

Деформируемые модели в задаче локализации объекта на изображении

А.А.Дегтярева

Лаборатория компьютерной графики и мультимедиа, ВМиК, МГУ им. Ломоносова

e-mail: adegtiareva@graphics.cs.msu.ru

Задача локализации объектов на изображении актуальна во многих областях обработки изображений и машинного зрения. Одним из подходов к решению этой задачи является метод деформируемых моделей.

Введение

Работа метода деформируемых моделей (deformable models) основана на моделировании поведения пластичных материалов под воздействием внешних сил [1]. Исходная грубая модель искомого объекта деформируется под действием силовых полей, заданных входным изображением, а также ограничениями на форму искомого объекта, известными априори. Функционал, преобразующий пиксели входного изображения и дополнительные ограничения в силовое поле, носит название энергии. От выбора способа инициализации модели и функционала энергии зависит тип объектов, поиск которых может осуществлять деформируемая модель.

В отличие от традиционных методов поиска, таких как преобразование Хафа (Hough transform [2]), в которых шаблон для поиска задается жестко, деформируемые модели в процессе работы могут менять свою форму, позволяя более гибко осуществлять поиск объекта, поэтому в литературе деформируемые модели также часто называют активными моделями (active models) или активными контурными моделями (active contour models) [5].

Классические деформируемые модели разрабатывались для задачи выделения краев на изображении, однако с помощью различных энергий этот механизм способен более гибко настраиваться на поиск, например для сегментации объектов с разной текстурой энергия может быть основана на текстурных дескрипторах [9].

Классификация

Деформируемые модели можно классифицировать по типу ограничений, накладываемых на их форму, на два вида: деформируемые модели свободной формы и параметрические деформируемые модели.

Деформируемые модели свободной формы

На деформируемые модели свободной формы накладываются лишь общие требования гладкости и непрерывности контура. Примером такой модели может служить «змея» (snake) [5]. Классическая «змея» – деформируемая модель, заданная сплайном. Изменение деформируемой модели задается перемещением контрольных точек сплайна по изображению, энергия задается взвешенной суммой двух составляющих: внутренней энергии (задается условиями непрерывности и гладкости контура) и внешней энергии (задается деталями на изображении, к которым притягивается «змея»). Возможно также третье слагаемое – дополнительная энергия, задающая дополнительные пользовательские ограничения. «Змеи» широко используются в обработке медицинских изображений [10], задачах отслеживания движения, сегментации [4].

Формально, «змея» – это параметрически заданный контур $c(s) = (x(s), y(s))$. Энергия «змеи» выражается суммой

$$E(c) = E_1(c(s)) + E_2(c(s))$$

где

$$E_1 = \int_{\Omega} (\omega_1 \|c'(s)\|^2 + \omega_2 \|c''(s)\|^2) ds$$

– внутренняя энергия «змеи»,

$$E_2 = \int_{\Omega} P(c(s)) ds$$

– внешняя энергия «змеи». Здесь P – потенциал, ассоциированный с изображением и жестко связанный с искомым объектом. Для «змеи», настроенной на поиск границ, возможно

$$P = -\|\nabla I\|^2$$

где I – яркость изображения.

Формально, «змея» задается набором параметров (этими параметрами выступают координаты контрольных точек). Форма «змеи» меняется при изменении параметров. Необходимо подобрать такие параметры, чтобы форма модели как можно более точно совпадала с искомым объектом. Для этого вводится мера несовпадения, зависящая от текущих параметров – энергия. Минимизируя энергию, получаем искомые параметры. Минимизация может проводиться, например, методом ветвей и границ. Для этого итеративно последовательно меняются координаты каждой из контрольных точек; изменение, которое привело к наименьшему значению энергии, используется на следующем шаге итерации. Процедура минимизации заканчивает работу, когда на очередном шаге ни одно изменение не может уменьшить энергию «змеи» (рис. 1).

