

基于模板和 GVF 蛇形步态轮廓提取 *

徐俊红^{1,2}, 丛 望¹, 李 金¹, 王妍玮¹, 梁 洪¹

(1. 哈尔滨工程大学 自动化学院, 哈尔滨 150001; 2. 华北水利水电学院 电力学院, 郑州 450011)

摘 要: 提出了一种基于模板和改进的 gradient vector flow (GVF) 分割方法。该方法先手工建立初始化模板, 利用初始化模板和分割对象的周期性线性匹配, 并基于 Chamfer 距离寻找最佳匹配模板; 将该最优模板轮廓作为改进 GVF 的初始轮廓, 再使用改进的 GVF 算法分割出对象。该算法仅需建立一次初始化模板, 以后具有通用性, 而且对于阴影和背景影响有较好的分割效果。对加利福尼亚大学步态数据库研究显示了该方法的有效性。

关键词: 改进的梯度矢量流; 模板匹配; 步态; 轮廓分割; Chamfer 距离

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2012)03-1116-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.03.086

Gait segmentation based on model and GVF snake

XU Jun-hong^{1,2}, CONG Wang¹, LI Jin¹, WANG Yan-wei¹, LIANG Hong¹

(1. College of Automation, Harbin Engineering University, Harbin 150001, China; 2. Dept. of Dynamical Engineering, North China University of Water Resources & Electric Power, Zhengzhou 450011, China)

Abstract: This paper proposed a new method. Firstly, based on initial templates established manually, obtained the template according to object segmented by linear rule between manual templates and object cycle. Then, used Chamfer distance to search optimal position and template, whose contour was initial snake points. Lastly, improved the algorithm of GVF, which was used to calculate fine contour. This paper established initial templates only once, and the method had better segmental results on shadow. It is displayed that the algorithm is effective to UCSD gait database.

Key words: improved GVF (gradient vector flow); template matching; gait; contour segmentation; Chamfer distance

随着计算机技术的发展, 基于生物特征识别技术得到越来越多的重视, 如人脸识别、指纹识别、虹膜识别、步态识别等。近年来, 步态因其独特特性, 如无接触、非强迫性、隐蔽性等在各种区域监控、运动姿态分析、动画制作及人体健康恢复等领域引起了人们越来越多的重视。

步态指人的行走方式, 是一种行为特征, 它受个人的身体条件以及后天心理、路况等因素的影响^[1]。较早步态技术研究者 Johansson^[2]使用 moving light displays (MLD) 证实不同人的步态具有唯一性。现在有很多研究方法出现, 如基于主元分析的研究^[35]、基于各种矩方法的研究^[6,7]、基于模型的方法^[8]。这些方法及其他很多算法从不同角度对步态进行了研究, 其中绝大多数都是基于对象轮廓进行的, 也就是说需要分割出对象轮廓来, 但大多数文献中对如何获取对象的精确轮廓论述很少。本文针对步态的独特性, 提出一种新的分割算法, 可以有效地对步态进行分割。对步态库进行实验的结果表明, 该方法不但可以精确地提取对象轮廓, 而且具有较高的抗干扰性。

1 GVF 蛇形算法

蛇形形变叫做 snake, 或者活动轮廓 (active contour), 该概念是 Kass 等人^[9]于 20 世纪 80 年代后期提出的; 其定义是在图像范围内的一条曲线或一个表面, 能够在曲线或表面本身的

内力影响及由图像数据产生的外力影响的共同作用下发生形变, 形变的结果和最终目的是使曲线或表面本身与目标物体的边缘或者是图像中期望检测到的特征的形状相一致。

1.1 蛇形定义

蛇形形变定义在图像平面的曲线 $X(s) = [x(s), y(s)]$, $s \in [0, 1]$, s 为曲线 $X(s)$ 的弧长, $X(s)$ 在图像空间中运动使式 (1) 能量函数最小化^[9], 即

$$E = \int_0^1 \{ E_{\text{int}}(X(s)) + E_{\text{ext}}(X(s)) \} ds \quad (1)$$

其中: $E_{\text{int}}(X(s))$ 是图像的内能, 可以使 snake 光滑而且富有弹性; $E_{\text{ext}}(X(s))$ 是外部能量项, 一般由图像的灰度、边缘等特征获得, 用来引导 snake 去拟合目标的边缘轮廓。

