

# 用于行人头部特征提取的目标区域匹配方法

于海滨<sup>1)</sup> 刘敬彪<sup>1)</sup> 刘济林<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>(杭州电子科技大学电子信息学院,杭州 310018) <sup>2)</sup>(浙江大学信息与电子工程学系,杭州 310027)

**摘要** 为了准确地定位与跟踪序列图像中的运动行人以获取精确的客流量信息,提出了一种基于目标区域匹配的行人头部特征提取新方法。与常用的基于致密视差图的头部区域视差获取方法不同,该方法基于“先分割后匹配”的思想,即首先借助单目图像处理对基准图进行分割,获取候选头部区域;然后将这些候选头部区域作为目标区域,在匹配图中搜索其匹配对应区域以获取候选头部区域的视差;再借助候选头部区域的视差提取出候选头部区域的深度与透视特征,用于去除虚假头部区域以获取最终的头部检测结果。性能测试与实验结果表明,该方法不仅视差提取精度高、实时性好,并且借助该方法获取的头部特征具有较高的区分度,可以有效去除候选头部区域中的虚假头部区域,使客流量检测的准确率达到90%以上。

**关键词** 立体视觉 图像处理 块匹配 目标区域匹配

中图法分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2009)03-0482-07

## An Target Region Matching Algorithm for the Head Feature Extraction of Pedestrian

YU Hai-bin<sup>1)</sup>, LIU Jing-biao<sup>1)</sup>, LIU Ji-lin<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>(College of Electronic and Information, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018)

<sup>2)</sup>(Department of Information and Electronic Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

**Abstract** In order to acquire accurate passenger flow information by locating and tracking moving pedestrians accurately in image sequence, a novel approach of head feature extraction based on target region matching is presented. Deferent from the common methods based on dense disparity image to obtain the disparity of the head region, the method in this paper is based on the idea of “segmentation before matching”, i. e. the reference image is segmented firstly by monocular image processing and the candidate head regions will be acquired. Then these candidate head regions will be taken as the target regions to be directly used in the correspondence regions searching and matching to obtain the head disparity. Finally the disparity of the candidate head regions is used to extract the depth and perspective feature of the candidate head regions to remove the false head regions. The performance test and experiment results show that the method proposed in this paper has the advantage of higher precision of disparity extraction and better real-time performance as well as the great importance to extract the pedestrian head's feature with high degree of distinction to effectively eliminate the false head regions so that the accuracy of the passenger flow detection can reach over 90%.

**Keywords** stereo, image processing, block matching, target region matching

## 1 引言

在行人检测与跟踪的部分应用领域中,如智能

监控、客流检测等,由于图像采集设备的安装位置受到限制或为了尽可能避免行人间的相互遮挡等原因,只能获取检测区域的俯视图像。在这类图像中行人通常只有头部(尤其是头顶部)体现的较为完

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)项目(2006AA09Z228)

收稿日期: 2008-06-02; 改回日期: 2008-10-07

第一作者简介: 于海滨(1979 ~ ),男,讲师,2007年9月获浙江大学通信与信息系统专业博士学位。主要研究方向为图像处理和计算机视觉、模式识别、计算机并行处理。E-mail: shorehyb@hdu.edu.cn