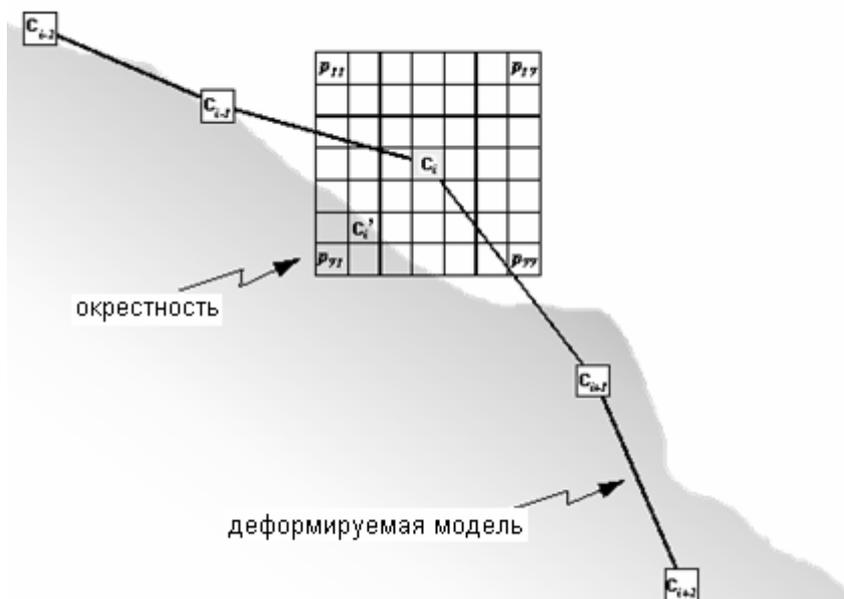


Рис. 1 Работа метода ветвей и границ в деформируемой модели типа «змея»

Если вблизи инициализирующего положения не окажется ярко выраженных деталей, влияние внутренней энергии, определяющей степень гладкости искомого объекта, имеет тенденцию чрезмерно вытягивать модель, вырождая ее в прямую, так как нулевая производная (как первая, так и вторая) прямой минимизирует энергию «змеи». Чтобы избежать этого эффекта, используют специальную разновидность деформируемых моделей, так называемый баллон (balloon) [6]. Внешняя энергия баллона составляется таким образом, что в отсутствие ярко выраженных деталей, к которым модель может быть притянута, размер модели увеличивается (используется метафора надувания воздушного шара).

Еще одна проблема классической «змеи» – подверженность влиянию локальных минимумов. Решить проблему может дуальная, или бутербродная «змея» (dual snake [11], sandwich snake [12]). Дуальная, или бутербродная, «змея» состоит из двух контуров, один из которых инициализируется внутри искомого объекта, и расширяется на каждом шаге деформации, а другой инициализируется вне объекта и при деформации сужается. Контуров взаимодействуют, вытягивая друг друга из локальных минимумов. При достижении результата оба контура совпадают и очерчивают искомый объект.

Другой способ решить проблему локальных минимумов – использовать методы глобальной оптимизации, например динамическое программирование [8]. Недостатком использования методов глобальной оптимизации является их вычислительная сложность.

Неявные деформируемые модели

Описанные выше разновидности деформируемых моделей не могут решить вопрос топологии: если инициализируется модель, представляющая собой замкнутую кривую, то найденный объект будет представлять собой замкнутую форму, что не всегда корректно.

Для решения вопроса топологии может быть применена неявная деформируемая модель (implicit deformable model [13]) или геодезическая активная контурная модель (geodesic active contour model [14]). Алгоритм работы такой деформируемой модели основан на поиске изолиний функций высшего порядка. Изображение представляется проекцией функции высшего порядка (картой высот), значения которой внутри искомого объекта отрицательны, а вне искомого объекта – положительны. Задача формулируется в терминах поиска нулевой изолинии этой функции.

Неявные деформируемые модели относятся к классу моделей свободной формы.

Параметрические деформируемые модели

Второй тип деформируемых моделей, параметрические модели, имеют более жесткие ограничения на форму. Модель инициализируется шаблоном строго определенной формы, и при дальнейших деформациях внутренняя энергия модели контролирует ее соответствие ограничениям по форме [3]. Такие модели получили широкое применение в распознавании лиц [7], жестов и человеческой фигуры на изображениях.

Аналитически заданные параметрические деформируемые модели описываются набором примитивов, некоторым образом связанных между собой [7]. Примитивы и связи между ними участвуют в расчете внутренней энергии, благодаря чему форма деформируемой модели не может существенно отклоняться от инициализирующей формы.

