

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ЛИНИЙ НА ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Д.И. Кириллюк, А.В. Костусев

Проведен теоретический анализ методов параметризации произвольных кривых линий на изображении. Исследована стабильность к повороту модернизированного метода параметризации линии.

Введение

В настоящее время в связи с развитием робототехники специального назначения стоит актуальная задача – обработка изображений в реальном масштабе времени. Наиболее распространенным подходом для обработки таких изображений является градиентный. Методы на основе этого подхода учитывают распределение градиента яркости в окрестностях реперных точек. Градиентный подход эффективно не применим к идентификации изображений одних и тех же объектов (местности) в условиях проекционных искажений. Устранение данного недостатка возможно за счет геометрического (контурного) подхода. Известны задачи обработки изображений, имеющих искусственную природу (например, печатные платы, детали конструкций), в которых применялись геометрические методы. Поэтому актуальной задачей в настоящее время является модернизация существующих геометрических методов и создание новых методов для обработки изображений, имеющих естественный характер (спутниковые, ландшафтные). Целью настоящей работы является теоретический анализ методов геометрической параметризации линий.

Основное содержание

Геометрические методы обработки изображений были хорошо разработаны для задач машинной графики, проектирования и контроля деталей машиностроения и т.п. Перед такими задачами не стояло требование устойчивости к изменению условий съемки с учетом времени и сезонности, а именно к изменению условий освещенности, изменению ракурса съемки, к действию шумовых помех, быстрдействию в реальном времени. Часто в таких задачах происходила обработка линий специального вида.

Поэтому основными требованиями к дескрипторам линий являются:

1. Устойчивость ко всем проективным преобразованиям.
2. Устойчивость к шумовым помехам.
3. Быстрдействие (методы должны работать в реальном масштабе времени).
4. Произвольность формы кривой.

Приведем классификацию способов описания (т.е. построения дескрипторов) произвольных кривых линий.

Простейшим случаем произвольной линии является прямая. Примером исследований прямых линий посвящены работы [11, 12].

Важным численным показателем кривой C является *диаметр*, который определяется формулой

$$Diam(C) = \max_{i,j} [D(p_i, p_j)],$$

где D – мера расстояния, а p_i и p_j – точки, принадлежащие кривой. Этот параметр является важным в случаях, когда кривая образует замкнутый контур или близкий к замкнутому контуру, т.е. когда значение диаметра меньше расстояния от точки начала кривой до точки конца. Развитием этого численного показателя может служить дескриптор, состоящий из значения самого диаметра и направление отрезка, соединяющего две экстремальные точки, которые и определяют диаметр (этот отрезок называют большой осью). Аналогично определяется малая ось, как отрезок перпендикулярный большой оси и имеющий такую минимальную длину, что проведенный через концы обеих осей прямоугольник, полностью содержит в себе всю границу (см.рис.1).



Рис.1. Диаметр, большая и малая оси

Еще одним численным параметром, характеризующим кривую, является *эксцентриситет*, т.е. отношение большой оси к малой [1].

Для параметризации формы кривой используют численный параметр – *форм-фактор*, который определяется формулой

$$f(n) = r(n)/s(n),$$

где $r(n)$ – расстояние между концевыми точками линии, $s(n)$ – некоторая мера расстояния, характеризующая длину линии [7]. Форм-фактор в совокупности с направлением отрезка, соединяющего начало и конец кривой линии, может являться полезным дескриптором.

Форму кривых линий можно количественно описывать с помощью *статистических характеристик*, такие как мат. ожидание, дисперсия, моменты более высокого порядка и другие [2].

Дескрипторы, являющиеся численными характеристиками формы линии, т.е. диаметра, эксцентриситета, форм-фактора, некоторые статистические характеристики являются вычислительно простыми, но слабо характеризующими форму линии, поэтому их использование целесообразно для предварительного сбора информации. После предварительного вычисления таких параметров следует принимать решение о необходимости дальнейшего вычисления более сложных дескрипторов.

