

一种移动人体轮廓的两步提取法^{*})李红波¹ 向南¹ 宋军² 吴渝¹(重庆邮电大学人工智能研究所 重庆 400065)¹ (重庆交通大学计算机与信息学院 重庆 400074)²

摘要 移动人体轮廓提取算法作为移动人体跟踪的基础,在交通监控、客流量统计、运动分析、虚拟现实等领域都有很高的实用价值。本文根据灰度图像的背景分布与 Sobel 算子,提出一种结合自适应灰度阈值分割与人体梯度信息判定的两步移动人体轮廓提取算法。实验表明,该算法具有很强的实用性与鲁棒性。

关键词 自适应阈值,梯度信息,两步轮廓提取

Two Step Algorithm for Motion Human Body Silhouettes Extraction

LI Hong-bo¹ XIANG Nan¹ SONG Jun² WU Yu¹(Institute of Artificial Intelligence, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)¹(College of Computer and Information, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)²

Abstract The extraction of motion human body is the fundament of the motion human tracking. It has many uses of traffic controlling, traffic statistics, motion estimation and VR. This paper provides a two steps motion body extraction algorithm using adaptive threshold and gradients according to the distribution of the background pixel of one frame and the Sobel operator. In the experiment we can find this algorithm is robust and useful.

Keywords Adaptive threshold, Gradient information, Two steps silhouettes extraction

1 引言

作为图像处理领域的重点和难点,移动轮廓提取的目的是将目标从背景中分离出来。常用的轮廓提取算法主要有边缘检测^[1-3]和阈值分割^[4-7]两大类。前者利用灰度频率信息对图像进行分割,后者利用局部梯度信息进行分割。由于简单和稳定,阈值分割成为图像分割的典型算法。选取阈值的常用方法有:OTSU 法^[8]、直方图双峰法、最大熵法、矩量保持法、梯度统计法以及这些方法在二维上的推广方法^[9]。

Yasuaki Sakai,何卫华等都各自利用序列中后续图像信息提取活动目标轮廓,取得一定的效果,但得到一个清晰轮廓需要前后帧图像,且实时性不强。唐勇等通过建立彩色图像模型然后进行背景差分,提取移动物体轮廓,有效地利用了彩色信息,但是算法采用固定阈值,抗噪不强,因此势必要提高算法的实时性和自适应能力。

本文针对在实时系统中轮廓提取的应用环境,在背景差分的基础上,先利用背景的分布进行自适应阈值分割,确定一部分背景区域,使其作为背景区域的误分割为最小;再对剩余的含有部分背景区域和整个前景区域的图像进行二次划分,利用人体的梯度信息将第一步未分割出来的背景区域(即灰度与人体灰度重合的背景)与人体区域隔离开来。在确定阈值时,根据 Kalman 滤波原理优化贝阈,提高算法的鲁棒性。

2 算法内容

2.1 算法思想

在数字图像处理中,经常使用差分法进行移动人体域检

测。进行背景差分后,图像的前景区域和背景区域的分布如图 1 所示,可以认为图像的背景图像近似服从高斯分布。

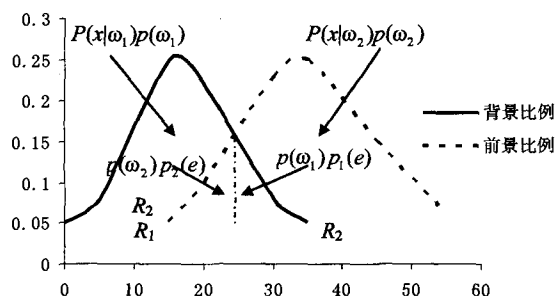


图 1 前景背景比例图

图中 ω_1, ω_2 分别表示背景与前景部分, $P_1(e), P_2(e)$ 表示前景与背景的错分机率, $P(x|\omega_1)p(\omega_1)$ 表示灰度图中出现此像素级别且为背景的概率,相对应可知图像中点作为前景点出现的概率。 R_1, R_2 表示前景的最低灰度级别与背景的最高灰度级别。

当图像中人体个数增多时,直方图中前景像素点的比例增加,背景像素点的比例数减少,背景区域受人体增多所导致的光线变化所影响,出现右移现象,即会有更多的背景像素点会被误判为前景点。当人体衣服颜色接近背景颜色时,将出现前景区域左移现象,容易导致前景区域误判为背景点。设像素灰度重合区域为 $[R_1, R_2]$,单一阈值分割效果差是因为重叠区域的比例加大,使得误差加大。由此可见,必须对误判区域进行二次判别,才能取得最优效果。

