

自适应人体运动目标精检测^①

卢岩^{1,2}, 戴明¹, 姜磊^{1,2}, 李仕^{1,2}

¹(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

²(中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 现有人体检测算法普遍存在检测精度不足, 适应环境能力差的缺点, 为了改善这种情况, 提出了一种结合区域 RGB 权值和自适应阈值的人体精检测算法。该算法首先通过背景差分法对前景人体目标进行快速检测, 分离出近粗略人体目标区域, 然后根据人体的特征将人体可能的区域范围确定, 结合两次检测的区域估计出人体目标区域。将目标区域分割为若干大小相同的小块, 分别对每一个小块计算 RGB 权值和检测阈值, 并归一化到(0, 255)区间, 利用加权后的新值和得到的阈值通过背景差分法进行精检测, 得到最终结果。实验结果表明: 本文的检测算法可以比现在流行的基于 HIS 的人体检测算法精度提高 10% 左右, 比普通的背景差分法检测精度最高可提高 40% 左右。通过实际验证, 本文的算法完全满足人体检测对精度和适应性的要求。

关键词: 运动目标检测; 自适应阈值; 人体检测; 背景差分

Moving Human Body Fine Detection Based on Self-Adaptive Threshold

LU Yan^{1,2}, DAI Ming¹, JIANG Lei^{1,2}, LI Shi^{1,2}

¹(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;)

²(Graduate University, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The existing human body detecting algorithms often have the shortages, such as less precision and less adaptability of environments. In order to improve the detecting results, an optimized algorithm is presented based on the combination of the weight of RGB channel and self-adaptive threshold in sub-area. Firstly, a simply background subtraction is applied to detect the moving human body area cursorily; secondly, the human area is calculated and estimated by its characters, then the two areas are combined to get the final target area. The target area will be divided into several sub-areas with same size, and then the weight of RGB channel and the threshold of each sub-area can be calculated and normalized to the range of [0,255], respectively. By using the calculated threshold and the weight value of target area's RGB channel, we can do a fine background subtraction to detect the final result. Experiment results show that the precision of our algorithm has improved by 10% as compared with the algorithm based on HIS, and has improved by 40% as compared with the traditional algorithms. It can wholly achieve the requirements of precision and adaptability by actually testing.

Keywords: moving object detection; self-adaptive threshold; human body detection; background subtractio

1 引言

运动人体目标的检测作为运动目标检测的一个分支, 是当前图像处理和机器视觉的研究热点, 广泛应用于安保监控、海关缉私、航空航天、反恐等各种领域。

运动目标的检测方法有很多^[1-6], 其中对人体目标进行检测最常用方法是背景差分法, 该方法的主要思想是首先确立背景帧, 然后通过计算当前帧和背景帧的差分值来确定运动目标区域。背景差分法具有计算简单, 检测精度相对较高的优点, 但由于该方法对光

① 基金项目: 国家高科技研究发展计划(863)(2008AA121803); 国家 973 计划(2009CB72400607)

收稿时间: 2010-08-26; 收到修改稿时间: 2010-09-18

照变化非常敏感，因此需要引入背景更新算法。

人体目标具有一种特殊的性质——肤色特性，它只取决于颜色，而一些细节变化，如表情变化、正侧面变化等均对检测结果没有影响，Yang^[7]等人曾经研究过不同的种族、不同人的肤色仅在亮度空间存在差异，色度差异远远小于亮度差异，而色调几乎不变。现行的人体检测算法^[8-10]普遍都是基于人体皮肤的这种特殊性质的。首先通过色彩空间变换将图像转换到特定的色彩空间，然后根据人体目标在相应色彩空间的特性将其检测出来。但是这种算法具有很大的局限性。首先，由于图像需要在色彩空间进行变换和处理，会使得整个过程的计算量偏大，其次，人体目标由于穿着不同，会使得被衣服覆盖区域不再具有肤色特性，从而导致依靠肤色进行的检测失效，降低检测精度。

考虑到人体的形状具有特殊的比例性^[11]，比如通常情况下，人体身长大约是头部的 4.5~7 倍，双臂完全展开的长度约等于人体身长，躯干宽度约为头部宽度的 1.5~2 倍等，本文提出了一种结合背景差分法和人体自身特征的自适应人体精检测算法。

