

一种低形状失真度的 VSnares 算法

黎 松,平西建

(信息工程大学 信号分析工程系,河南 郑州 450002)

(magnificent_ls@163.com)

摘 要:提出了一种低形状失真度的 VSnares 算法。定义了两项新的能量表达式,其中一项使得轮廓控制点的分布更均匀,另一项增强了对候选轮廓曲率的约束,使其不仅仅保持与当前轮廓的形状相似,而且轮廓曲线更加平滑,从而降低了最终收敛轮廓的形状失真度。同时对轮廓松弛过程进行了简化,降低了算法复杂度。

关键词:VSnares;轮廓松弛;形状失真度

中图分类号:TP391.41 **文献标识码:**A

A low shape distortion algorithm for VSnares

LI Song, PING Xi-jian

(Department of Information Science, University of Information Engineering, Zhengzhou Henan 450002, China)

Abstract: A low shape distortion algorithm for VSnares was presented. Two new energy expressions were defined, one of them spaced the points more evenly on the contour, the other expression strengthened the curvature constraint of the candidate contour, which not only kept its shape similar to the current contour, but also made contour more smooth, thus reduced the shape distortion of contour. In addition, the contour-relaxation process was simplified to reduce the complexity of computation.

Key words: VSnares; contour-relaxation; shape distortion

0 引言

自文献[1]提出 Snake 以来,它就一直在图像处理中被广泛的研究和应用。Snake 可以用于图像分割和理解,也可以用于视频序列或 3D 图像数据的分析。它是一条置于图像中的弹性曲线,通过最小化其能量函数,曲线从其初始化位置收敛到图像的某些特征(比如说物体的边缘)。传统的 Snake 模型面临的一个问题是如何避免被图像的伪局部特征所吸引,人们设计了很多方法来解决这个问题,然而这些方法都不能保证 Snake 的最终解具有全局最优性。

文献[2]提出了一种与传统 Snake 截然相反的模式——VSnares。VSnares 算法并不直接定义单一轮廓的能量,而是定义了反映连续两条轮廓之间差异的差分能量。它使用多分辨率小波分解来产生边缘势场。类似于文献[3]提出的动态规划方法,其最小化能量过程使用 Viterbi 算法经过松弛得到全局最优的轮廓。这种方法能得到比传统方法更好的收敛结果,然而,该算法的复杂度偏高,且其对各项能量的定义值得商榷。

1 VSnares 轮廓能量

传统的 Snake 的数学定义如下:

$$\Omega = [0, 1] \rightarrow R^2$$

$$s \alpha v(s) = (x(s), y(s))$$

其轮廓能量是外部能量与内部能量的加权和。内部能量由曲线的弹性与刚性而产生,外部能量则来源于图像特征,诸如边缘和角点等。另外还可以给 Snake 加上强制力使它象气球一样膨胀^[4],如下:

$$E_{snake} = \alpha \cdot E_{elasticity} + \beta \cdot E_{stiffness} + \gamma \cdot E_{image} + \rho \cdot E_{pressure} \quad (1)$$

通常该轮廓能量使用能量函数的积分来定义,而与之不同的是,VSnares 算法定义了一种差分能量,以之来反映候选轮廓与当前轮廓之间的能量差异。

假定 $(x_i^0, y_i^0) (i = 1, \dots, N)$ 为当前轮廓上的控制点, $(x_i^1, y_i^1) (i = 1, \dots, N)$ 为候选轮廓上的控制点(如图 1),则两条轮廓之间的能量差异 ΔE 定义为:

$$\Delta E = \sum_{i=1}^N \delta E_i \quad (2)$$

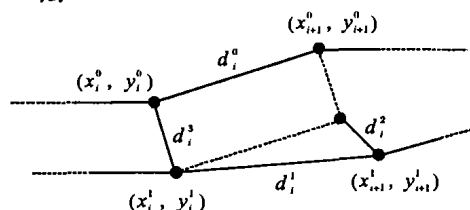


图 1 当前轮廓与候选轮廓上的控制点

其中 δE_i 为两条轮廓第 i 段分割的能量差异,定义为:

$$\delta E_i = f_i^0 \cdot \frac{|d_i^1 - d_i^0|}{d_i^0} + f_i^0 \cdot \frac{d_i^2}{d_i^0} + f_i^0 \cdot \frac{d_i^3}{d_i^0} + (f_i^0 - f_i^1) \quad (3)$$

