы не только опорные точки (точки перегиба), но и промежуточные точки контура, что позволяет иметь некоторую избыточность множества точек.

Алгоритм выделения опорных точек контура заключается в следующем:

Для каждой точки контура x_i :

- вычисляется угол между отрезками (x_{i-k}, x_i) и (x_i, x_{i+k}) ;
- при величине угла больше порогового точка x_i принимается опорной, в противном случае отбрасывается.

2. Поиск характерных особенностей с использованием детекторов точечных особенностей изображения.

Среди всего многообразия детекторов особенностей изображений наибольшее распространение на сегодняшний день получили следующие [2]:

1. Харриса и его модификации: Ши-Томаса, Харриса-Лапласа и др.;
2. Фёрстнера;
3. Бедета;
4. Алгоритмы SIFT, SURF;
5. DoG (Difference of Gaussian);
6. Алгоритм Хафа и его модификации (Радон, Хартли) для поиска линий;
7. Алгоритм Рада для поиска окружности и другие.

Один из первых алгоритмов детектирования углов предложил Бедет. Он определял положения углов по максимумам определителя Гессиана от функции яркости изображения (1).

$$H = I_{xx}I_{yy} - I_{xy}^2, \quad (1)$$

где $I(x, y)$ – яркость изображения в точке (x, y) .

Этот метод работает хорошо с углами вида L, но с углами вида X, Y и T хуже. И так, как в методе используются вторые производные от функции яркости, то результат сильно подвержен влиянию шума.

В свою очередь, Фёрстнер предложил детектор углов, использующий только первые производные от функции яркости, и определил углы, как локальные максимумы (2).

$$F(x, y) = \frac{\overline{I_x^2} \cdot \overline{I_y^2} - (\overline{I_x \cdot I_y})^2}{\overline{I_x^2} + \overline{I_y^2}}, \quad (2)$$

где \bar{I} – среднее значение яркости в некоторой области (x, y) .

Наиболее распространен детектор Харриса [3]. Для каждого пикселя изображения вычисляется значение функции отклика угла – оценивающая степень похожести изображения окрестности точки на угол.

Для нахождения значения функции отклика угла вначале вычисляется матрица M (3).

$$M = \begin{bmatrix} \left(\frac{dI}{dx}\right)^2 & \left(\frac{dI}{dx}\right)\left(\frac{dI}{dy}\right) \\ \left(\frac{dI}{dx}\right)\left(\frac{dI}{dy}\right) & \left(\frac{dI}{dy}\right)^2 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

Затем производится расчет собственных значений матрицы M . Для упрощения вычислений Харрис предложил вместо собственных значений матрицы рассчитывать функцию отклика угла (4).

$$R = \det M - k(\text{trace}M)^2, \quad (4)$$

где k – параметр Харриса, его величина обычно лежит в пределах $0,04 \div 0,15$. Харрисом предложено значение $k = 0,04$.

Особенностями признаются точки изображения, соответствующие локальным максимумам функции R .

Для снижения влияния шумов на найденные особенности используется сглаживание по Гауссу, но не в самом изображении, а в частных производных

$$\left(\frac{dI}{dx}\right)^2, \left(\frac{dI}{dy}\right)^2, \left(\frac{dI}{dx}\right), \left(\frac{dI}{dy}\right).$$

Для повышения качества нахождения детектор Харриса был модифицирован. Главное отличие заключается в суммировании матриц по окну W (потенциальной особенности).

Для каждого пикселя изображения вычисляется матрица H (5).

$$H = \sum_w \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Точка считается особенностью, если минимальные собственные значения H больше некоторого порога ($\min(\lambda_1, \lambda_2) > \lambda$).

В пространстве контуров второй метод выделения точечных особенностей может быть сведен к первому, менее трудоемкому в вычислительном плане, однако требующему знания описания контуров изображения.

Таким образом, задача совмещения изображений сводится к задаче вписывания одного множества точек изображений в другое с минимальной ошибкой. В классической задаче совмещение изображений осуществляется путем сравнения дескрипторов (описания каждой характерной точки) и поиска наиболее похожих пар, однако данный метод не может быть применен из-за специфики исходных изображений.

Для сопоставления множества характерных точек изображений, принимаемых от сенсоров, и изображений ВММ может быть применен корреляционный алгоритм.

Альтернативой ему может выступать алгоритм ICP (iterative closest point), заключающийся в следующем:

1. Найти точки, которые являются самыми близкими к исходному множеству.
2. Вычислить лучшее вращение и перевод между точками исходного множества и самыми близкими точками второго множества.
3. Переместить точки согласно найденному преобразованию и проверить ошибку.

На вход алгоритма может подаваться как множества точек особенностей изображений от сенсоров и ВММ (при больших значениях угла места датчика), так и множества точек линий горизонта, получаемых на изображениях от сенсоров и ВММ.

Среди найденных соответствий могут быть ложные, так называемые выбросы. Если построить векторное поле соответствующих пар, где началом вектора является координаты точки на первом изображении, а концом - координаты на втором, то правильные соответствия будут иметь определенную закономерность, а выбросы этой закономерности подчиняться не будут.

Литература

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. Москва: Техносфера, 2005. – 1072 с.
2. Краснобаев А. А. Обзор алгоритмов детектирования простых элементов изображения и анализ возможности их аппаратной реализации. Москва, 2005
3. Кудряшов А.П. Извлечение и сопоставление точечных особенностей // Э.Н.Ж. «Исследовано в России», [http:// zhurnal.ape/relarn/ru/articles/2007/ 104.pdf](http://zhurnal.ape/relarn/ru/articles/2007/104.pdf).