整,头部的俯视信息(如头部轮廓,头部区域颜色分布等)是区分复杂背景中多个行人目标的唯一特征,因而头部特征的选择与提取就成为俯视图像中行人检测与跟踪的关键环节。

目前,俯视图像中的头部特征提取方法依据算法是否恢复出头部深度信息可分为两类,即不恢复头部深度信息的基于单目图像处理的头部2D特征提取方法<sup>[1-4]</sup>和采用立体视觉方法恢复出头部深度信息的头部3D特征提取方法<sup>[5-8]</sup>。其中,用于头部检测的头部2D特征主要有头部的运动特征<sup>[1]</sup>、几何特征<sup>[2-3]</sup>和统计特征<sup>[4]</sup>等;常用的3D特征主要有头部区域的深度<sup>[5]</sup>和透视<sup>[6-8]</sup>特征。利用头部2D特征进行头部检测的主要问题在于头部区域相对于复杂的背景并没有明显特征,例如和头部区域颜色相似的背包、提箱,拥挤的人群中的空隙以及深色着装的行人的背部、肩部等极易被误检测为头部区域。而采用头部3D特征进行头部检测时由于借助深度信息去除了大量位于摄像机远端的背景干扰,从而使得行人头部区域的检测更加可靠,准确率也获得了较大程度的提高。但目前用于提取头部3D特征的方法大都基于“先匹配后分割”思想,即首先采用块匹配等方法获取高质量的全局或局部致密视差图像,然后在致密视差图像或致密视差图像的变换结果中进行头部区域特征提取,如文献[5]中的占据图法、文献[7]中的尺度自适应滤波器法以及文献[8]中的区域直方图法等。而头部区域灰度分布一般较为均匀,属于弱纹理区域,因此当图像采集设备与行人的距离比较近、行人的头部区域在采集到的图像中占据的面积较大时,头部区域精度较高的致密视差一般难以获取,即使能够获取,获取的方法通常也非常复杂,难以在嵌入式平台获得实时应用。

为了在视差获取的运算复杂度与精度之间取得良好的折中,使基于头部3D特征提取的头部检测方法可以在嵌入式平台获得实时的应用,本文提出了一种基于目标区域匹配的单、双目技术结合的头部区域3D特征提取方法。该方法基于“先分割后匹配”思想,首先利用文献[3]提出的基于改进Hough变换和视知觉分组的单目图像处理方法获取包含虚假头部区域在内的所有候选头部区域;然后将这些候选头部区域作为基准图中的目标区域,在匹配图中进行区域搜索匹配以获取候选头部区域的视差;再借助候选头部区域的视差提取出候选头部区域的深度与透视特征,用于去除虚假头部

区域以获取最终的头部检测结果。

## 2 单目图像处理与候选头部区域获取

由于人体头部区域的轮廓在俯视图像中近似为圆形(可称之为类圆轮廓),因而可以利用圆形目标检测方法获取俯视图像中的候选行人头部区域。文献[3]中的头部区域定位方法,借助针对类圆目标检测的改进Hough变换提取初始候选头部区域,利用基于视知觉分组的灰度分类器和共圆分类器去除大部分虚假候选头部区域,进而获取用于目标区域匹配的候选头部区域。候选头部区域获取的流程图见图1,有关获取过程的详细论述见文献[3]。本文采用左、右视图中的右视图(基准图)作为图1中的单目图像输入,输出的每一个候选头部区域的圆心和半径即可以作为区域参数用于下文中的目标区域匹配过程。候选头部区域获取的实例见图2。

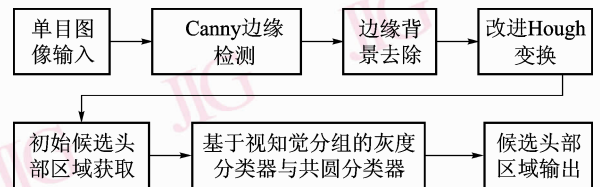


图1 候选头部区域获取流程图

Fig. 1 The flowchart for the acquisition of the candidate head regions



图2 候选头部区域获取的实例

Fig. 2 The example of the acquisition results of the candidate head regions

需要指出的是,由于头部区域的类圆轮廓特征并不具有很高的区分性,因而候选头部区域提取过程很容易受到图像中其他与头部区域灰度接近的类圆区域(如背景中的深色区域、深色着装人体的肩部、背部等)以及相同头部区域的多个轮廓检测结果的干扰(如图2所示),这同时也是文献[3]中提出的方法难以获取高客流检测准确率的主要原因。本文将借助目标区域匹配算法,在文献[3]提取的

