

文章编号: 1002-0411 (2008) 01-0099-04

# 一种基于主动轮廓模型的运动目标跟踪方法

方 挺, 杨 忠, 沈春林

(南京航空航天大学自动化学院, 江苏 南京 210016)

**摘 要:** 分析了几种经典主动轮廓模型 (即 Snake) 的优缺点. 针对传统 Snake 在应用于目标跟踪时的一些缺陷, 设计了自动初始化轮廓的算法. 采用四邻域交替搜索法取代八邻域搜索方法以减少计算开销, 并给出了一种较为实用的基于 Snake 的运动目标跟踪方法. 通过实验证明了本方法的可行性. \*

**关键词:** Snake; 主动轮廓; 图像分割; 运动目标跟踪

**中图分类号:** TP391.41

**文献标识码:** A

## A Moving Object Tracking Method Based on Active Contour Models

FANG Ting, YANG Zhong, SHEN Chun-lin

(College of Automation Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** This paper discusses the advantages and disadvantages of several representative active contour models (i.e., Snakes). When traditional Snakes are used in moving object tracking applications, they often encounter some defects, and an automatic initialization algorithm is designed to overcome these problems. The eight-neighbor searching algorithm is replaced by the four-neighbor-alternating searching method to reduce the computing cost, and a practical moving object tracking method based on Snake is proposed. Experiments are made to demonstrate the feasibility of the presented method.

**Keywords:** Snake; active contour; image segmentation; moving object tracking

## 1 引言 (Introduction)

1987 年, Kass 等人提出了主动轮廓模型 (Snake)<sup>[1]</sup>. 此后, Snake 便一直是图像分割领域的一大研究热点, 但轮廓的初始化、运算速度等原因一直是困扰 Snake 技术应用于目标跟踪<sup>[2,3]</sup>的难点问题. 本文通过对几种 Snake 算法的研究分析, 设计了自动初始轮廓的算法, 提出了一种基于 Snake 模型的运动目标跟踪算法, 并以实验进行了验证.

## 2 传统 Snake 模型 (Traditional Snake models)

在 Snake 模型中, 按照主动轮廓线的不同, Snake 被分为参数型 Snake (parametric Snake) 和几何型 Snake (geometrical Snake). 参数型 Snake 直接以曲线的参数化形式表达轮廓线的变化, 其表达方式较为紧凑. 而几何型 Snake 则将平面上的曲线表示成一个二元函数  $z = f(x, y)$  的零点集合 (Zero

Level Set), 即二元函数  $z = f(x, y)$  所表示的三维曲面与  $xy$  平面的交线. 这样的表达方式在拓扑结构上有明显的优点, 然而却增大了计算复杂度. 本文考虑到模型的快速实现, 使用参数化的 Snake 模型.

传统参数主动轮廓模型最初由 Kass 等人提出, 基本的 Snake 模型是在内力、图像力和外部约束力共同作用下移动的变形轮廓线:

$$c(s) = (x(s), y(s))$$

其中  $s \in [0, 1]$  为曲线参数, 它通过最小化式 (1) 的能量函数来达到锁定图像特征的目的.

$$E(C(s)) = \int_0^1 [E_{\text{int}}(C(s)) + E_{\text{img}}(C(s))] ds \quad (1)$$

这里的  $E_{\text{int}}$  为内部能量项, 用于控制曲线的弹性和刚度, 由式 (2) 定义:

$$E_{\text{int}}(C(s)) = \left| \frac{\partial c}{\partial s} \right|^2 + \left| \frac{\partial^2 c}{\partial s^2} \right|^2 \quad (2)$$

和 分别为控制曲线弹性和刚度的参数.  $E_{\text{img}}$  为与

\* 收稿日期: 2006-12-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (60674100)

图像有关的外部能量项,将 Snake吸引到图像特征附近,定位于目标边缘附近.外部特征边缘的典型外部能量项一般定义为:

$$E_{\text{img}}(C(s)) = -|\nabla I(C(s))|^2 \quad (3)$$

传统的 Snake模型对初始轮廓非常敏感,并且对于深度凹陷的目标轮廓得不到理想的收敛结果.