内部力量阻止曲线被拉伸和弯曲, 而外部力量则推动 snake 去拟合期望的图像边缘。将 X 看做位置 s 及时间 t 的函数 $X(s, t)$, 则 X 对时间 t 求导:

$$X_t(s, t) = \alpha X''(s) - \beta X'''(s) - \nabla E_{\text{ext}} \quad (2)$$

当解 $X(s, t)$ 趋于稳定时, $X_t(s, t)$ 项为 0, 即可以求得 snake 的解。

1.2 GVF 求解

在静态外力中, GVF 是通过引入一种外力 $F_{\text{ext}} = V(x, y)$ 来对图像进行处理的, 克服了传统蛇形形变的无法凹陷缺点, 叫

收稿日期: 2011-08-15; 修回日期: 2011-09-24 基金项目: 国家“863”计划资助项目 (2008AA12A218-51)

作者简介: 徐俊红 (1976-), 男, 河南漯河人, 博士研究生, 主要研究方向为运动目标跟踪、图像分割、模式识别; 丛望 (1958-), 男 (通信作者), 哈尔滨人, 教授, 博导, 主要研究方向为图像处理、计算机控制 (cwcw9156@163.com); 李金 (1962-), 女, 哈尔滨人, 教授, 博导, 主要研究方向为医学图像处理、模式识别; 王妍玮 (1982-), 女, 哈尔滨人, 讲师, 博士研究生, 主要研究方向为图像配准、X 光成像、自动控制装置; 梁洪 (1981-), 女, 哈尔滨人, 讲师, 博士, 主要研究方向为图像检索、医学图像处理。

做梯度矢量流(GVF)^[10]。

梯度矢量流的矢量场求解是定义矢量场 $V(x,y)=[u(x,y),v(x,y)]$,最小化能量函数式(1)有

$$\varepsilon = \int \int \mu(u_x^2 + u_y^2 + v_x^2 + v_y^2) + |\nabla f|^2 |V - \nabla f|^2 dx dy \tag{3}$$

式中:第一项为平滑项,使向量场变化缓慢;第二项是数据项,能使向量场接近 ∇f 。如果 ∇f 很小,第一项起作用,向量场变化缓慢。如果 ∇f 很大,第二项起作用。欲使能量最小,必须有 $V = \nabla f$ 。这就是 GVF 设计的目标:向量值大时, V 尽量与梯度值相一致;在缓变区,矢量场 V 变化较慢^[10]。

最小化能量方程的过程是首先离散化式(2),并使用 Euler 方程求出矢量场,即可以得到

$$X_{j+1} = M^{-1} (X_j - E^m) \tag{4}$$

式中: E^m 是梯度矢量流场; X_j 是第 j 次迭代对应的蛇点; M^{-1} 是一个稀疏矩阵。由式(3)就可以渐次逼近真实图像的轮廓。

1.3 实验结果

使用普通 GVF 算法对心脏形状分割结果如图 1 所示。其中,图 1(a)是心脏形状实验原图,(b)是使用普通 GVF 算法对其进行分割的结果。从实验结果看,图 1(b)有较好的收敛原图边缘,图像的分割比较理想。

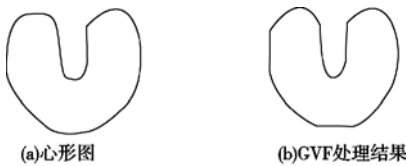


图1 对心形图普通GVF处理结果

使用普通 GVF 算法对步态序列中常见的对象分割如图 2 所示。图 2(a)是初始化实验用的模板,用于初始化 GVF 蛇点;(b)是步态库中待分割一帧原图像(Canny 算子处理后的图像);(c)是(b)的梯度矢量场;(d)是普通 GVF 算法对其分割的结果。普通 GVF 算法对于图 1(a)的分割效果较佳,但对于步态库中对象如图 2(a)的分割结果极不理想,并没有收敛到真正图像边缘处(尝试不同参数都不能实现)。分割不理想的原因是图像不连续,而且带有阴影(如图 2(b)所示,在底部有阴影)。因此,本文提出一种改进的 GVF 算法,用于改善分割效果。