2 算法概述

由于背景差分法检测速度快，本文首先通过带有背景更新的背景差分法对目标人体进行第一次粗检，确定目标大致区域，然后通过人脸识别判定目标人体的头部轮廓，根据人体的体型特征估计出目标人体可能出现的区域，结合初检区域和估计区域确定最终人体目标所在区域，对该区域内的前景目标利用其 RGB 权值进行二次精检测，最终检测出目标。由于该检测方法是基于区域的精检测方法，所以运算量只是比普通的背景差分法略有增加，同时由于该方法的区域检测阈值为自适应型，所以具有较好的通用性。整个系统工作流程如图 1 所示。

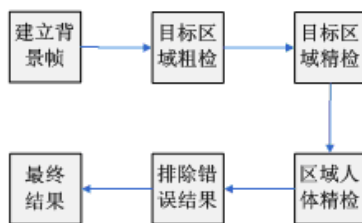


图 1 系统流程图

3 人体区域检测

3.1 目标人体区域

人体作为一种特殊的物体，具有很多独特的性质。如人体皮肤地颜色、身体各部分比例等。可以根据人体的特性将人体所在的区域提取出来。本文所用的方法是首先通过检测人体的皮肤确定人脸的区域，进一步通过人体的头部特征确定头部区域，最后根据头部和身体的比例估计出整个人体的区域，结合粗检区域和估计出的区域对所估计出的范围作出修正，得到最终的人体区域。具体的估计算法流程图(图 2)如下所示：

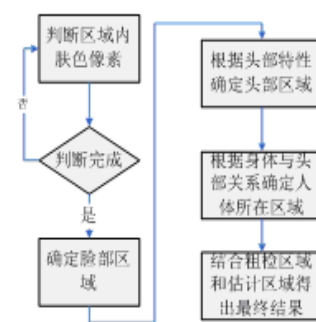


图 2 人体区域估计算法流程

3.2 基于肤色的人脸提取

采用改进的基于 YUV 空间的人脸检测方法^[12]，首先通过对传统的 YUV 计算因子进行加权，得出新的色彩空间转换公式：

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 65.481 & 128.553 & 24.966 \\ -81.085 & 112.000 & -30.915 \\ 112.000 & -93.786 & -18.214 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

根据皮肤区域在 Cb-Cr 空间的分布(图 3)判断当前像素是否为皮肤。判断公式为：

$$F(i, j) = \begin{cases} 1, & cb1 < cb(i, j) < cb2, cr1 < cr(i, j) < cr2 \\ 0, & \text{others} \end{cases} \quad (2)$$

其中 cb1, cb2, cr1, cr2 分别为 cb、cr 两个通道的上下阈值。通过对粗检区域内部像素进行肤色检测，我们可以得到如下结果(图 4)。

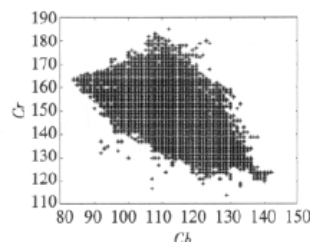


图 3 皮肤样本像素在 Cb-Cr 空间的投影



图 4 肤色检测结果 图 5 约束后肤色检测结果

由于检测的结果不但包括脸部肌肤，还包括手等皮肤直接裸露在外的部分，同时还可能会检测出场景中一些和肤色具有相似的 UV 值的部分。为了不让脸部以外的部分对检测结果造成影响，我们可以加上一些约束条件：

- (a) 检测出的肤色部分必须出现在第 2 节中利用背景差分法检出的运动区域范围内；
- (b) 检测出的肤色区域所形成的长方形长宽比要满足一定要求（本文长宽比例取 6.5:1）；
- (c) 在满足要求的肤色区域中选取范围最大的区域作为人脸；加入约束条件后的检测结果如图 5 所示。

3.3 基于人体形状特征的范围估计

人体的形状具有独特的特性，根据这些特性，我们可以进一步利用 3.1 中的检测结果确定整个人体的区域。确定人体区域的第一步是根据人脸的区域估计出人体头部的区域。图 6 是一幅经过人脸检测的结果图，为了估计人体头部的区域，首先需要对头部姿态做出简单判定，判决条件是根据人脸区域的左右两个方向邻域内是否具有前景像素。倘若方向邻域内存在前景像素则说明检测到的头部为侧面，若两个方向邻域内均无前景像素则说明头部为正面。根据人脸区域约为头部四分之三估计出头部区域，结果如图 7 所示。