^{*})重庆市科技攻关计划(7818)、重庆市自然科学基金(2005BB2063)、重庆市自然科学基金(2006BB2413)、重庆市教委科学技术项目(050509, 060517)。李红波 工程师,硕士,主要研究方向为数字媒体、软件工程;向南 硕士生,主要研究方向为数字图像处理;宋军 博士,副教授,主要研究为宽带网络技术、数字媒体技术、信息融合理论;吴渝 教授,博导,主要研究方向为多媒体技术、计算智能与数据挖掘。

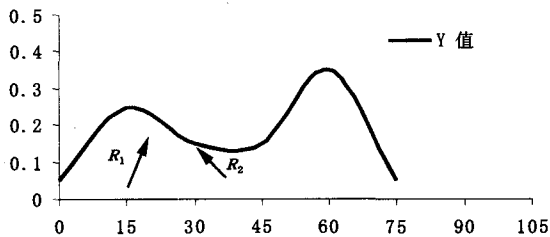


图2 灰度比例图

而单纯的依靠梯度信息进行移动人体轮廓提取时,经常要进行填充、形态学操作等优化操作,这些操作也很容易导致轮廓提取的偏差,因此也需要对单纯的梯度轮廓提取进行优化。

为达到上述优化目的,本文首先确定误判区域。将差分图像划分为两部分:背景区域、前景区域与不确定区域。由于光照变化及人体个数等诸多方面的影响,固定阈值具有很大的局限性,因此采用自适应阈值的方法进行阈值的选定。然后用 Sobel 算子求出混合有背景部分的前景区域的梯度信息,进行二次判定。

图像处理过程如图 3。

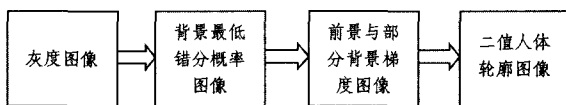


图3 处理过程

2.2 自适应阈值选取

由图 1 可知,进行第一次划分的实际意义就是使得前景被判为背景的机率降为最低,即使得 $p(\omega_2)P_2(e)$ 部分面积降为最小。假设灰度的划分阈值为 T ,用 $x, p(x)$ 代表灰度值及其概率,则背景部分的先验概率为:均值、类内方差为

$$P(\omega_1) = \sum_0^T p(x) \quad (1)$$

均值为

$$\mu(\omega_1) = \sum_0^T xp(x) \quad (2)$$

在实验中可选取峰值对应的灰度值为均值,即有

$$\mu(\omega_1) = \{x | p(x) = \max, x < \theta\} \quad (3)$$

其中限定 θ 可以保证灰度值在背景区域。

类内方差为

$$\delta^2 = \sum_0^T (x - \mu)^2 p(x) / p(\omega_1) \quad (4)$$

考虑到高斯分布的对称性,有

$$\delta^2 = 2 \sum_0^{\mu} (x - \mu)^2 p(x) / p(\omega_1) \quad (5)$$

由于背景呈高斯分布,可以通过高斯模型的置信度来计算阈值,通过下面的适应准则来选取合适的阈值:

$$e = \sum_0^T (P(\omega_1)p(x|\omega_1) - p(x))^2 \quad (6)$$

其中 $p(x|\omega_1)$ 由高斯分布得到。这样,使得 e 值最小的阈值就是所要阈值。这样分割出区域 $(0, t)$ 使得此区域内像素的灰度分布在最大程度上接近高斯分布。考虑到背景取峰值时为前景的概率非常低,为了减少算法的复杂度,阈值的搜索区间可收缩为 $(\mu, 2\mu)$ 。