Kass的方法提出后,Williams和 Shah等人于1992年提出了 Snake的快速算法,也即著名的“贪婪算法”<sup>[4]</sup> (greed algorithm),同时给出了 Pseudo\_C代码,把计算复杂度从  $O(m^3)$  降到了  $O(m)$ . 这里的  $n$  指轮廓的大小,而  $m$  则是指邻域的大小.考虑到目标跟踪对实时性的要求较高,因此在本文所设计的跟踪算法中将以此算法所使用的简化能量函数公式为基本框架,在本文的后面还将对此算法做进一步的讨论.

### 3 GVF模型 (GVF models)

针对传统 Snake的问题,1998年 Xu等人提出了 GVF Snake模型<sup>[5]</sup>,与以前大多数 Snake模型的形成机制不同,其外力并没有采用能量函数梯度的形式,而是直接从力平衡方程中得来.

在 GVF中,图像外力被定义为一种称为梯度向量流 (gradient vector flow) 的力,它由二维向量场  $v(x, y) = [u(x, y), v(x, y)]$  组成,通过最小化如下能量函数得到:

$$E = \mu (u_x^2 + u_y^2 + v_x^2 + v_y^2) + |\nabla f|^2 |v - \nabla f|^2 dx dy \quad (4)$$

式中,  $\mu$  为控制参数,  $u_x$ 、 $u_y$ 、 $v_x$ 、 $v_y$  分别为  $u$  和  $v$  的一阶偏导,  $f(x, y)$  为图像函数  $I(x, y)$  的边缘映射图.

当  $\nabla f$  较小时,能量函数主要由 GVF的二阶偏导平方项决定,因此可产生一个缓变的场.当  $f$  较大时,能量函数主要由经典外力  $\nabla f$  控制,且当  $\nabla f = v$  时取得最小.这正是 GVF的优势所在,通过向量扩散方程扩散了边缘梯度的映射范围;由于  $v(x, y)$  同时包含了无旋和无散成分,改变了经典 Snake模型在凹形边缘内部水平方向作用力方向相反互相抵消,从而不收敛于凹形边缘的状况.同时,模型中参数  $\mu$  的选择也改善了传统 Snake模型对噪声的敏感性,  $\mu$  的取值取决于图像中的噪声,噪声越大,  $\mu$  的取值越小.

GVF较好地解决了传统 Snake对初始化要求较为严格及不能收敛到凹陷区域的问题,而且 Xu的

实验显示 GVF能很好地弥补图像中目标轮廓的小边缘间隙,因此可以说 GVF是对传统 Snake模型的一次突破性的改进.近年来也有人在 GVF的基础上提出方向 GVF(directional GVF)<sup>[6,7]</sup> 等等诸多概念,然而就目前的计算速度来看,其中的向量场的计算都相当复杂,在 Xu的论文中,一幅  $256 \times 256$  的图像的 GVF计算时间一般都在几十秒以上,因此目前要在目标跟踪等实时性要求较高的场合中应用 GVF等算法还有较大困难.

## 4 算法设计 (Algorithm design)

### 4.1 轮廓自动初始化设计

要实现视频目标实时跟踪,必须实现轮廓的自动初始化.通过实验发现,在 Snake的应用中,图像的噪声对最终结果的影响很大,因此,在程序将图像读入后,首先使用模板法对图像进行去噪处理,这里

采用  $3 \times 3$  高斯模板  $\frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$ . 接下来使用

Roberts梯度算子计算图像的梯度.值得一提的是,这里所计算得到的梯度值都将被程序保存下来,因为在后面的像素能量的计算中也将计算图像的梯度值.对处理后的梯度图像采用阈值进行分割,对分割后得到的图像目标再进行  $x$ 、 $y$  轴上的投影,得到关于目标的矩形,此矩形将作为 Snake的初始轮廓.

在实验中我们亦发现,初始轮廓的点数对最后 Snake的效果有很大影响.控制点数选取过多会导致运算复杂化,而选取过少则 Snake无法准确捕获物体的轮廓.本文设计了一种简单而有效的确定控制点的算法. (1) 增加顶点的算法,当两个相邻顶点之间的距离超过设定门限时在两个顶点中间增加一个顶点. (2) 减少顶点的算法,当两个相邻顶点之间的距离小于设定门限时将这两个顶点用这两个顶点的中间点代替.期间默认的控制点数目取为 10.