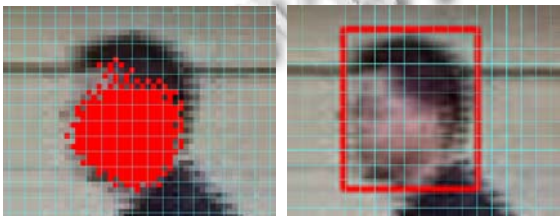


图 6 人脸检测结果 图 7 头部检测结果

根据人体身长大约是头部的 6 倍，躯干宽度约为头部的 1.5 倍，估计出整个人体区域（图 8）。结合 2.2 中检测出的人体区域，取两个区域所包含的最大区域，同时为了保证检测出人体的完整性，将此区域扩大

10%作为目标区域最终估计结果（图 9）。

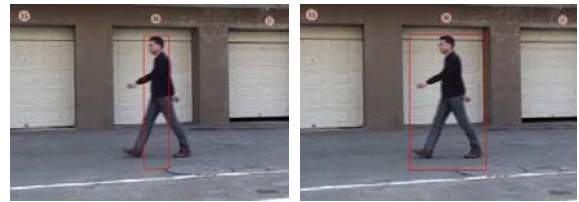


图 8 人体估计区域 图 9 目标区域最终估计结果

4 区域人体精检测

传统的基于灰度的检测算法在目标灰度和背景灰度接近时无法正常检测出目标，而基于 RGB 单通道最大值的算法虽然可以增加前景目标和背景间的差分量，但由于不同通道的差分值不同，而对统一的阈值具有不适应性，基于 HIS 的算法需要进行多次判别，人为设定阈值过多，当目标处于背景平面的不同处时，如不更改阈值会直接导致检测结果的变化。因此，本节将通过一种基于区域 RGB 权值的方式改进人体目标的检测结果，首先将由 3.3 节中得到的人体出现区域划分出若干大小相同的小块 $\sum U_k$ ($k=1,2,\dots$)，分别对每一个小块计算加权系数因子：

$$\omega = (\text{meanR} + \text{meanG} + \text{meanB})^{-1} \quad (3)$$

meanR, meanG, meanB 由公式(4)得到：

$$\begin{cases} \text{meanR} = \sum_{i,j \in U_k} |R_I(i,j) - R_B(i,j)| / n \\ \text{meanG} = \sum_{i,j \in U_k} |G_I(i,j) - G_B(i,j)| / n \\ \text{meanB} = \sum_{i,j \in U_k} |B_I(i,j) - B_B(i,j)| / n \end{cases} \quad (4)$$

其中 $R_I(i,j)$, $G_I(i,j)$, $B_I(i,j)$ 分别为当前帧像素 R、G、B 通道亮度值， $R_B(i,j)$, $G_B(i,j)$, $B_B(i,j)$ 分别为背景帧像素 R、G、B 通道亮度值，n 为当前块中像素总数。

计算各点经过加权后的值：

$$f(i,j) = R_\omega + G_\omega + B_\omega \quad (5)$$

$$\begin{cases} R_\omega = \text{meanR} \times |R_I(i,j) - R_B(i,j)| \times \omega \\ G_\omega = \text{meanG} \times |G_I(i,j) - G_B(i,j)| \times \omega \\ B_\omega = \text{meanB} \times |B_I(i,j) - B_B(i,j)| \times \omega \end{cases}$$

根据加权系数因子计算各区域的检测阈值：

$$T = \omega \times (\text{meanR}^2 + \text{meanG}^2 + \text{meanB}^2) \quad (6)$$

检测出的结果可以表示为：

$$F(i,j) = \begin{cases} 1, f(i,j) \geq T \\ 0, f(i,j) < T \end{cases} \quad (7)$$