2.3 Kalman 滤波

经过上述方法可以得到前景误分概率最低情况下的阈值。然而,图像分割在很大程度上受光照扰动等条件的影响。例如,当光照加强时,背景的曲线右移,可能造成求取的阈值不精

确。因此,本文根据 Kalman 滤波原理,利用前一帧的情况修正下一帧的阈值,减少阈值不必要扰动,增加程序的鲁棒性。

Kalman 原理可用如下线性方程描述:

$$X(k) = AX(k-1) + BU(k) + W(k) \quad (7)$$

$$Z(k) = HX(k) + V(k) \quad (8)$$

上两式中, $X(k)$ 是 k 时刻系统的状态, $U(k)$ 是 k 时刻系统的控制量。 A, B 是系统的参数, $Z(k)$ 是 k 时刻的测量值, H 是测量系统的参数。 $W(k), V(k)$ 分别表示过程和测量的噪声,且均认定方差为 σ_w^2, σ_v^2 的高斯白噪声。由于本系统为单模型无控制量系统,因此上述公式可简化为

$$X(k) = X(k-1) + W(k) \quad (9)$$

$$Z(k) = X(k) + V(k) \quad (10)$$

方差与 Kalman 增益可表示为

$$\delta_k^2(k) = \delta_k^2(k-1) + \delta_w^2(k) \quad (11)$$

$$kg = \delta_k^2(k) / (\delta_k^2(k) + \delta_v^2(k)) \quad (12)$$

$$\delta_k^2(k) = (1 - kg) / \delta_k^2(k) \quad (13)$$

其中 $\delta_k^2(k)$ 表示由系统的 $k-1$ 时刻估计 k 时刻状态的估计误差; $\delta_w^2(k)$ 为过程转换误差,即为背景高斯模型的方差; $\delta_k^2(k)$ 表示 k 时刻的最佳估计值误差,初始值为 0; $\delta_v^2(k)$ 为测量误差,由实验决定, kg 为 kalman 增益。

2.4 梯度信息获取

经过 Kalman 滤波最终确定了图像的阈值,将最可能成为背景点的像素分割出来。下面将利用梯度信息确定最终的轮廓。图像的局部梯度信息为

$$\nabla f = (\partial f / \partial x, \partial f / \partial y) \quad (14)$$

$$\|\nabla f\| = \sqrt{(\partial f / \partial x)^2 + (\partial f / \partial y)^2} \quad (15)$$

本文采用简单的 Sobel 算子来计算梯度值。将经过第一步处理的图像和 Sobel 模板卷积,得到梯度图像,然后再进行形态学操作得到最终的二值轮廓图像。

2.5 算法流程

算法流程图如图 4 所示。

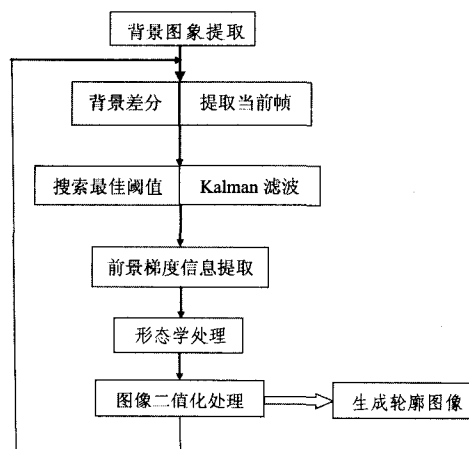


图4 算法流程图

本算法针对摄像头捕获帧进行循环处理,处理过程如下:

```

while(获取有效当前帧) do:
    与背景图像差分;
    for 0→背景峰值灰度 do
        计算背景高斯模型参数;
    end
    for 背景峰值灰度→2倍峰值灰度 do
        通过式(6)计算自适应阈值;
    end
end
    
```

```

end
由式 (9)-(13)估计最佳阈值;
update Kalman 滤波器增益 Kg;
分割灰度图像得到前景图像 F;
用 Sobel 算子与 F 卷积;
利用梯度信息获取轮廓;
进行形态学处理;
提取轮廓并二值化;
End
    
```

3 实验结果分析

应用上述方案,本实验采用赛扬 4(2.4G),512M 内存计算机,在 VC 2005 基础上利用 OpenCV 与 DirectShow 编写程序并调试通过,每帧图像采用 320×240 分辨率,处理速度约为每秒 15 帧。实验场景为不均匀光照条件,人体衣服颜色接近背景颜色。实验结果如图 5-图 8。



图 5 灰度图



图 6 Otsu 算法结果



图 7 本算法结果

图 5 为差分后的灰度图像,图中人体灰度与背景灰度非常近似,而且人体有明显的光斑,人体下方有很强的阴影产生。可以看出,本实验是在不均匀光照条件及人体衣物与背景条件相近条件下进行的,这种条件有助于测试算法的鲁棒性。图 6 为 Otsu 自适应阈值法提取轮廓的结果。由图可见,在前景背景灰度值十分接近条件下,很容易产生大的空洞,这种空洞仅仅用形态学处理是无法修复的。图 7 是本算法结果,可见本算法较好地分割出了人体轮廓区域。现以第一帧为例具体说明。