头部区域轮廓特征的基础上获取区分度更高的头部深度与透视特征,以进一步去除虚假候选头部区域从而大幅提升头部检测的准确率。

### 3 目标区域匹配

为了获取候选头部区域的具有高分度的 3D 特征(即深度与透视特征),必须首先借助立体视觉方法获取候选头部区域的视差。目前实际应用中常用的获取致密视差的方法是基于局部约束的像素点区域匹配(块匹配)算法<sup>[9]</sup>,该方法是以基准图的待匹配像素点为中心创建一个窗口,用窗口内相邻像素的灰度值分布来表征该像素,并在对准图中以对应外极线上某一像素点为中心创建同样大小的滑动窗口,然后通过搜索待匹配窗口在滑动窗口中的最优匹配窗口的方式获取待匹配像素点对准图中的对应点,进而获取待匹配像素点的视差。块匹配法的匹配过程实质上是以基准图中的待匹配窗口为模板图像、对准图为目标图像的模板匹配过程,匹配的最大搜索范围即为对应的外极线。在块匹配方法中,像素区域灰度在左右视图之间的相似性通常采用区域灰度间的距离测度(SAD 和 SSD)或相关测度(NCC)进行描述,如块匹配法中的 SAD 测度  $M_{SAD}^p$  可定义为

$$M_{SAD}^p(h) = \sum_{(u,v) \in R_p} |I_r(u,v) - I_m(u+h,v)| \quad (1)$$

式中,  $I_r$  为基准图,  $I_m$  为对准图,  $R_p$  为某像素对应的块状邻域,  $h$  为外极线上的水平偏移量。

由上文可知,块匹配法中左右视图中的像素点之间的对应关系实质上是借助它们对应的块状区域间的对应关系来衡量的,也就是说,块匹配法中基准图中的每一个像素点实际上都可以等效为一个块状区域。因此,块匹配法中像素点视差的获取过程可以等效为块状区域视差的获取过程。如果将像素点对应的块状区域推广为包含特定意义的目标区域,如本文中的候选头部区域,而搜索匹配过程和区域间的相似测度仍保持不变,则块匹配法中视差获取的对象就从像素点推广为目标区域,块匹配法同时也被推广为目标区域匹配法。块匹配法推广为目标区域匹配法的推广过程如图 3 所示。图中,  $x_{p1}$  为基准图中某像素点的横坐标,  $x_{p2}$  为该像素点对准图中的对应像素点的横坐标,  $d_p = x_{p2} - x_{p1}$  为该像素点

的视差;而  $x_{t1}$  为基准图中某目标区域的中心的横坐标,  $x_{t2}$  为对准图中对应区域的中心的横坐标,  $d_t$  为该目标区域的视差。

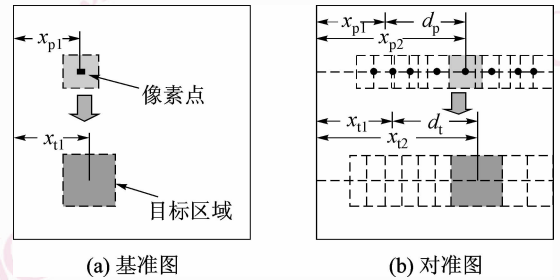


图 3 块匹配法推广为目标区域匹配法的推广过程  
Fig. 3 The process of the block matching promoting to the target region matching

由于区域间的相似测度保持不变,因而目标区域法中区域相似测度的定义仅需将式(1)中的块状区域  $R_p$  改为目标区域  $R_t$  即可,如目标区域匹配中的 SAD 测度  $M_{SAD}^t$  可类似定义为

$$M_{SAD}^t(h) = \sum_{(u,v) \in R_t} |I_r(u,v) - I_m(u+h,v)| \quad (2)$$

另外,为了消除左右视图之间的由光照引起的亮度差异,零均值方法同样可应用于目标区域匹配,如零均值 SAD 测度(ZSAD)  $M_{ZSAD}^t$  可定义为

$$M_{ZSAD}^t(h) = \sum_{(u,v) \in R_t} |[I_r(u,v) - \bar{I}_r] - [I_m(u+h,v) - \bar{I}_m(h)]| \quad (3)$$