根据本节算法对区域内的相应像素差分中进行统计, 结果如图 10 所示。

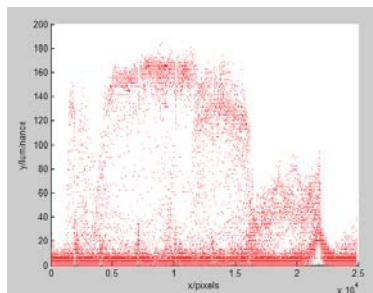


图 10 相应像素差分

由图 10 可以看出, 采用区域权值进行计算的差分运动目标和非运动目标区分明显。

最后, 根据所选取区域内只包含一个人体目标, 并且该人体目标在区域内最大, 可以排除差分产生的干扰和误检, 得到最终结果。

5 试验结果与分析

5.1 试验结果

根据图 2 所示的系统流程图, 对目标视频进行试验, 试验结果如图 11 所示。

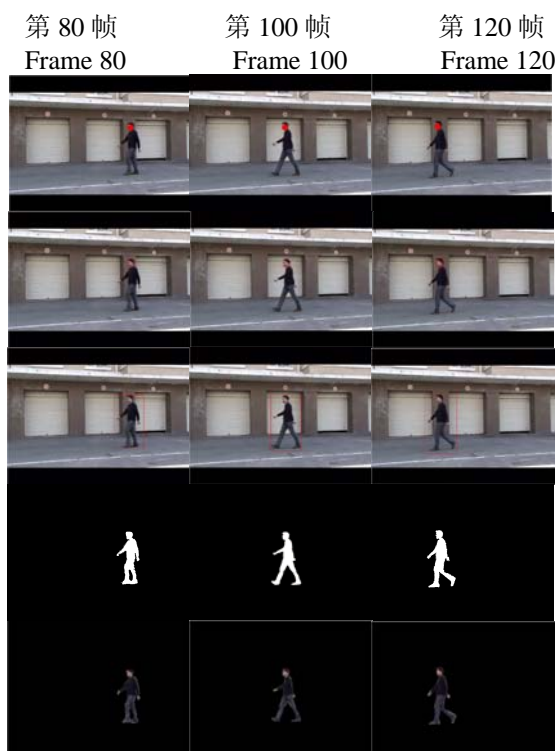


图 11 本文算法检测结果

图 11 中所示的 3 列分别为第 80 帧、第 100 帧和第 120 帧图像处理的结果, 在第一行的 3 幅图是采用约束条件后进行人脸识别的结果, 第二行和第三行的 3 幅图分别是利用人体形状特征提取的头部和全身区域的结果, 第四行的 3 幅图是最终的检测结果, 第五行的 3 幅图是根据最终结果还原的 RGB 图像。由图可以看出本文所用的算法提取的人体目标位置准确、轮廓清晰, 结果是令人满意的。

5.2 比较与分析

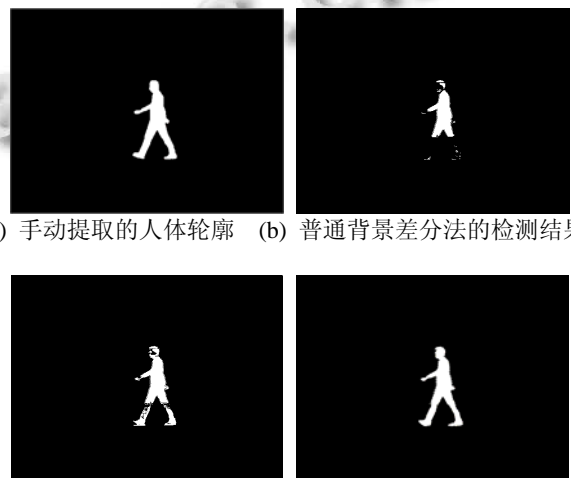


图 12 检测结果比较

为了进一步说明本文算法优点, 本节设计了一个实验, 将对直接利用背景差分法的检测结果、利用 HIS 方法的检测结果以及本文的检测结果做精度比较。比较的基准为手工精确提取的目标, 通过对比基准图像计算出各种算法的精确度。比较结果如图所示。

图 12(a)是手动提取的人体轮廓, (b)是普通背景差分法的检测结果, (c)是基于 HIS 的检测结果, (d)是本文算法的检测结果。由以上结果不难看出本文算法的检测精度要优于其他两种算法。下表是检测结果的相关数据。

表 1 检测结果对比

	实际检出像素	标准像素	误检像素	精确度
普通背景差分法	3870	6711	2841	57.67%
基于 HIS 方法	5661	6711	1050	84.35%
本文方法	6455	6711	256	96.19%

由表 1 可以看出, 本文的算法检出的目标精度比基于 HIS 的检测算法提高了 12%, 比普通的背景差分法

精度提高了将近 40%。虽然该试验具有一定的局限性,但是也可以从一侧面体现出本文算法的优越性。

6 结论

本文提出了一种结合区域 RGB 权值和自适应阈值的人体检测算法,该算法通过普通的背景差分法对兴趣目标进行粗略检测,确定目标范围,然后再对范围内的目标进行二次精检测,由于只对区域内的目标进行精检测,使得算法的计算量大大减小,同时由于算法采用了自适应阈值,使得算法具有良好的适应性。

参考文献

- 1 裴巧娜.基于光流法的运动目标检测与跟踪技术[硕士学位论文].北京:北方工业大学,2007.
- 2 崔星,闫清东.基于帧间差分法的道路车辆检测系统.微计算机信息,2007,23(4-1):117-119.
- 3 陈燕萍.基于背景减除的运动目标检测算法研究[硕士学位论文].厦门:厦门大学,2008.
- 4 薛陈,朱明,陈爱华,鲁棒的基于改进 Mean-shift 的目标跟踪.