Для построения дескриптора произвольной линии можно использовать *кривизну кривой*, т.е. скорость изменения угла наклона. Но в данном способе имеются сложности вычисления в дискретном случае из-за возникновения

локальных зазубрин. Но разность углов наклона соседних сегментов линии может быть полезна.

Использование *аналитических кривых* не является целесообразным, т.к. подобрать математическое представление (коэффициенты) кривой линии удастся лишь в сравнительно простых случаях, и как правило, эти случаи связаны с какими-то искусственными линиями.

Существуют подходы к построению дескриптора через *аппроксимацию кривой ломанными линиями* [3] (рис.2). Такое описание является вычислительно простым, но неустойчивым.

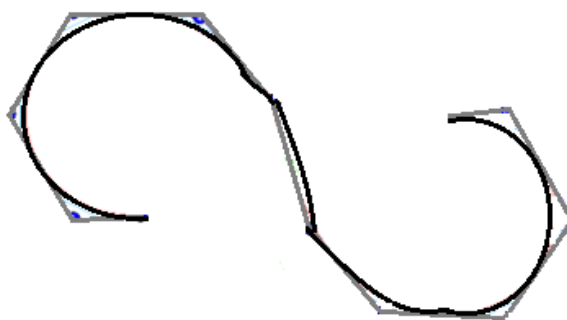


Рис.2. Аппроксимация с помощью ломанной

Методы аппроксимации кривой линии с помощью ломанной сильно зависят от начальной и конечной точек, от выбора шага дискретизации, поэтому являются крайне неустойчивыми.

Для параметризации кривой применяют *кодирование цепными кодами* [4]. В этом случае линия представляется в виде последовательности соединенных отрезков, для которых указана длина и направление. Направление каждого отрезка кодируется в соответствии со схемой нумерации. В общем случае такой метод имеет два недостатка: получаемая цепочка кодов оказывается слишком длинной, и любые малые возмущения приводят к изменениям кодовой последовательности, которые не связаны с общей формой кривой.

В качестве развития этого подхода можно предложить метод, который каждой последовательности из трех пикселей ставит в соответствие номер фазовой ориентации. Всего для трех пикселей возможно 12 фазовых ориентаций. Анализ стабильности этого метода при повороте проводился следующим образом. Исходное изображение, содержащее кривую линию, поворачивалось на 360° с шагом 5° . В итоге было получено 72 дескриптора, между которыми, установлено по координатное соответствие. По каждому элементу дескрипторов вычислено значение дисперсии. Среднее значение дисперсий равно 3,46.

Сигнатуры – одномерные функции, взаимно-однозначно определяющие кривую линию. В данном способе важен выбор некоторой фиксированной точки (центра), относительно которого будет строиться функция [5]. Например,

вычисляются углы между отрезками от выбранной центральной точки до точек кривой. Последовательность таких углов может служить дескриптором.

Фурье-дескриптор кривой линии позволяет свести задачу с двумерного случая к одномерному. Для этого последовательность координат соседних пикселей кривой представляется в виде последовательности комплексных чисел (одна координата будет действительной частью, а другая мнимой частью комплексного числа.) Т.е. задается последовательность $s(k)=x(k)+iy(k)$, где $x(k)$ – координата x k -й точки линии, $y(k)$ – координата y k -й точки линии. Дискретное преобразование Фурье конечной последовательности $s(k)$ задается уравнением

$$a(u) = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} s(k) e^{-2\pi i u k / K},$$

где K – количество пикселей, из которых состоит линия; $u = 0, 1, 2, \dots, K-1$.

Комплексные коэффициенты $a(u)$ и будут являться дескриптором. Обратное преобразование Фурье позволяют по этим коэффициентам восстановить исходную линию. Фурье-дескриптор устойчив к повороту и параллельному переносу с некоторой модернизацией [6]. Недостатком является то, что некоторые детали кривой при преобразованиях могут теряться.

Определяющим шагом в методах, использующих цепные коды и Фурье-дескрипторы, является выбор начальной точки, т.е. стабильность этих методов в первую очередь зависит от выбора точки отсчёта. Если удастся повысить эффективность выбора такой точки, то использование таких методов будет целесообразным. Применение сигнатур для требуемых в работе условий предполагает согласованный выбор фиксированной точки и выбора способа задания меры относительно от этой точки.