式中,  $\bar{I}_r$ 、 $\bar{I}_m(h)$  分别为目标区域  $R_t$  和  $R_t(h)$  内的灰度统计均值。

与常用的基于块匹配法的区域视差获取方法相比,目标区域匹配法应用于获取基准图中已知目标区域的视差时的最大优势在于算法的耗时得到了大幅下降。如分别采用文献[8]提出的基于块匹配的区域视差直方图法和本文提出的目标区域匹配法来获取面积为  $A_t$  的同一块目标区域的视差(如图 4 所示),设块匹配法中采用的块面积为  $A_b$ ,视差搜索范围为  $E$ ,则区域视差直方图法用于获取该区域视差的最大搜索次数为  $A_bEA_t$ ,即时间复杂度为  $O(A_bEA_t)$ ,而目标区域匹配法的时间复杂度仅为  $O(A_tE)$ ,远低于区域视差直方图法。另外,由于候选头部区域的获取基于头部区域的轮廓特征,而在视差匹配的匹配对应搜索过程中,基于轮廓特征的区域匹配将比区域内的逐点匹配更加鲁棒,因而与区域视差直方图法相比,目标区域匹配法获取的头

部区域的视差精度也将获得一定程度的提高。

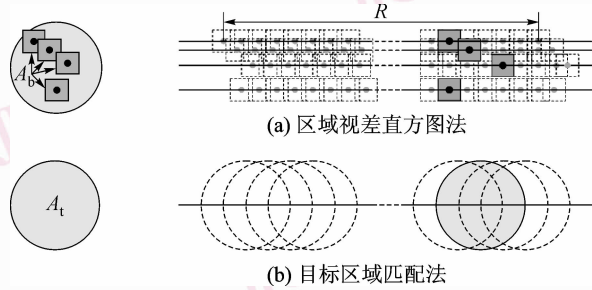


图4 两种方法获取同一块目标区域视差的示意图

Fig.4 The sketch of the acquisition of the same target region's disparity

用候选头部区域  $R_{CH}$  取代式(2)或式(3)中的目标区域  $R_i$ , 则候选头部区域的视差  $d_{R_{CH}}$  就可以依据外极线约束在经过校正的左右视图中沿外极线方向通过搜索区域相似测度的最小值的方式来获取, 即

$$d_{R_{CH}} = \underset{h}{\operatorname{argmin}} [M_{SAD/ZSAD}^{CH}(h)] \quad (4)$$

式中,  $e$  为校正后的对准图中的外极线。  $d_{R_{CH}}$  的获取实例可见图5(c), 在图5(c)中, 所有的  $d_{R_{CH}}$  都被归一化到  $[0, 255]$  之内。

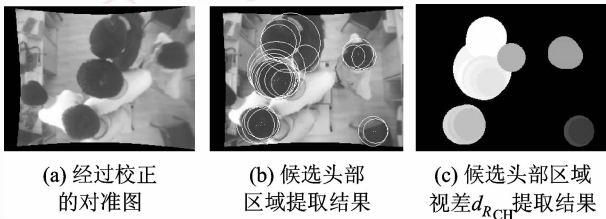


图5  $d_{R_{CH}}$  获取实例

Fig.5 The example of the acquisition of  $d_{R_{CH}}$

## 4 候选头部区域深度与透视特征提取

在俯视图像中, 头部区域与其他非头部类圆区域之间在3D空间中比较明显的差异主要有两点:

(1) 头部具有一定的高度。头部具有的高度由行人的身高决定, 而背景中的类圆区域或阴影形成的类圆区域通常位于地面或与地面接近的低处, 因而由这些类圆区域形成的虚假头部区域与真实头部区域在高度上存在较为明显的差异。若设双目图像采集设备距离地面的高度为  $H$ , 基线长度为  $B$ , 镜头焦距为  $f$ , 行人身高(即头部距离地面的高度)为  $h$ , 头部区域视差为  $d$ , 则由视差与深度的基本对应关