光学精密工程,2010,18(1):234-239..

- 5 陈爱华,孟勃,朱明,王艳华.多模式融合的目标跟踪算法.光学精密工程,2009,17(1):185-190.
- 6 丁雪梅,王维雅,黄向东.基于差分和特征不变量的运动目标检测与跟踪.光学精密工程,2007,15(4):570-576.
- 7 Yang J, Lu W, Waibel A. Skin color modeling and adaptation. Proc. of the 3rd Asian Conference on Computer Vision, 1998:687-694.
- 8 戈开祥,李继云.基于 HSV 颜色空间的运动人体检测.科技创新导报,2007,31:188-190.
- 9 吴瑜,郭建东,刘乃琦.一种基于 HIS 模型的彩色图像背景减除快速算法.微计算机应用,2005,26(3):306-308.
- 10 吴天爱,黄襄念,杨玲.基于彩色视频图像的运动人体检测方法.计算机仿真,2008,25(4):218-220.
- 11 阎启文,沈涛.浅谈反映人体测量学来源的人体比例理论.艺术与设计,2009,1:23-25.
- 12 徐庆,石跃祥,谢文兰,张争珍.基于改进 YUV 空间的人脸检测方法.计算机工程与应用,2008,44(34):158-162.

(上接第 176 页)

软件遥控机器人,远端的任务能够以图形和图像的形式直观地显示给操作人员。实验系统成功完成了除冰机器人的跨越高压线绝缘子的操作,为进一步进行恶劣环境下作业机器人的研究提供了研究的实验平台。

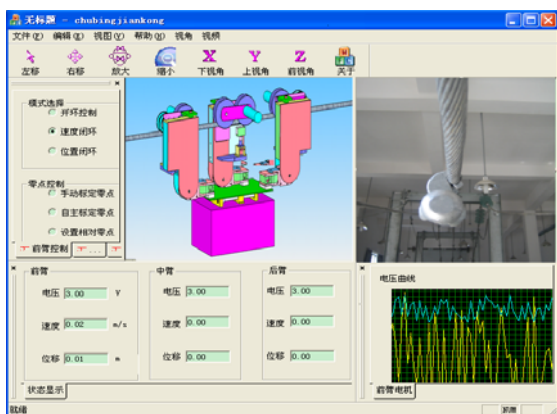


图 4 除冰机器人的遥控操作界面

参考文献

- 1 Bowman DA, Johnson DB, Hodges LF. Test bed Evaluation of Virtual Environment Interaction Techniques. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 2001,10(1):75-95.

- 2 汪成为,高文,王行仁.灵境(虚拟现实)技术理论、实现及其应用.北京:清华大学出版社,1996.40-56.
- 3 黄小虎,李维,郑南宁.面向机器人应用的桌面虚拟环境生成与演示技术.机器人,1998,20(3):198-206.
- 4 杨磊,何克忠,郭木河,等.虚拟现实技术在机器人技术中的应用与展望.机器人,1998,20(1):76-80.
- 5 Ding CJ, Duan P, Zhang ML. Design of Mobile Robot Teleoperation System Based on Virtual Reality. Proc. of the IEEE International Conference on Automation and Logistics Shenyang, 2009,2024-2029.
- 6 Niku SB. Introduction to Robotics: Analysis, Systems, Applications. Edinburgh Gate: Prentice Hall, 2001.
- 7 和永智,刘伟军,周船,常勇,谈大龙.轮式移动机器人与地形交互运动仿真研究.机器人,2007,29(5):498-502.
- 8 李会军,吴涓,刘威,宋爱国.单自由度遥操作系统的虚拟现实环境建模研究.测控技术,2005,24(2):62-64.
- 9 石教英.虚拟现实基础实用算法.北京:科学出版社,2002.32-40.
- 10 刘伟军,朱枫,董再励.虚拟现实辅助机器人遥控技术研究.机器人,2001,23(5):385-390.