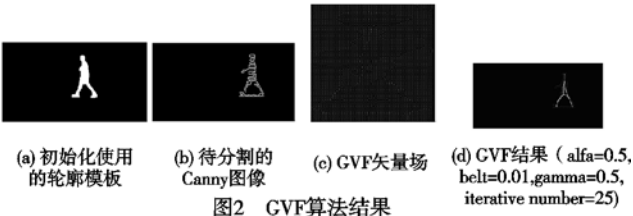


图2 GVF算法结果

2 基于模板的改进 GVF 算法

文献[1115]是 GVF 改进算法,但这些算法大多针对医学图像的分割,计算量大。普通 GVF 算法是增加一种外力,在内外力作用下收敛到凹形区域。但是普通的 GVF 算法对不连续性轮廓的待分割对象极不理想,会收敛到错误的边缘,甚至发散。针对这些问题,本文提出了基于模板的改进 GVF 算法。该算法的主要思想是:在初始化蛇点时,尽可能使初始化点逼近图像;在 GVF 算法迭代过程中,一旦遇到轮廓点,即在该点附近搜索最优值。也就是说,首先建立初始化轮廓模板,然后求出待分割对象的周期,再基于模板周期和待分割对象周期线

性映射性,使用 Chamfer 距离寻找出最优模板,作为初始化轮廓;经过再初始化后,使用量化的梯度矢量场迭代求解。

2.1 建立模板

基于步态的周期性,本文建立了初始化模板如图 3 所示。该模板可以对应于待分割对象一个周期内的步态(线性映射关系),步态周期求解使用文献[16]:使用双脚步宽平滑后的峰值确定步态周期,该方法简单有效。



图3 分割使用的模板(从双脚步度最大开始共14帧)

模板建立后,对于待分割对象区域,找到其重心和模板重心对应起来,然后根据待分割对象的区域大小,使用缩放模板图。这样,一次初始化模板可以被同一视角下所有步态对象使用,就具有了通用性。

初始化模板的目的是为下面提出的 GVF 算法建立初始化轮廓。待分割对象帧 n 和模板帧 n_M 的对应线性关系如下:

$$n_M = (n - n_k + i \times T_x) \times T_0 / T_x + n_0$$

$$(n - n_k + i \times T_x) \in (0, T_x) \tag{5}$$

式中: i 为整数,是步态周期整数倍; $n_M, n, n_k, n_0, T_x, T_0$ 分别代表对应模板序列号、输入图像序列号、关键帧对应序列号(本文取两脚步度最大处)、模板第一帧图像序列号、分割对象周期和模板周期。式(5)的作用是把任意的一帧输入待分割图像序列号 n 和模板序列 n_M 通过这种线性映射的方式对应起来。

2.2 Chamfer 距离

Chamfer 距离是为了计算出待分割对象在模板附近对应的最佳图像帧,Chamfer 距离式(6)值越小,说明待分割对象帧和模板帧越靠近,对应的模板为最佳。计算式如下:

$$D_{\text{ham}}(T, I) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} |f_i(i) - f_T(i)| \tag{6}$$

式中: $f_T(i)$ 为模板; $f_i(i)$ 是待分割对象,在本文中指 Canny 算子处理的二值图,它是通过下面二维高斯式和对象灰度图卷积得到

$$f_i(i) = G(x, y, \sigma) \times f(x, y)$$

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x^2 + y^2}{\sigma^2}\right)\right] \tag{7}$$

式中: σ 为标准方差; $*$ 代表卷积; $f(x, y)$ 为对象灰度图。

通过式(7),选取稍大的标准方差,可扩大图像搜索范围,但会使图像亮度降低,它一般可以较为有效地得到 Canny 算子处理的二值图。该二值图噪声较小,便于算法进一步处理。

2.3 改进 GVF 算法

一般的 GVF 算法存在两个问题,即计算量大和初始化轮廓问题。当初始化轮廓远离待分割图像边缘,迭代次数较多时(且参数合适),分割才有可能跳过局部点,最后收敛于轮廓,但更可能失败(尽管增大计算量),也即初始化边缘和分割结果有较大的关联性。基于最优模板轮廓和待分割图像相对接近很多,但是模板和待分割对象可能还是有些距离,这也可能导致分割失败;而且由于不同人的步态特征(对应的生物特征如人的身高、胖瘦、每步跨度等)可能较大,对于运动序列中运