系, 应有

$$h = H - \frac{B \cdot f}{d} \quad (5)$$

若设俯视图像中可能出现的行人的身高的最小值为  $h_{\min}$ , 则有

$$h = H - \frac{B \cdot f}{d} \geq h_{\min} \quad (6)$$

即

$$d \geq \frac{B \cdot f}{(H - h_{\min})} \quad (7)$$

$$\text{令 } TH_d = B \cdot f / (H - h_{\min})$$

式(7)即为利用头部区域的深度特征进行头部检测的判决函数。利用式(7)进行头部检测时, 只有当候选头部区域的视差  $d_{R_{CH}}$  高于  $TH_d$  时, 该候选头部区域才有可能真实的行人头部区域, 否则该候选头部区域为虚假头部区域, 直接将其去除。

(2) 在摄像机的小孔成像模型中, 平面物体大小与其所成的像的大小之间满足由深度和镜头焦距确定的小孔透视比例关系。若将俯视图像中的行人头部近似看作平面, 则头部的真实大小与俯视图像中的头部区域的大小同样满足透视比例关系。设头部区域在空间中的真实半径为  $R$ ,  $r$  为该头部区域在采集到的图像中的半径, 也就是该头部区域对应的类圆轮廓特征提取结果的半径, 则由小孔透视比例关系, 可有

$$R/r = \frac{(Z - f)}{f} = Z/f \quad (8)$$

式中,  $Z$  为头部区域与图像采集装置之间的距离, 即头部区域的深度, 将深度与视差之间的对应关系  $Z = f \cdot B/d$  代入式(8), 则有

$$R/r = Z/f = f \cdot B / (f \cdot d) = B/d \quad (9)$$

将式(9)稍做变形, 可得

$$d/r = B/R = k_R \quad (10)$$

式(10)的含义为在俯视图像中, 头部区域的视差与其轮廓半径大小成正比, 比例系数  $k_R = B/R$ , 仅与该头部的真实半径大小相关。

由于俯视图像中头部区域的视差半径比  $k_R$  仅与头部的真实半径大小相关, 而头部的真实半径  $R_H$  可看作是行人头部的固有特征, 因而  $k_R$  实际上是行人头部固有特征在俯视图像中的反映, 可以作为俯

视图像中头部区域的 3D 特征用于对头部区域进行检测。考虑到人与人之间头部的真实半径大小实际上是有差异的,设该差异的变化范围为  $[R_{\min}, R_{\max}]$ , 则  $k_R$  的变化范围为

$$k_R^{\min} \leq k_R \leq k_R^{\max} \quad (11)$$

式中,  $k_R^{\min} = B/R_{\max}$ ,  $k_R^{\max} = B/R_{\min}$ 。式(11)即可作为利用头部区域的透视特征进行头部检测的判决函数,  $k_R^{\min}$  和  $k_R^{\max}$  为判决阈值。利用头部区域的透视特征进行头部检测时,首先需要获得候选头部区域的视差半径比  $k_{d/r} = d_{R_{CH}}/r_{CH}$ , 如果该候选头部区域为真实头部区域,则  $k_{d/r}$  必然满足式(11),若不满足式(11),即可认为该候选头部区域为虚假头部区域,直接将其去除。

利用候选头部区域的深度与透视特征进行虚假

候选头部区域去除的实例可见图 6,在去除过程中,  $TH_d = 25$  pixel(对应的距离地面的高度为140 cm), 基准图右上角的两个由背景中的类圆区域形成的虚假头部区域(在图 6(a)中以其外接正方形标记)由于对应的视差(分别为 16 pixel 和 20 pixel)低于  $TH_d$  而被判决为虚假头部区域,在图 6(c)中被去除;图 6(c)中仍然存在的部分处于距地面较高处的由深色着装行人的肩部和背部形成的虚假头部区域轮廓(在图 6(d)中以其轮廓外接矩形表示),再利用式(11)进行进一步去除,其中,  $k_R^{\min}$  和  $k_R^{\max}$  的取值分别为 1.26 和 2.10。最后再将剩余的候选头部区域按文献[3]中的均值圆算法进行合并即可获得最终检测结果,如图 6(g)所示。