### 4.2 改进的贪婪算法

在 Williams和 Shah的算法中,其求取最小能量的函数公式如下:

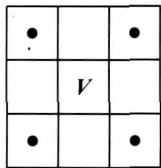
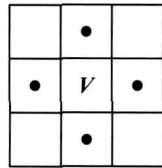
$$E = \int (s) E_{\text{con}} + (s) E_{\text{cur}} + (s) E_{\text{img}} ds \quad (5)$$

其中的第一项  $E_{\text{con}}$  采用与平均距离  $\bar{d}$  的偏差  $|v_i - v_{i-1}|$  取代了 Kass提出的  $|v_i - v_{i-1}|$ ,这将在很大程度上克服多数点聚集在轮廓边缘效果较强部分的弊病.第二项采用  $|v_{i-1} - 2v_i + v_{i+1}|^2$  作为对  $\left| \frac{d^2 v_i}{ds^2} \right|^2$  的

近似估计,同时对所获得的数据进行了标准化处理,即用所得到的能量值除以周边邻域像素能量的最大值.在第三项中, $E_{img}$ 被设定为 $|\nabla I(x, y)|$ ,同时采用公式 $\min - \max / \max - \min$ 进行了标准化处理,其中 $\max$ 即指 gradient magnitude 考虑到在本文 Snake 初始化阶段使用过高斯模板进行去噪预处理,所以本文算法中实际上执行的是

$$E_{img} = |\nabla (G(x, y) * I(x, y))| \quad (6)$$

Williams 的算法采用的是八邻域搜索法,即分别计算控制点周围的 8 个像素的能量值,然后用能量最小的像素点替换当前点.本文出于减少时间开销的考虑,采用了一种四邻域交替搜索法,具体思路如下:根据以上图像内、外力的定义以及实验中所获得的数据,能量值最小的“新位置”点周围的像素的能量值也较小,如果在每次搜索过程中均计算周围 8 点像素能量值的话,实际将会产生大量的重复计算,据此我们定义了全局变量  $style$ ,在  $style = 1$  时,搜索如图 1 所示的四邻域,当取  $style = -1$  时,则搜索如图 2 所示的四邻域,因而每次搜索计算的工作量即减半.图中  $v$  即指控制点.

图 1  $style = 1$ Fig 1  $style = 1$ 图 2  $style = -1$ Fig 2  $style = -1$ 

在每次迭代开始的时候,令  $style = -style$ ,这样通过轮流使用两种搜索方式,即可达到搜索整个空间的效果.我们通过对相同的图片进行测试,采用四邻域交替搜索方法达到与八邻域同样的跟踪效果,在迭代次数上可能略有增加,但时间开销一般减少 30% 以上.



### 4.3 程序流程

本算法的程序流程设计如下:

- 1) 读入图像;
- 2) 图像去噪,计算图像梯度;
- 3) 设定阈值,进行图像分割从而确定初始轮廓;
- 4) 确定控制点数目(默认取 10),按照 4.1 节所述的自适应控制点算法计算;
- 5)  $style = -style$  (初始令  $style = 1$ ),按照 (5) 式计算控制点邻域像素的能量值;
- 6) 以能量最小点取代当前控制点;
- 7) 是否满足迭代终止条件,是则结束返回,否则跳转步骤 4)。

### 5 实验结果 (Experiment results)

本文采用标准视频序列 tennis (352 × 240, 150 帧, 30fps) 对跟踪算法进行了测试,程序编制成 m 文件.测试时程序在 Matlab 7.0 平台下运行,同时一些地方使用了 Matlab 自带的图像工具箱,因而图像处理的速度受到了限制,在迭代次数为 40 次时每帧画面的处理时间均小于 1s,我们也采用了 Xu 的标准 GVF 方法 (Matlab 版) 进行了对比测试,同样的迭代次数下每幅图像的处理时间均在 10s 以上.通过实验可以看出,目标跟踪的效果还是令人满意的,与大多数运动目标追踪方法,如光流法、帧差法等相比,图像中目标的轮廓被较为清晰地勾勒出来,这也很好地体现了 Snake 方法对目标边缘的追踪效果.同时,清晰的运动目标轮廓也为下一步的图像匹配与理解任务提供了良好的分析基础.实验结果中第一幅是自动初始化的轮廓图像,取自视频序列的第 105 帧,后面的 7 帧为了更清楚地说明运动员的运动过程,每帧之间分别间隔 3 帧.从跟踪的结果中也发现,运动员的影子部分对跟踪的结果干扰比较大,我们注意到运动员的腿部阴影在跟踪中始终被 Snake 认为是运动物体的一部分.