Если существуют замкнутые многоугольники, то для их характеристики можно использовать вычисления *меры симметрий* [8].

Аппроксимации кривых линий *сплайнами* посвящено много работ [9,10], т.к. сплайны обладают хорошими аппроксимационными свойствами. Для реализации этого подхода кривая линия должна обладать условием существования функции, что на практике не всегда случается.

Использование сплайнов и мер симметрий в рамках поставленной задачи не имеет смысла, т.к. такие методы не обладают необходимой вычислительной сложностью, и как следствие, не позволяют обрабатывать данные в реальном времени.

Преобразования Хафа основаны на построении отображения исходного изображения в некоторое пространство признаков. Чаще вместо исходного изображения используют результирующее пространство. Анализируя счётчик каждой точки результирующего пространства, представляющей собой представление кривой, делают выводы о соответствии линии задаваемым параметрам.

Заключение

Теоретический анализ показал, что для поставленной задачи, с учетом требований устойчивости к проективным преобразованиям, к шумовым помехам, быстродействия применимы с определенной модернизацией методы, использующие Фурье-дескрипторы, сигнатуры или цепные коды.

Список литературы

1. Freeman, H, Determining the minimum-area encasing rectangle for an arbitrary closed curve / H. Freeman, R. Shapira // Comm ACM. – 1975. – №18. – P. 409–413.
2. Papoulis, A. Probability, random variables, and stochastic processes / A. Papoulis. – New York: McGraw-Hill, 1991. – 678 p.
3. Loncaric, J. Sensor Actuator Placement via Optimal Distributed Control of Exterior Stokes Flow / J. Loncaric // Progress in Systems and Control Theory. – 1998. – Vol. 24. – P. 303–322.
4. Bribiesca, E. A new chain code / E. Bribiesca // Pattern Recognition. – 1999. – №32. – P. 235–251.
5. Ballard, D. H. Computer Vision / D.H. Ballard, C.M. Brown. New Jersey: Prentice-Hall, 1982. – 523 p.
6. Reddy, B.S. An FFT-based technique for translation, rotation, and scale-invariant image registration / B.S. Reddy, B. N. Chatterj // IEEE Transactions on Image Processing. – 1996. – Vol. 5, iss. 8. – P. 1266–1271
7. Бородина О.Г., Цветков В.Ю.. Выделение изолированных прямых линий на изображениях с использованием форм-фактора // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2015. – № 1. – С.41 – 45
8. Тузиков, А.В. Анализ симметричности и сравнение объектов на основе сложения Минковского / А.В. Тузиков. – Минск: Институт технической кибернетики НАН Беларуси, 1998. – 176 с.
9. Абламейко, С.В. Использование В-сплайнов для задач формирования математической модели линии в САПР / С.В. Абламейко, В.П. Васильев // Теория и методы автоматизации проектирования: научно-технический сборник. – Минск, 1979. – Вып. 2. – С. 35–40.
10. Абламейко, С.В. Исследование коэффициентов сплайна, моделирующего точечно-заданную кривую / С.В. Абламейко, В.П. Васильев // Автоматизация проектирования технологических процессов: научно-технический сборник. – Минск, 1980. – Вып. 1. – С. 25–31.
11. Журавлёв, А.А. Масочно-фазовый метод локализации прямых линий на изображении / А.А. Журавлёв, В.Ю. Цветков // Информатика. – 2014. – С. 85–96.
12. Запрягаев С.А. Распознавание простых линий на изображении / С.А. Запрягаев, А.И. Сорокин // Прикладная информатика. – 2009. №4(22). – С.76–81.

Кирилюк Денис Игоревич, аспирант кафедры сетей и устройств телекоммуникаций факультета телекоммуникаций Белорусского

*государственного университета информатики и радиоэлектроники,
kirilyuk.denis@gmail.com*

*Костусев Алексей Владимирович, магистрант кафедры сетей и устройств телекоммуникаций факультета телекоммуникаций Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники,
ulvinnn@gmail.com*