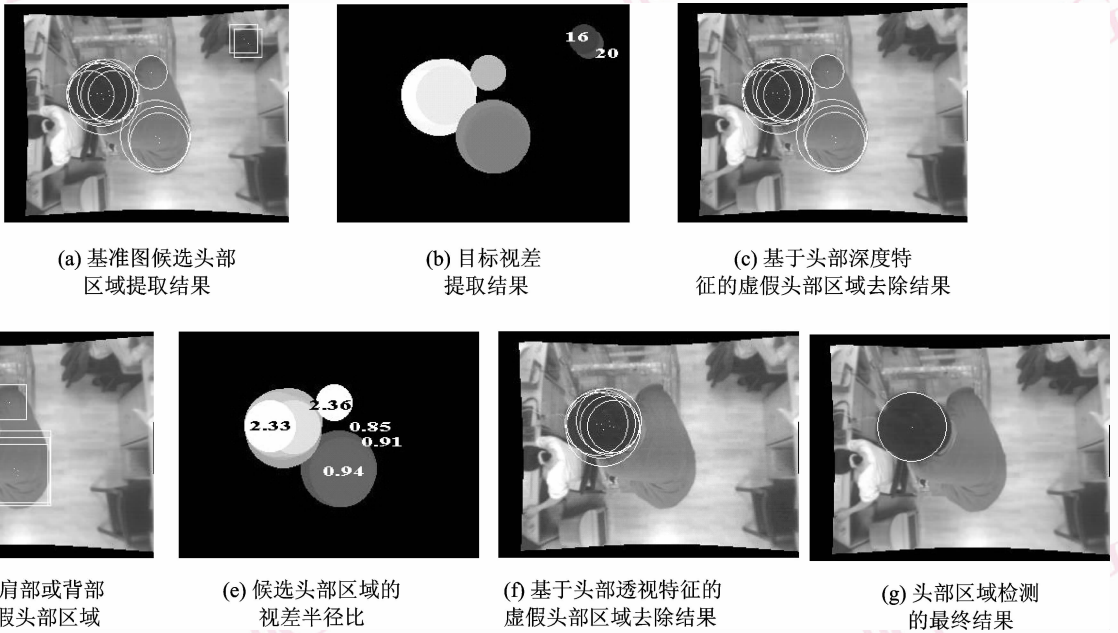


图 6 利用候选头部区域的深度与透视特征进行虚假候选头部区域去除的实例

Fig. 6 The example of the false head region elimination based on the candidate head region's depth and perspective feature

### 5 算法性能测试与实验结果

性能测试将包含算法运行时间测试和视差提取精度测试两部分。性能测试所采用的平台为 Pentium IV 3.0 GHz, 512 M 内存, 开发工具为 Visual C++ 6.0, 代码均未进行任何优化。为了衡量目标区域匹配法的性能, 文献[8]提出的基于区域致密视差的区域视差直方图法将作为比较的对象。性能测试

所采用的图像为 50 幅具有较强代表性的包含各类复杂情况的用于行人检测与跟踪的俯视图像, 示例可见图 7, 其中, 头部区域已采用文献[3]中的算法给出并采用手工方式去除了虚假候选头部区域。

在算法性能比较过程中, 由于候选头部区域提取需要占用一部分时间, 因此两种算法的耗时都由两部分构成, 即目标区域获取耗时  $t_p$  和匹配对应搜索耗时  $t_c$ , 算法的总耗时为  $t_t = t_p + t_c$ 。另外, 为了比较两种算法的视差提取精度, 图像中所有头部区域