动的部分,区别也可能很大,因此初始化蛇点距离真实分割的轮廓依然可能存在较大距离,这也影响了GVF算法收敛到真实的图像边缘。为此本文提出了改进的GVF算法进行分割提取轮廓,改进的算法流程如图4所示。

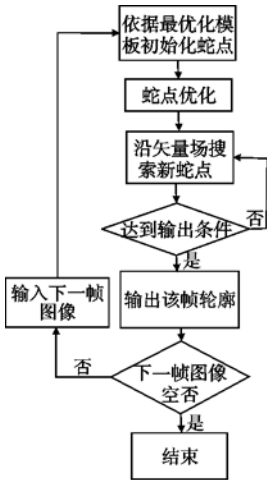


图4 改进的算法流程

2.3.1 基于最优模板初始化蛇点

根据式(5),在 n_M 及 $n_M \pm 1$,三帧图像中使用Chamfer距离寻找最优的帧,其轮廓作为初始化轮廓。也就是得到的最优模板轮廓作为改进轮廓的初始化轮廓。经过最优模板初始化后,就可以把最优模板作为序列中某帧的初始化蛇点。初始化轮廓依然与待分割图像可能有一定距离,这影响到轮廓的精确收敛性(可能收敛到局部最小值点),因此应尽可能使蛇点逼近待分割图像边缘。本文采用下面的蛇点优化过程。

2.3.2 蛇点优化

蛇点优化的过程是指在待分割图像范围内,通过把目标每行最大最小点映射到最优初始化轮廓的对应点上。算法过程是:在目标和最优模板范围内,逐行扫描最大最小值点,并依据线性规则把目标的最大最小值点映射到模板点上;由于目标的不连续性,这里加上两条限制:a)目标上下行范围限制,一般不超过几个像素,目标空行使用上下行极值平均点补充,单点和窄行使用上下行非空的行补充;b)模板和目标轮廓间限制,一般不超过十个像素。像素个数的限制对于一般的步态对象是足够的,因为轮廓上下行间的间隔,在预处理中一般断裂最大值表现为57个像素;模板目标间的距离由匹配模板和带分割对象本身身体特征限制,经验值是该距离不超过十个像素。

2.3.3 沿矢量场搜索

沿矢量场搜索的主要思想是把GVF矢量场量化形成八个方向,对应为八个位置,也就是在该矢量点位置对应的八邻域内搜索;搜索的次序为首先搜寻矢量场方向,其次沿着次靠近该矢量方向逐次搜索。

3 实验结果及分析

本文对加利福尼亚大学(UCSD)的步态数据库进行了分割实验,实验参数为: $\alpha = 0.5$, $\beta = 0.01$, $\gamma = 0.5$,迭代次数为5。尤其是针对第2人第5序列(该段序列g25,采用一般的分割方法,包括GVF算法、阈值分割算法),实验中发现效果极不理想:分割后的图像边缘较多帧不连续,对行走过程中的静止部分丢失等。采用提出的算法处理该序列的实验结果如图5

所示。

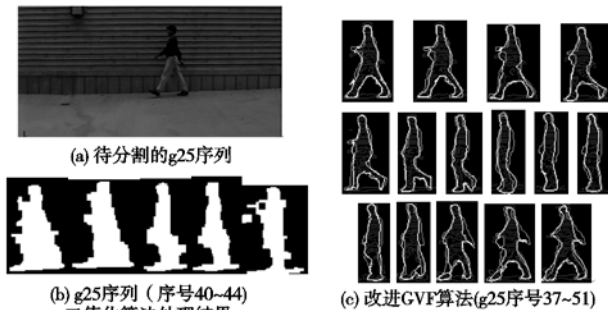


图5 本文算法分割结果

图5(a)是UCSD库中g25序列提取的对象;(b)是序列采用当前帧和背景作差,取阈值后的结果图(这里无论如何调整参数,效果都不理想),很容易看到,脚步阴影区和身体遮挡导致光强变化使得效果不佳;(c)中,最暗的颜色(灰度值是50)为Canny算子处理过的待分割对象,最亮的颜色(灰度值是255)为改进的GVF分割曲线结果,中间的颜色(灰度值是150)为求得的线性对应最佳模板曲线,其算法结果对应该段序列半个周期的图像(该段序列步态周期为30帧,由于运动目标平行于镜头,步态具有对称性,这里仅仅给出了半个周期的分割结果)。从分割实验结果来看,虽然各种背景光、反射以及阴影影响(这对于采用减背景的阈值算法影响极大),但最终的分割曲线(最亮曲线),尤其在双脚踏度较大时,精确地收敛到了待分割对象的边缘,而且迭代次数较少。对于一般算法,由于阴影原因,很难收敛到胯部位置,而本文提出的算法比较真实地分割到了真正的边缘。