且有:

$$f_i^0 = \int_{(x_i^0, y_i^0)}^{(x_{i+1}^0, y_{i+1}^0)} E_{edge} \cdot ds$$

$$f_i^1 = \int_{(x_i^1, y_i^1)}^{(x_{i+1}^1, y_{i+1}^1)} E_{edge} \cdot ds$$

$$d_i^0 = |(x_i^0, y_i^0) - (x_{i+1}^0, y_{i+1}^0)|$$

$$d_i^1 = |(x_i^1, y_i^1) - (x_{i+1}^1, y_{i+1}^1)|$$

$$d_i^2 = |[(x_i^1, y_i^1) - (x_{i+1}^1, y_{i+1}^1)] - [(x_i^0, y_i^0) - (x_{i+1}^0, y_{i+1}^0)]|$$

$$d_i^3 = |(x_i^1, y_i^1) - (x_i^0, y_i^0)|$$

f_i^0 和 f_i^1 分别表示当前轮廓和候选轮廓第 i 段的边缘能量 (由多分辨率小波分解所得), d_i^0 与 d_i^1 分别为当前轮廓与候选轮廓第 i 段的长度, d_i^2 表示两条轮廓第 i 段向量之差的模, d_i^3 则为当前轮廓控制点 i 与候选轮廓控制点 i 之间的距离。

观察 (3) 式中的第一项, 其对轮廓的作用对应于传统 Snake 模型中的“弹性”项 $E_{elasticity}$, 不同之处在于传统 Snake 模型中该项趋向于使轮廓收缩, 而此处定义的该项则趋向于使候选轮廓的长度与初始轮廓保持一致; 第二项与 d_i^2 相关, 其意义在于赋予轮廓以“刚性”, 使候选轮廓与当前轮廓的形状保持相似; 第三项与 d_i^3 相关, 作用类似于传统 Snake 模型中的强制力, 只是此处它使得候选轮廓与当前轮廓保持相近。最后一项为 f_i^0 与 f_i^1 之差, 它代表图像中的力, 使轮廓被图像的某些特征 (此处为物体边缘) 所吸引。通过 (3) 式所给出的新的活动轮廓模型能量的定义, 在所有候选轮廓中寻找具有最小能量差异的那条轮廓即可得到一次迭代过程中的最优轮廓。

传统活动轮廓模型的轮廓能量为分别代表“弹性”、“刚性”等各项能量的加权和。如何寻找与确定 (1) 式中合适的权重参数 α, β 和 γ , 使轮廓收敛到最好的结果是传统 Snake 模型中需要重点考虑的问题。而与之相比, VSnares 中定义的轮廓能量表达式其优点在于不需要为各项能量加上权重参数就可以得到好的收敛结果, 由此避免了以往权重参数难以确定的问题。

2 两项能量定义的改善

深入考虑上述 VSnares 算法中的轮廓能量的定义, 其中 $|d_i^1 - d_i^0|$ 会使候选轮廓的第 i 段分割长度趋向于与当前轮廓的第 i 段分割一致, 如果在迭代过程中当前轮廓控制点 i 由于受噪声或其他因素的影响而偏离目标轮廓较远, 则相应的第 i 段分割与目标轮廓的偏差也就越大, 显然此时若再保持候选轮廓的长度在该段与当前轮廓一致是不能纠正这种偏差的。因此, 在此提出使用 $|d_i^1 - \bar{d}|$ 来代替该项, 其中 \bar{d} 为当前轮廓各控制点之间的平均距离。这样经过一次迭代后得到的最优轮廓各控制点之间的距离均会与 \bar{d} 接近, 从而使得各轮廓控制点分布更均匀, 使之避免了产生聚集或稀疏的现象。

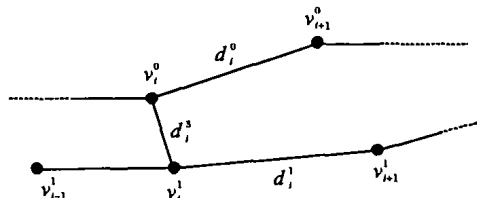


图2 当前轮廓与候选轮廓的控制点

进一步我们考虑 (3) 式中的第二项, 虽然最小化 d_i^2 会使候选轮廓与当前轮廓保持形状一致, 然而 d_i^2 并不能提供对轮廓曲线曲率的约束, 因此不能使曲线具有平滑特性。

文献 [5] 分析比较了各种曲率估计方法, 得出 $|v_{i-1} - 2v_i + v_{i+1}|^2$ 是一种可靠而快速的曲率估计。据此, 如图 2 所示, 我们提出以 $|v_{i-1}^1 - 2v_i^1 + v_{i+1}^1|$ 来代替 d_i^2 , 以平滑候选轮廓曲线。

综上, 定义了两项新的能量表达式, 改进后的轮廓能量差异表示为:

$$\delta E_i = f_i^0 \cdot \frac{|v_{i+1}^1 - v_i^1| - \bar{d}}{\bar{d}} + f_i^0 \cdot \frac{|v_{i-1}^1 - 2v_i^1 + v_{i+1}^1|}{\bar{d}} + f_i^0 \cdot \frac{|v_i^1 - v_i^0|}{\bar{d}} + (f_i^0 - f_i^1) \quad (4)$$