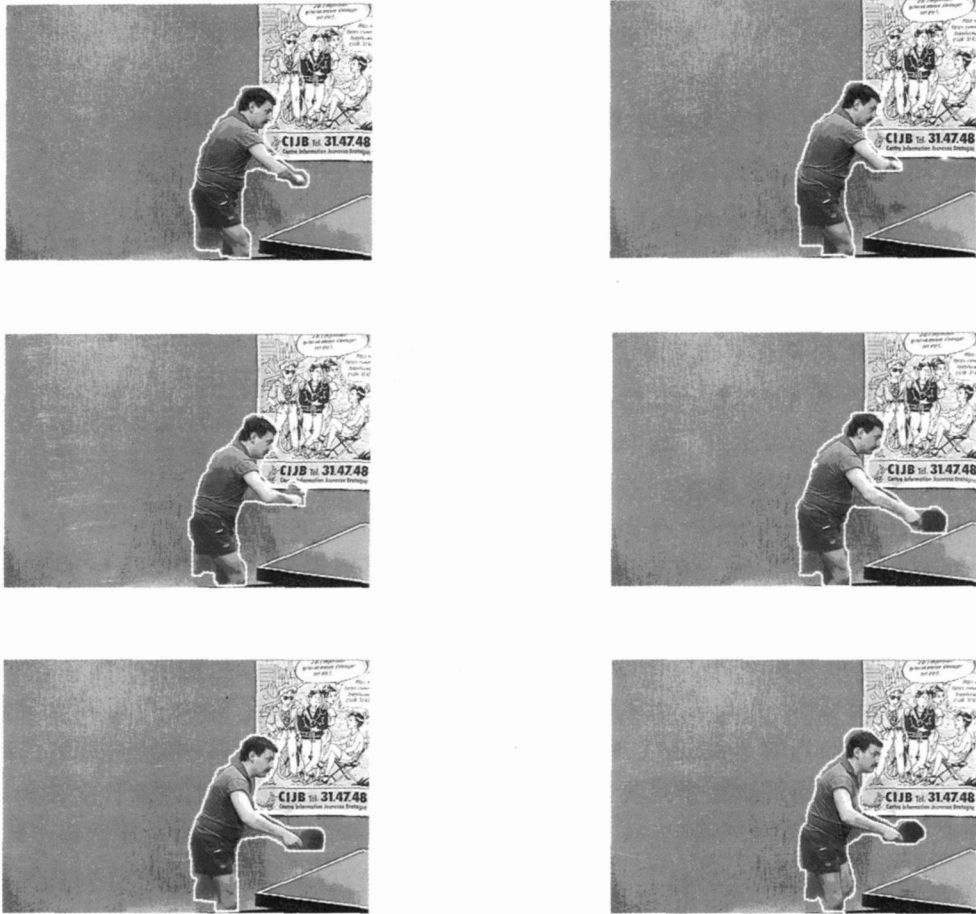


图 3 运动目标跟踪结果

Fig 3 The result of moving object tracking

## 6 结论与展望 (Conclusions and expectation)

本文对基于 Snake 的轮廓勾勒方法进行了分析对比,在设计了自动初始化目标轮廓的算法之后,提出了一种以 Snake 模型为基础的运动目标自动跟踪方法,并通过实验验证了本文算法的有效性。

Snake 方法有着很好的追逐目标边缘的性能,目前通用 PC 上的图像处理速度尚难以满足将 Snake 应用于实时视频处理的需要。我们下一步的研究打算搭建以 DSP642 为核心的硬件图像处理平台,同时将对本文算法进行进一步的优化,这将使得 Snake 能够应用于真正的实时图像处理系统。同时,我们注意到由于主动轮廓模型自身的缺陷,目标的影子始终被认为是目标的一部分,阴影问题也是困扰目标跟踪的一个常见问题,Snake 本身尚难以对此做出识别,如何利用阴影部分的纹理特征来区分目标的本身及阴影也是一个很值得研究的方向。

