

基于 B 样条的主动轮廓模型

粟 雁 陈会勇

(上海技术物理研究所, 上海 200083)

摘 要 利用参数化 B 样条来描述轮廓线, 得到 B-Snake 主动轮廓模型; 该模型与传统模型相比, 计算复杂度低、收敛速度快、具有较高的数值稳定性, 并且, 能处理一阶导和二阶导数等非连续情况。用具体的实例验证了 B-Snake 模型的上述优点。

关键词 主动轮廓 B 样条 B-Snake 边缘检测 B-Spline

中图分类号 029; **文献标识码** A

一般认为主动轮廓模型起源于主观轮廓^[1]和弹性匹配^[2]这两方面的工作, 并于 1987 年由 Kass^[3]等人正式提出来。该模型体现了这样一种想法: 图像空间中一点是否在期望边缘上, 不仅取决于该点及其邻域的性质(局部信息), 还与其他边缘点的空间分布(全局信息)有关。在主动轮廓模型中, 利用轮廓线的光滑连续性要求(内部力)对空间分布进行约束; 利用像素点的邻域信息(外部力)引导轮廓的运动, 将轮廓推向期望的位置。在该模型的求解过程中, 能够有效的利用高层信息, 从而产生更有目的性, 更可靠的结果。

传统模型的实现具有数值稳定性较差、计算复杂度、收敛速度慢以及难以处理一阶导、二阶导非连续性的情况。为在这些方面有所改善, 1990 年 Menet 等使用参数化 B 样条来描述轮廓线, 得到 B-Snake 模型。

1 基于 B-Spline 的主动轮廓模型

1.1 主动轮廓模型

使用参数曲线 $v(s) = (x(s), y(s))$ 表征在直角坐标系平面内任意一条轮廓线, 其中参数 s 为约束在 $[0, 1]$ 之间的弧长。则传统参数化主动轮廓模型定义轮廓线的能量如下:

$$E_{snake} = \int_0^1 [E_{internal}(v(s)) + E_{image}(v(s)) + E_{con}(v(s))] ds \quad (1)$$

(1) 式中, $E_{internal}$ 代表了高层对参数化曲线本身属性的要求, 称之为内部能量。我们把基于图像数据和轮廓线位置产生的并将轮廓引向显著图像特征的力都称之为图像力, E_{image} 表示图像作用力产生的能量, 称之为图像势能。 E_{con} 表示非图像数据相关的约束力(如范围约束、人为引导力等等)产生的能量, 称之为约束能量。

1.2 B 样条函数

B 样条是一种广为使用的样条曲线, 其突出优点是对局部的修改不会引起样条形状变化的远距离传播, 也就是说修改样条的某些部分时, 不会过多地影响曲线的其它部分。所以 B 样条被广泛的应用于曲线拟和。

B 样条函数的形式如下:

$$\Omega_3(x) = \begin{cases} 0, & \text{当 } |x| \geq 2 \\ \frac{1}{2}|x|^3 - x^2 + \frac{2}{3}, & \text{当 } |x| \leq 1 \\ -\frac{1}{6}|x|^3 + x^2 - 2|x| + \frac{4}{3}, & \text{当 } 1 < |x| < 2 \end{cases} \quad (3)$$

如图 1 所示, 通过一定的映射法则, 可以由一系列控制点得到空间上的一整条曲线。这样就为我们可以用更少的点来描述一条空间曲线奠定了理论基础。

由于在 B 样条函数形式中已经包括对曲线的平滑性及可导性要求, 并且可以用相当少的点去构

2006 年 12 月 30 日收到

第一作者简介: 粟 雁 (1983—), 男, 硕士, E-mail: suyuan_ustc@yahoo.com.cn.

建原始轮廓线。当然,取点的多少是会影响构建原始轮廓线的精度。

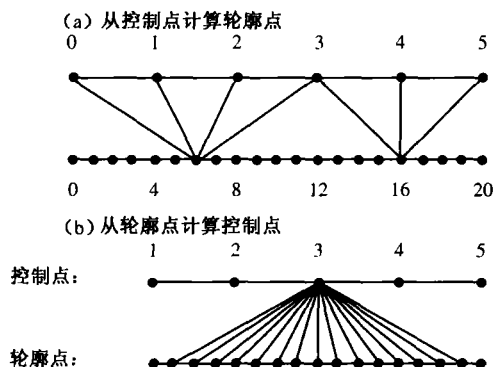


图1 控制点与轮廓线关系图

1.3 B 样条主动轮廓模型

取 s 为在 $0 \sim N-1$ 范围内连续的参数,我们可以用参数化曲线 $q(s)$ 来表征图像平面的一条轮廓线。

$$q(s) = \sum_{i=0}^{M-1} B_i(v_s) c_i, v_s = s \frac{M-1}{N-1},$$

取一系列有序控制点

$$c_i = (x_i, y_i), i = 0, 1, \dots, M-1.$$

一般实际进行计算时,通常用一系列的离散轮廓点来代表这整条曲线,此时 $s = 0, 1, 2, \dots, N-1$, 即得到轮廓点和控制点之间的矩阵方程:

$$\begin{bmatrix} q_0 \\ q_1 \\ \vdots \\ q_{N-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{0,0} & b_{0,1} & \cdots & \cdots \\ b_{1,0} & b_{1,1} & \cdots & b_{1,M-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{n-1,0} & b_{n-1,1} & \cdots & b_{n-1,M-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_0 \\ c_1 \\ \vdots \\ c_{M-1} \end{bmatrix} \quad (4)$$