Другой вариант параметрических деформируемых моделей – основанные на прототипе модели (prototype based deformable models [3]). Инициализирующее положение и форма модели, основанной на прототипе, устанавливается методами машинного обучения или высокоуровневой обработкой изображения. Для модели определяется набор возможных деформаций, каждой из которых соответствует распределение вероятности ее возникновения, и это распределение также участвует в вычислении внутренней энергии.

Параметрические деформируемые модели используются в случаях, когда приблизительная форма искомого объекта известна заранее или известны все возможные вариации формы объекта.

Выводы

Деформируемые модели являются гибким инструментом для поиска и локализации объектов на изображениях. Модели свободной формы могут значительно отклоняться от инициализирующего шаблона, что позволяет использовать их для локализации объектов, форма которых априори неизвестна. Параметрические модели наоборот применяются для объектов, форма которых может лишь незначительно отклоняться от шаблонной. Минимизировать энергию деформируемой модели можно любым способом оптимизации,

однако при применении локальной оптимизации модель чувствительна к локальным выбросам энергии (в том числе к шуму).

Список литературы

1. Demetri Terzopoulos, John Platt, Alan Barr, Kurt Fleischer. *Elastically Deformable Models*. Computer Graphics (Proceedings of ACM SIGGRAPH), Vol. 21, No. 4, pp. 205-214, July 1987.
2. Линда Шапиро, Джон Стокман. *Компьютерное зрение*. Москва: Лаборатория Базовых Знаний, 2006.
3. Anil K. Jain, Yu Zhong, Sridan Lakshmanan. *Object Matching Using Deformable Templates*. IEEE Trans. on Pattern Anal. and Machine Intel., Vol. 18, No. 3, pp. 267-278, March 1996.
4. Doug P. Perrin, Christopher E. Smith. *Rethinking Classical Internal Forces for Active Contour Models*. Computer Vision and Pattern Recognition, Vol. 2, pp.615-620, 2001.
5. Michael Kass, Andrew Witkin and Demetri Terzopoulos. *Snakes: Active contour models*. Int. Journal of Computer Vision, Vol. 1, No. 4, pp. 321-331, January 1988.
6. Laurent D. Cohen. *On Active Contour Models and Balloons*. Computer Vision, Graphics and Image Processing: Image Understanding, Vol. 53, No. 2, pp. 211-218, March 1991.
7. Alan L. Yuille, Peter W. Hallinan, David S. Cohen. *Feature extraction from faces using deformable templates*. Int. Journal of Computer Vision, Vol. 8, No. 2, pp. 99-111, August 1992.
8. Amir A. Amini, Terry E. Weymouth, Ramesh C. Jain. *Using Dynamic Programming for Solving Variational Problems in Vision*. IEEE Trans. on Pattern Anal. and Machine Intel., Vol. 12, No. 9, pp. 855 – 867, September 1990.
9. Shu-Fai Wong, Kwan-Yee Kenneth Wong. *Robust Image Segmentation by Texture Sensitive Snake Under Low Contrast Environment*. In Proc. Int. Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics, pp.430-434, August 2004.
10. Tim McInerney, Demetri Terzopoulos. *Deformable Models in Medical Image Analysis: A Survey*. Medical Image Analysis, 1(2): pp. 91-108, 1996.
11. S. R. Gunn and M. S. Nixon. *A Model Based Dual Active Contour*. In Proceedings of Proc. British Machine Vision Conference, pp. 305–314, 1994.
12. Fernando A. Velasco, Jose L. Marroquin. *Robust parametric active contours: the Sandwich Snakes*. Machine Vision and Applications, Vol. 12, No. 5, pp. 238-242, November 2001.
13. R. Malladi, J. A. Sethian, and B. C. Vemuri. *Shape modeling with front propagation: A level set approach*. IEEE Trans. on Pattern Anal. and Machine Intel., Vol. 17, No. 2, pp. 158–175, February 1995.
14. Vicent Caselles, Ron Kimmel, Guillermo Sapiro. *Geodesic Active Contours*. Int. Journal of Computer Vision, Vol. 22, No. 1, pp. 61–79, February 1997.