图 8 中(a)为差分后的灰度图像;(b)为当取固定阈值为 15 时的二值图像,人体与背景相似部分很明显没有被提取出来;(c)为取固定阈值为 10 时的二值图像,图中显示出背景区域被误分为前景区域的情况;(d)为不进行背景判别,在灰度图的基础上直接求取梯度图的结果,可以看出,为了获取人体的梯度信息,环境中的许多灰度变化区域也被吸收了进来,另外在人体的左臂部分的梯度信息混乱,不利于提取清晰的轮廓;(e)为用本文提出的两步判定方法后提取的梯度图像,背景中大量的噪音经过灰度判断被消除,人体梯度信息显得更加清晰,但是由于光照的不均匀性导致人体下方的阴影部分

也包含大量的梯度信息;(f)为进行处理后得到的轮廓图像,与原灰度图像中的人体轮廓相比,除了脚步位置的阴影没有被区分开外,较明确地判定出了腹部及肋部区域,轮廓较单独的阈值法和梯度法更为清晰。

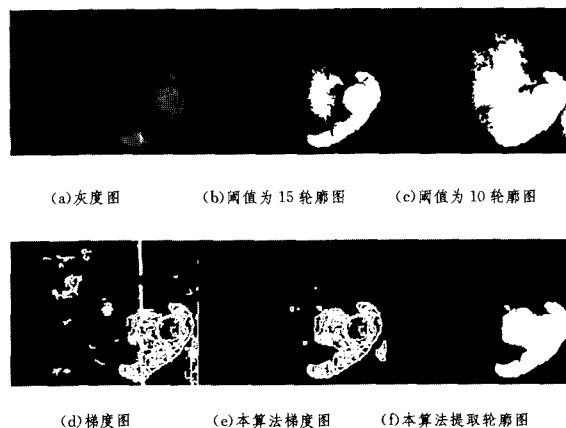


图 8 实验结果图

结束语 本文所提出的自适应灰度阈值与梯度信息相结合的轮廓提取方法,先根据背景图像的分布,进行最低误差的背景图像分割,然后利用梯度信息对第一步分割后的前景图像与部分背景图像的混合区域进行再处理,最终提取出人体轮廓。试验表明,该方法比单纯的阈值即梯度方法都有更好的性能。

参考文献

- [1] Chandra M D, Kavitha G. A Novel and Fast Algorithm to Detect Moving Objects for Content-based Applications [C] // Signal Processing, Communications and Networking, ICSCN '07. International Conference. Feb. 2007; 518-520
- [2] Zhou Dongxiang, Zhang Hong. Accurate Segmentation of Moving Objects in Image Sequence Based on Spatio-Temporal Information [C] // Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation. June 2006; 543-548
- [3] 聂焜,赵荣椿,沈亚萍. 基于 Snake 技术的运动目标轮廓提取[J]. 计算机工程, 2005, 31(23): 148-150
- [4] Chen Thou-ho, Chen Tsong-yi, Chiou Yung-chuen. An Efficient Real-time Video Object Segmentation Algorithm Based on Change Detection and Background Updating [C] // 2006 IEEE International Conference on Image Processing. Oct. 2006; 1837-1840
- [5] Sakai Y, Tam J K, Ishikawa S. Extracting a Human Area by Background Detection [C] // SICE-ICASE, 2006. International Joint Conference. Oct. 2006; 2296-2299
- [6] 唐勇,姜显明. 彩色图像序列中运动人体轮廓提取[J]. 计算机工程与设计, 2006, 27(20): 3901-3903
- [7] 何卫华,李平,文玉梅,等. 复杂背景下基于图像融合的运动目标轮廓提取算法[J]. 计算机应用, 2006, 26(1): 123-126
- [8] Otsu N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms [J]. IEEE Transactions on System Man and Cybernetic, 1979, 9(1): 62-66
- [9] 郝颖明,朱枫. 二维 Otsu 自适应阈值的快速算法[J]. 中国图象图形学报, 2005, 10(4): 484-488
- [10] 边肇祺,张学工,等. 模式识别. 第二版[M]. 北京:清华大学出版社, 2000; 11-13