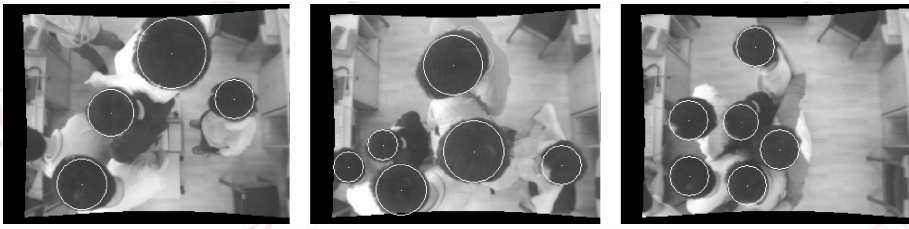


图7 用于算法性能测试的包含头部区域提取结果的图像示例

Fig. 7 The example of the image including the head region extraction results used in the algorithm performance test

的真实视差将借助行人的身高  $h$ 、双目图像采集设备距离地面的高度  $H$  以及视差  $d$  与深度  $Z$  的基本对应关系经大量不同高度的特征点进行双曲线拟合给出。两种算法在 50 幅图像中用于提取候选头部区域的平均耗时  $\bar{t}_p$ 、匹配对应搜索平均耗时  $\bar{t}_c$ 、总耗时均值  $\bar{t}_t = \bar{t}_p + \bar{t}_c$  以及所有头部区域的视差提取结果相对于视差真实值的相对误差的均值  $\bar{\delta}_d$  均由表 1 给出。

表 1 区域视差直方图法与目标区域匹配法的性能比较

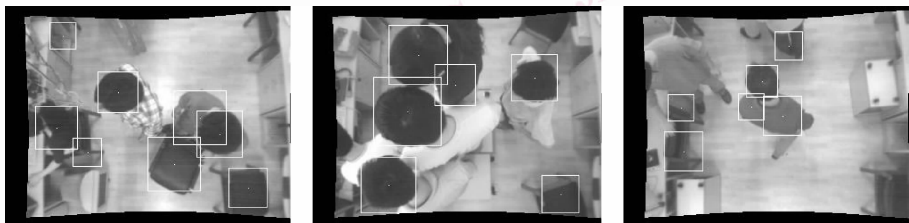
Tab. 1 The performance comparison between the algorithm of region disparity histogram based on block matching and the algorithm of target region matching

| 算法             | $\bar{t}_p$ (ms) | $\bar{t}_c$ (ms) | $\bar{t}_t$ (ms) | $\bar{\delta}_d$ (pixel) |
|----------------|------------------|------------------|------------------|--------------------------|
| 基于块匹配的区域视差直方图法 | 171.305          | 4 145.357        | 4 316.462        | 12.07%                   |
| 目标区域匹配法        | 171.305          | 85.264           | 256.569          | 4.12%                    |

法的耗时仅为区域视差直方图法的 2%，而其获取的头部区域视差的精度却高出区域视差直方图法很多，这使得目标匹配法比基于块匹配的致密视差获取方法更适用于对视差提取具有较高精度要求的嵌入式系统的实时应用。

本文所采用的实验图像分为两类：一类为用于算法测试的拍摄于室内的仿真图像，图像包含各种易与真实头部区域混淆的虚假头部区域，同时也包含多个行人处于不同高度的复杂情况；另一类为应用于超市出入客流检测的现场图像序列。两类图像（序列）的采集过程中，双目图像采集系统均安装于距地面近 3 m 高的房门顶端，垂直地面拍摄。图像采集的分辨率为  $320 \times 240$ ，现场图像序列的采集速率为 15 fps，所采用的镜头焦距为 4 mm，基线长度为 18.9 mm。部分具有代表性的仿真图像的头部区域检测结果可见图 8 (b)，为了便于与基于头部 2D 特征提取的头部检测方法进行比较，图 8 (a) 同时给出了文献[2]提出的头部检测方法的检测结果。基