4 结束语

针对步态特点以及步态的周期性,本文提出了基于模板和改进的GVF分割算法,只需要建立一次初始化模板,具有通用性。尽管待分割序列中受各种反射光、背景光以及阴影影响,但提出的方法可以较为有效地精确分割出步态库中的待分割对象;该算法使GVF算法并不再仅局限于单帧的图像,而且可以用于序列图像的精确分割,迭代次数很少。对于大多数基于轮廓进行步态识别的算法而言,这是非常重要的一步,为下面进行更为有效的步态识别提供了坚实的基础。

参考文献:

- [1] 赵国英. 基于视频的步态识别[D]. 北京:中国科学院研究生院, 2005: 1-3.
- [2] JOHANSSON G. Visual perception of biological motion and a model for its analysis [J]. Perception and Psychophysics, 1973, 14 (2): 201-211.
- [3] MURAT E, MURAT A. Human gait recognition based on kernel PCA using projections [J]. Journal of Computer Science and Technology, 2007, 22(6): 867-876.
- [4] HONG S, LEE H, TOH K A, et al. Gait recognition using multi-bipolarized contour vector [J]. International Journal of Control, Automation and Systems, 2009, 7(5): 799-808.
- [5] MICHELLE K, KOLJA K, MARTIN B. Recognition of affect based on gait patterns [J]. IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, 2010, 40(4): 1050-1061.

是因为其为彩色人脸数据库,在下采样之前还需要将彩色图像灰度化。本文提出的方法已经在 PC 机上实现,利用摄像头采集视频进行实时识别,效果比较理想。

4 结束语

实验结果表明,本文方法使用较少的时间消耗取得了较大的性能提升,并且经过实验验证该方法可以做到实时处理。由于所选取的特征为变换域的特征,所以在面对光照等变化时本文提出的方法要比传统方法和直接使用线性回归分类更鲁棒。实验分析了选取不同的 DCT 系数长度对识别率的影响,在不同的数据库上这种变化并不完全一致,在 Yale 和 GT 数据库上,取较少的系数就可以得到最好的识别率,而在 Extended Yale B 数据库上,要得到最高识别率,所取的 DCT 系数长度较大。造成这种差异的原因可能是,相对于 Yale 和 GT 数据库而言,Extended Yale B 数据库包含了丰富的光照变化,所以特征向量需要更高的维数才能充分表示出这种变化。

本文采用 ZigZag 方法选取 DCT 系数特征,虽然这种方式被广泛使用,但在有些情况下并不一定是最佳的方法,文献[12]中提出了一种基于鉴别力分析的系数选取方法。文献[13]提出了基于 DCT 的光照补偿方法,这种方法能大大减小光照变化对人脸识别的影响。针对 DCT 系数的选取以及在 DCT 域的处理都是笔者未来需要进一步研究的方向。此外,关于人脸识别中光照、姿势、表情、遮挡等问题的研究一直都是这一领域的热点,这些方面也是未来研究工作的重点。

参考文献:

- [1] PANG Yan-wei, YUAN Yuan, LI Xue-long. Gabor-based region covariance matrices for face recognition [J]. *IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology*, 2008, 18(7): 989-993.
- [2] TURK M, PENTLAND A. Eigenfaces for recognition [J]. *Cognitive Neuroscience*, 1991, 3(1): 71-86.
- [3] BELHUMEUR P N, HESPAHIA J P, KRIEGMAN D J. Eigenfaces vs. Fisherfaces: recognition using class specific linear projection [J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1997, 19(7): 711-720.
- [4] HAFED Z M, LEVINE M D. Face recognition using the discrete cosine transform [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2001, 43(3): 167-188.
- [5] RAMASUBRAMANIAN D, VENKATESH Y V. Encoding and recognition of faces based on the human visual model and DCT [J]. *Pattern Recognition*, 2001, 34(12): 2447-2458.
- [6] NASEEM I, TOGNERI R, BENNAMOUN M. Linear regression for face recognition [J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2010, 32(11): 2106-2112.
- [7] WRIGHT J, YANG A Y, GANESH A, *et al.* Robust face recognition via sparse representation [J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2009, 31(2): 210-227.
- [8] BARSÍ R, JACOBS D. Lambertian reflection and linear subspaces [J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003, 25(2): 218-233.
- [9] 尹洪涛, 付平, 沙学军. 基于 DCT 和线性判别分析的人脸识别 [J]. *电子学报*, 2009, 37(10): 2211-2214.
- [10] GEORGHIADES A, BELHUMEUR P, KRIEGMAN D. From few to many: illumination cone models for face recognition under variable lighting and pose [J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2001, 23(6): 643-660.
- [11] LEE K C, HO J, KRIEGMAN D. Acquiring linear subspaces for face recognition under variable lighting [J]. *IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2005, 27(5): 684-698.
- [12] DABBAGHCHIAN S. Feature extraction using discrete cosine transform and discrimination power analysis with a face recognition technology [J]. *Pattern Recognition*, 2010, 43(4): 1431-1440.
- [13] CHEN W, ER M J, WU S. Illumination compensation and normalization for robust face recognition using discrete cosine transform in logarithmic domain [J]. *IEEE Trans on Systems, Man, Cybernetics*, 2006, 36(2): 458-466.
- [14] PANG Yan-wei, WANG Lei, YUAN Yuan. Generalized KPCA by adaptive rules in feature space [J]. *International Journal of Computer Mathematics*, 2010, 87(55): 956-968.
- [15] PANG Yan-wei, LI Xue-long, YUAN Yuan, *et al.* Fast Haar transform based feature extraction for face representation and recognition [J]. *IEEE Trans on Information Forensics & Security*, 2009, 4(3): 441-450.
- [6] SINGH C, NEERJA M, EKTA W. Face recognition using Zernike and complex Zernike moment features [J]. *Pattern Recognition and Image Analysis*, 2011, 21(1): 71-81.
- [7] TANG Chen, SONG Yi, JIANG Jia-fu. Gait recognition based on combined invariant moment [C]//Proc of China-Ireland International Conference on Information and Communications Technologies. Stevenage: Institution of Engineering and Technology Press, 2008: 123-126.
- [8] FAEZEH T, REZA S. Model-based human gait recognition using leg and arm movements [J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2010, 23(8): 1237-1246.
- [9] KASS M, WITKIN A, TERZOPOULOS D. Snakes: active contour models [C]//Proc of the 1st International Conference on Computer Vision. London: IEEE Computer Society, 1987: 259-268.
- [10] XU C Y, JERRY J L. Snake, shape, and gradient vector flow [J]. *IEEE Trans on Image Processing*, 1998, 7(3): 359-369.
- [11] LIANG Jia, WANG Yuan-quan. Improved GVF based left ventricle segmentation from cardiac MR images using radial B-Snake model [C]//Proc of the 9th International Conference for Young Computer Scientists. Piscataway: IEEE Computer Society, 2008: 1000-1005.
- [12] ZHOU Hao. A modified GVF snake algorithm of mobile target detection [C]//Proc of Computational Intelligence and Software Engineering Conference. Piscataway: IEEE Computer Society, 2009: 1-4.
- [13] SHARON A S, SUI S, JOHN B F, *et al.* Development of an accelerated GVF semi-automatic contouring algorithm for radiotherapy treatment planning [J]. *Computers in Biology and Medicine*, 2009, 39(7): 650-656.
- [14] 王根, 张建伟, 陈允杰, 等. 一种各向异性 GVF 模型的心脏左心室 MR 图像分割模型 [J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2010, 22(11): 1887-1891.
- [15] JARJES A A, WANG K, MOHAMMED G. GVF snake-based method for accurate pupil contour detection [J]. *Information Technology Journal*, 2010, 9(8): 1653-1658.
- [16] XU Jun-hong, CONG Wang, LI Jin, *et al.* Gait recognition based on key frame and elliptical model [C]//Proc of the 2010 IEEE International Conference on Information and Automation. Piscataway: IEEE Computer Society, 2010: 2483-2487.

(上接第 1118 页)