3 轮廓松弛及其简化

3.1 轮廓松弛

传统的活动轮廓模型算法存在所谓局部最小化的问题, VSnares 算法采用一种轮廓松弛的动态规划技术来改善该缺点。图 3 显示了轮廓松弛过程, 将当前轮廓控制点的 5×5 领域划分成四个 6-像素区域, 每一区域中边缘能量值最大的点作为候选点, 这样, 包括其自身在内, 每个当前控制点共有五个候选点。假定轮廓控制点数为 N , 则候选轮廓的总数为 5^N 。无疑, 需要一种高效的算法来从这 5^N 条候选轮廓中选出最优轮廓。该问题类似于通信系统中的一维传输问题, 可采用 Viterbi 算法来解决。其原理是: 每一步对每一候选点, 保存其最优路径与该路径与当前路径的距离 (ΔE)。这样, 整个过程总共只需要保存五条候选轮廓的能量差异值及其相应的轮廓控制点, 到最后第 N 步, 从这五条候选轮廓中选出 ΔE 值最小的即可, 该算法可表示为:

$$\Delta E^{\min} = \min_{u=1, \dots, 5} (\Delta E_{N,u}^{\min})$$

其中:

$$\Delta E_{N,u}^{\min} = \min_{v=1, \dots, 5} (\delta E_{i-1,v}^* + \Delta E_{i-1,v}^{\min})$$

它表示求解过程中第 i 步到候选点 u 的最小能量差异 $\Delta E, u = 1, \dots, 5, i = 1, \dots, N$, 且定义:

$$\Delta E_{0,u}^{\min} = \min_{v=1, \dots, 5} (\delta E_{0,v}^*)$$

$\delta E_{i-1,v}^*$ 表示第 i 步候选点 v 与第 $i-1$ 步候选点 u 构成的路径的能量差异。

最后, 经过多次的该轮廓松弛过程, 迭代得到对象的真实边缘。

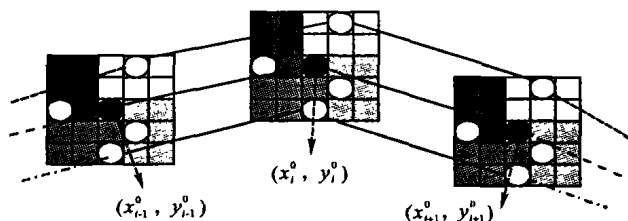


图3 轮廓松弛过程

3.2 简化过程

上述轮廓松弛算法虽然可以有效的解决局部最小化的问题, 然而其计算复杂度较高, 在此对该过程进行简化。

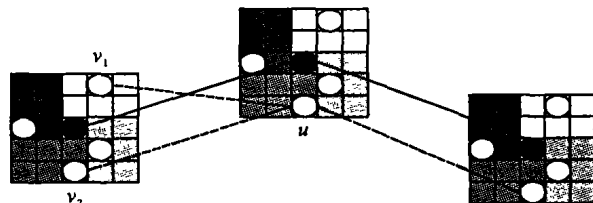


图4 简化的轮廓松弛过程

如图 4 所示, 记五条候选轮廓为 $c_i, i = 1, \dots, 5$ 点 v_1 和点 v_2 分别为 c_1 和 c_2 的第 i 个轮廓控制点, 如果由 v_1 和 v_2 出发确定的最优路径均指向点 u , 即 c_1 和 c_2 的第 $i+1$ 个控制点确定为同一点 u , 则由 Viterbi 算法原理可以确定, c_1 和 c_2 的控制点自 $i+1$ 到 N 均会相同。如此, 只要经确定某几条候选轮廓在第 i 步得到相同的候选控制点, 则自第 i 步后只需对这几条候选

(下转第 1961 页)

动标注、曲线光滑等算法。



图 3 实景拍摄和仿真模拟效果示意图

3 结语

我们利用飞行器普遍具有飞行数据记录器和运动的三维空间性等特点,以飞行器为原型开发事故模拟仿真分析系统,该系统是利用 3ds MAX 平台、将地理信息技术、三维模拟技术和移动物的移动轨迹数据(如飞机黑匣子里面的数据)结合起来,多角度观察事故发生过程,能加快事故分析速度,提高事故分析的准确性。

该系统可将有关飞行信息转换成动态计算机图像,通过画面、声音、数据等多种媒体的播放,综合、直观、真实地再现航空器的飞行过程,为事故调查提供先进的技术工具。利用事故仿真的输出结果,编辑制作了飞行事故的图像资料,可以为安全教育提供理想的教材。为使该技术进一步应用于安全