## 参 考 文 献 (References)

- [1] Kass M, Witkin A, Terzopoulos D. Snakes: Active contour models [J]. International Journal of Computer Vision, 1988, 1 (4): 321 ~ 331.
- [2] Kim W, Lee C Y, Lee J J. Tracking moving object using Snake's jump based on image flow [J]. Mechatronics, 2001, 11 (2): 199 ~ 226.
- [3] Seo K H, Lee J J. Real-time object tracking and segmentation using adaptive color Snake model [A]. Proceedings of the 31st Annual Conference of IEEE Industrial Electronics Society [C]. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2005. 1902 ~ 1906.
- [4] Williams D J, Shah M. A fast algorithm for active contours and curvature estimation [J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing: Image Understanding, 1992, 55 (1): 14 ~ 26.
- [5] Xu C Y, Prince J L. Snakes, shapes, and gradient vector flow [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1998, 7 (3): 359 ~ 369.
- [6] Park H, Schoepflin T, Kim Y. Active contour model with gradient directional information: Directional Snake [J]. IEEE Transactions on Circuits Systems for Video Technology, 2001, 11 (2): 252 ~ 256.

(下转第 112 页)

(3) 生成油彩时使用  $\nu$  支持向量机做曲面回归,精度能得到保证.

但我们在实验中也发现,本方法使用拟合小曲面作为油彩,需要较大的存储空间.此外,贪婪法的解不是全局最优解,虽然能满足工程应用的需要,但能否寻找一种更优的算法,使之既能保证较高的处理速度,又能得到更优的解,这些问题尚需进一步深入探讨.

### 参 考 文 献 (References)

- [1] Zwicker M, Pfister H, Van Baar J, *et al*. Surface splatting [A]. Proceedings of the ACM SIGGRAPH Conference on Computer Graphics [C]. New York, USA: ACM, 2001. 371 ~ 378.
- [2] Alexa M, Behr J, Cohen-Or D, *et al*. Computing and rendering point set surfaces [J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2003, 9(1): 3 ~ 15.
- [3] Moenning C, Dodgson N A. A new point cloud simplification algorithm [A]. Proceedings of the 3rd IASTED Conference on Visualization, Imaging and Image Processing [C]. Calgary, AB,

Canada: ACTA Press, 2003. 1027 ~ 1033.

- [4] Pauly M, Gross M, Kobbelt L P. Efficient simplification of point-sampled surfaces [A]. Proceedings of the IEEE Visualization Conference [C]. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2002. 163 ~ 170.
- [5] 陈厚. 较佳路径 [J]. 计算机应用与软件, 1996, 13(4): 60 ~ 64, F003.
- [6] 严蔚敏, 吴伟民. 数据结构 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1987.
- [7] Vapnik V N. Statistical Learning Theory [M]. USA: Wiley InterScience, 1998.
- [8] 邓乃扬, 田英杰. 数据挖掘中的新方法 [M]. 北京: 科学出版社, 2004.

### 作者简介

蔡 勇 (1962 - ), 男, 博士, 教授. 研究领域为图像处理, 智能控制, 计算机控制等.

肖 建 (1950 - ), 男, 博士, 教授, 博士生导师. 研究领域为计算机控制, 图像处理, 信号处理, 统计学习理论等.

蒋 刚 (1978 - ), 男, 博士. 研究领域为图像处理, 统计学习理论等.

(上接第 102 页)

- [7] Cheng J R, Foo S W. Dynamic directional gradient vector flow for Snakes [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(6): 1563 ~ 1571.

### 作者简介

方 挺 (1975 - ), 男, 博士生. 研究领域为飞行控制, 精

确制导, 图像处理等.

杨 忠 (1969 - ), 男, 博士后, 副教授, 硕士生导师. 研究领域为飞行控制, 系统仿真与建模等.

沈春林 (1935 - ), 男, 教授, 博士生导师. 研究领域为导航, 精确制导与控制, 无人机等.

(上接第 107 页)

### 作者简介

朱光宇 (1970 - ), 男, 博士, 高级工程师. 研究领域为计

算机辅助工艺设计, 智能制造.