将 B-snakes 模型的能量方程

$$E_{\text{snake}}(v(s)) = \int_0^1 p(v(s)) ds + \frac{\alpha}{2} \int_0^1 \left| \frac{\partial v(s)}{\partial s} \right|^2 ds + \frac{\beta}{2} \int_0^1 \left| \frac{\partial^2 v(s)}{\partial s^2} \right|^2 ds \quad (5)$$

中所有的 $v(s)$ 替换成 $\sum_{i=0}^{M-1} B_i(v_s) c_i$, 得到

$$E_{\text{snake}} \left(\sum_{i=0}^{M-1} B_i(v_s) c_i \right) =$$

$$\int_0^1 p \left(\sum_{i=0}^{M-1} B_i(v_s) c_i \right) ds + \frac{\alpha}{2} \int_0^1 \left| \frac{\partial \left(\sum_{i=0}^{M-1} B_i(v_s) c_i \right)}{\partial s} \right|^2 ds + \frac{\beta}{2} \int_0^1 \left| \frac{\partial^2 \left(\sum_{i=0}^{M-1} B_i(v_s) c_i \right)}{\partial s^2} \right|^2 ds \quad (6)$$

对它离散化,得到新的以 c_i 为自变量的能量方程:

$$E = \sum_{s=0}^{N-1} P \left(\sum_{i=0}^{M-1} c_i B_i(v_s) \right) + \sum_{s=0}^{N-1} \left(\frac{\alpha}{2} \left| \sum_{i=0}^{M-1} c_i B'_i(v_s) \right|^2 + \frac{\beta}{2} \left| \sum_{i=0}^{M-1} c_i B''_i(v_s) \right|^2 \right) \quad (7)$$

(7)式中右边第一项为图像能量,第二项为内部能量的一阶能量项,第三项是内部能量的二阶能量项。我们认为,如果图像能量达到最低,这时候图像的边缘就被检测出来。

2 实验结果

如图2所示,对一个二值化椭圆图像进行边缘检测,(a)为其初始轮廓,(b)为检测后得到的边界。

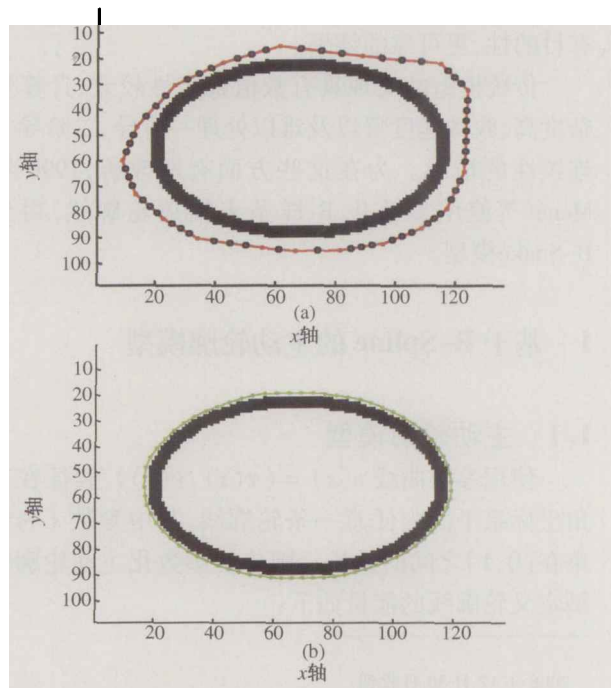


图2 二值化椭圆图像的边缘检测

如图 2 所示,该算法能正确检测到椭圆边缘。

如图 3 所示,对一个残缺椭圆进行边缘检测,(a)为初轮廓线,(b)为边缘检测后:

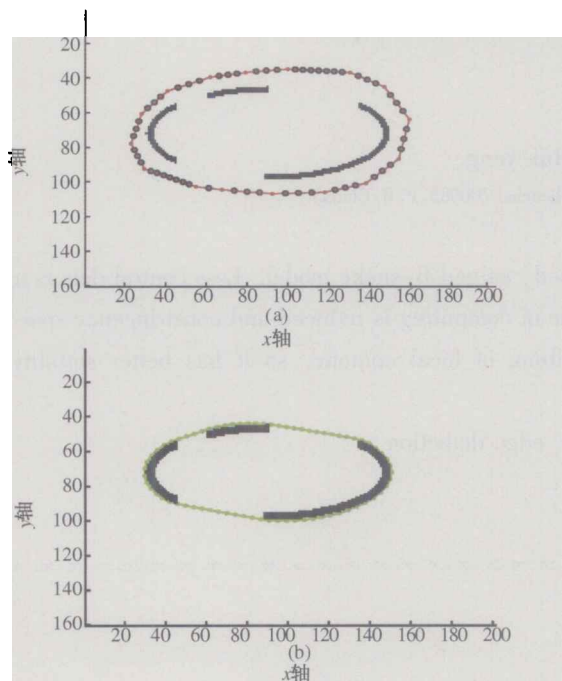


图 3 残缺椭圆边缘检测

由于 B 样条内含平滑性与连续性要求,故在不连续处,自动连成一条平滑的曲线。

如图 4 所示,对一副手机灰度图像进行处理。

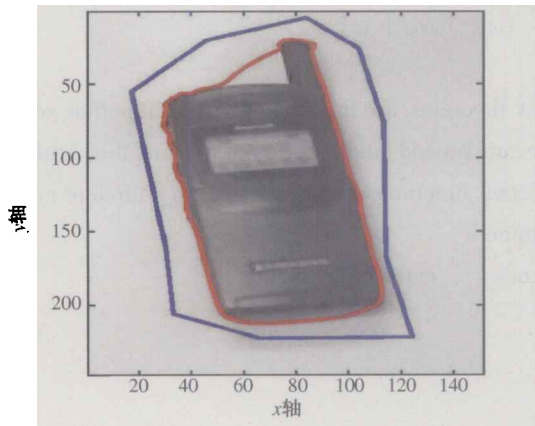


图 4 手机灰度图边缘检测

边缘检测得到较理想的效果。由于内部力的形式问题,手机天线左端的图象力不能把轮廓线拉下,这也是以后工作需要改进的地方。

3 总结

本文利用参数化 B 样条来描述轮廓线,得到 B-snake 主动轮廓模型。与传统模型相比,B 样条的最大优点在于它可以用较少的控制点来描述整个轮廓线,从而大大降低方程的维数,提高图像处理的速度。另外,B 样条由于其内在的形式,有优异的一阶二阶导形式,也提高了图像处理的速度。所以,基于 B 样条的主动轮廓模型被广泛应用于实时图形处理。

参 考 文 献

- 1 Fischler M, Elschlager R, The representation and matching of pictorial structures, IEEE Trans Comput, 1973;22(1): 67—92
- 2 Jain A K, Zhong Yu, Dubuisson - J, ef al. Deformable template models;a review. 1998; 71(2): 109—129
- 3 Kass M, Witkin A, Snakes. TD, Active contour models. International Journal of Computer Vision, 1988;1: 321—331
- 4 Chin R T, Dyer C R, Model-based recognition in robot vision. ACM Comput Surveys,1986;(18):67—108
- 5 Grimson W E L, Object recognition by computer; The role of geometric constraints. Cambridge, MA; MIT Press,1990
- 6 Ballard. D, H. Generalizing the hough transform to detect arbitrary shapes. Pattern Recognition, 1981; 12(2): 111—122
- 7 Duncan J S, Ayache N, Medical image analysis: progress over two decades and the challenges ahead. IEEE Trans on PAMI, 2000; 22 (1): 85—106
- 8 Terzopoulos D, Waters K. Analysis of facial images using physical and anatomical models. In:Proceedings of Third International Conference on Computer Vision, 1990; 727—732
- 9 Curwen R M, Blake A, Cipolla R. Parallel implementation of lagrangian dynamics for real-time snakes. Second BMVC,1991;pp: 29—35
- 10 Menet S, Saint-Marc P, Medioni G. Active contour models: overview, implementation and applications systems. In:Proceedings of IEEE International Conference on Man and Cybernetics, 1990; 194—199

Active Contour Model Based on B-spline

SU Yan, CHEN Hui-yong

(Shanghai Institute of Technical Physics, Shanghai 200083, P. R. China)

[**Abstract**] Parameterized B-spline to describe contour is used, gained B-snake model. Less control dots is used to get a good describing of local contour. Correspondingly, time of computing is reduced and constringency speed is improved. Minimizing process is based on continuous describing of local contour, so it has better stability of numerical value. These advantages are validated.

[**Key words**] active contour B-spline B-snake edge detection

(上接第 2010 页)

Some Convergence Conditions of Expectant Functional Sequence

YAO You-lin

(Department of Mathematics, Yulin College, Yulin 719000, P. R. China)

[**Abstract**] A concept of the weak tight is presented. Limit theorems for the integration of function sequence with respect to weak convergence probability measure sequence are proved under the condition of the weak tight, which have been used to research the some convergence of expectant functional sequence, and a sufficient condition for the epi-convergence of expectant functional sequence is obtained.

[**Key words**] weak tight limit theorem epi-convergence expectant functional