预防领域,为安全管理、飞行讲评、技术研讨等提供有效的技术手段。

在我国,已有简单的对飞行器移动轨迹数据的读取,进行三维动态功能演示飞机飞行姿态辅助空难事故分析系统^[7],也已有三维 GIS 的一些应用^[8]。但我们研发的“飞行安全及事故三维仿真模拟分析系统”,是将两者结合起来,通过对飞行器移动轨迹数据的读取,利用三维 GIS,实现多个视角同步观察多个飞行器移动过程的仿真模拟,具有先行性。

参考文献:

- [1] 中国民航报:民航新闻.黄菊副总理与全国民航工作会议部分代表座谈并作重要讲话[Z]. <http://www.caacjournal.com/cj03/rp.php?id=3c2411>, 2005-01.
- [2] 郭富.利用微机三维动态功能演示飞机飞行姿态辅助难事故分析[J].民航科技,2002,(5):33-35.
- [3] 冯杰,蔡远利,刘佳琪.飞行器可视化仿真中的三维视景研究与实现[J].导弹与航天运载技术,2003,(5):42-46.
- [4] 吴龙周,蔡晋生.三维真实感动画技术在飞行器视景仿真中的应用[J].导弹与航天运载技术,1998,(3):47-52.
- [5] 齐敏,郝重阳,佟明安.三维地形生成及实时显示技术研究[J].中国图象图形学学报,2000,5(4).
- [6] 彭群生,鲍虎军,金小刚.计算机真实感图形的算法基础[M].北京:科学出版社,1999.
- [7] 中国民航学院民航安全科学研究所.虚拟现实技术在事故分析中的应用[EB/OL]. www.air-safety.com/ricas_intro.htm, 2005.
- [8] 武汉中地信息工程有限公司:MAPGIS 地理信息系统[EB/OL]. www.mapgis.com.cn/product/dlxx.htm, 2005-01.

(上接第 1958 页)

轮廓的其中之一进行计算,其他候选轮廓的寻求最优控制点过程均可免去。这样,就简化了整个轮廓松弛过程,从而降低了计算复杂度。

4 实验结果

通常用 Snake 算法得到目标轮廓后,需要对其进行轮廓连接,简化等后期处理以连接离散的控制点及消除偏差点。为更好地比较本文改进算法与原算法的实验效果,我们暂不对收敛轮廓进行后期处理。



图 5 改进前后算法迭代 10 次的分割结果对比

如图 5(a) 为使用原 VSnares 算法经过 10 次迭代对人像进行分割的结果,图 5(b) 为使用我们改进的算法同样经过 10 次迭代对其进行分割的结果。可以看出(a)图收敛轮廓在头部左上角及两个下角均有大的弯曲(接近直角)且轮廓有断层感,而(b)图无论是曲线的平滑度还是控制点分布的均匀度都相较(a)图有较大的改善。表 1 给出关于两条收敛轮廓的形状失真度的比较,形状失真度(shape distortion)被定义为偏离真实边缘的控制点数与和真实边缘吻合的控制点数之比。表中第一行表示迭代的次数,第二行和第三行分别表示原算法和我们改进算法的形状失真度。从表中可以看出,我们定义的两项新的能量表达式为轮廓提供了对平滑度及控制

点间距离的约束,使得轮廓的形状失真度得到了显著的降低。

表 1 轮廓形状失真度比较

	10	20	30	40	50
原算法	0.364	0.251	0.263	0.248	0.256
改进算法	0.272	0.156	0.169	0.160	0.155

5 结语

本文对 VSnares 算法进行了深入的研究,定义了两项新的能量表达式,使得收敛轮廓的形状失真度得到降低,同时简化了轮廓松弛过程的计算,加速了算法的执行速度。虽然如此,对于那些实时性要求高的场合,改进后的算法复杂度仍显偏高,因此探求如何继续降低该算法的复杂度是未来应着力进行研究的重点。

参考文献:

- [1] KASS M, WITKIN A, TERZOPOULOS D. Snakes: Active contour models[A]. International Conference Computer Vision[C]. 1987, 53: 211-218.
- [2] SUN SJ, HAYNOR DR, KIM YK. Semiautomatic video object segmentation using VSnares[A]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology[C]. 2003, 13: 75-82.
- [3] AMINI AA, TEHRANI S, WEYMOUTH TE. Using dynamic programming for minimizing the energy of active contours in the presence of hard constraints[A]. Proceedings Second International Conference on Computer Vision[C]. 1998. 95-99.
- [4] COHEN LD. Note: On active contour models and balloons[J]. CVGIP, 1991, 53(2): 211-218.
- [5] WILLIAMS DJ, SHAH M. A fast algorithm for active contours and curvature estimation[J]. CVGIP: Image Understanding, 1996, 55(1): 14-26.