从表 1 的比较结果中可以看出，目标区域匹配



(a)采用文献[2]方法的头部检测结果



(b)利用本文方法的头部检测结果

图 8 仿真实验结果

Fig. 8 The experiment results

于本文提出的头部特征提取方法的现场图像序列的客流检测结果可见表 2,同样为了便于比较,基于文献[2]提出的头部检测方法的相同现场图像序列的客流检测结果在表 2 中一同给出。从实验结果中可以看出,由于采用本文方法获取的头部深度和透视特征有效地去除了绝大部分的虚假头部区域,因而与基于头部 2D 特征提取的头部检测方法相比,头部检测的准确率获得了大幅的提升。

表 2 现场实验结果

Tab. 2 The field test results

| 序列 | 帧数    | 进/出<br>行人人数 | 客流检测值(进/出)  |          | 平均准确率       |          |
|----|-------|-------------|-------------|----------|-------------|----------|
|    |       |             | 文献[2]<br>算法 | 本文<br>算法 | 文献[2]<br>算法 | 本文<br>算法 |
| 1  | 5 216 | 89/91       | 101/107     | 83/87    | 84.47%      | 94.43%   |
| 2  | 1 704 | 37/34       | 44/39       | 35/32    | 83.19%      | 94.36%   |

### 6 结 论

着重讲述了基于目标区域匹配的头部特征提取方法及其在俯视图行人头部检测中的应用。为了满足实时性与准确率要求,不同于通常采用的基于块匹配的全局致密视差获取方案,提出了一种基于“先分割后匹配”思想的单、双目结合的新方法,即首先采用单目视觉处理方法获取目标区域,然后直接对目标区域进行匹配对应搜索以获取目标区域的视差,再利用目标区域视差构成的区域深度和透视特征对虚假目标区域进行去除。该方法为立体视觉技术在嵌入式系统中的实时应用提供了一种新思路。实验结果也表明该方法具有很高的头部检测准

确率,有效地解决了基于头部 2D 特征提取的头部检测方法中存在的一系列问题。

### 参考文献 (References)

- 1 Bartolini F, Cappellini V, Mecocci A. Counting people getting in and out of a bus by real-time image-sequence processing[J]. *Image and Vision Computing*, 1994, **12**(1): 36-41.
- 2 Zhang X W, Sexton G. Automatic human head location for pedestrian counting[A]. In: *Proceedings of the 6th International Conference on Image Processing and Its Applications*[C], Dublin, Ireland, 1997: **2**: 535-540.
- 3 Yu Hai-bin, Liu Ji-lin. A vision-based method to estimate passenger flow in bus[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2008, **13**(4): 716-722. [于海滨, 刘济林. 应用于公交客流统计的机器视觉方法[J]. *中国图象图形学报*, 2008, **13**(4): 716-722.]
- 4 Lin S F, Chen J Y, Chao H X. Estimation of number of people in crowded scenes using perspective transformation [J]. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 2001, **31**(6): 645-654.
- 5 Beymer D. Person counting using stereo[A]. In: *Proceedings of Workshop on Human Motion* [C], Austin, Texas, USA, 2000: 127-133.
- 6 Narayanan K, Kumaran R, Gowdy J. Stereo-based elliptical head tracking [A]. In: *Proceedings of European Signal Processing Conference* [C], Antalya, Turkey, 2005: 1565-1568.
- 7 Huang X Y, Li L Y, Sim T. Stereo-based human head detection from crowd scenes [A]. In: *Proceedings of International Conference on Image Processing*[C], Singapore, 2004: 1353-1356.
- 8 Luo R J, Guo Y. Real-time stereo tracking of multiple moving heads [A]. In: *Proceedings of IEEE ICCV Workshop on Recognition, Analysis, and Tracking of Faces and Gestures in Real-Time Systems* [C], Vancouver, BC, Canada, 2001: 55-60.
- 9 Brown M, Burschka D, Hager G. Advances in computational stereo [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2003, **25**(8): 993-1008.