

基于视频多目标跟踪的高度测量算法

姜明新^{1,2}, 王培昌², 王洪玉¹

(1. 大连理工大学信息与通信工程学院, 辽宁大连 116024; 2. 大连民族学院信息与通信工程学院, 辽宁大连 116600)

摘要: 本文提出了一种基于视频多目标跟踪的高度测量算法. 首先, 采用码本模型检测前景, 利用图割理论实现对多目标的跟踪. 然后, 提取每一帧中目标的头部特征点和脚部特征点, 根据投影几何的约束关系计算每个目标的高度. 最后, 融合多帧的测量结果进行数据优化. 本文提出的算法不需要对相机进行完全标定, 只需计算摄像机的灭点和地平面的灭线, 降低了计算的复杂度. 实验结果表明, 本文提出的算法具有较高的测量精度, 对遮挡和运动状态变化具有较强的鲁棒性, 同时, 能够满足实时性要求.

关键词: 高度测量; 视频多目标跟踪; 投影几何约束; 图割

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2015)03-0591-06

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn> **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2015.03.026

Height Estimation Algorithm Based on Visual Multi-Object Tracking

JIANG Ming-xin^{1,2}, WANG Pei-chang², WANG Hong-yu¹

(1. School of Information and Communication Engineering, Dalian University of Technology, Dalian, Liaoning 116024, China;

2. School of Information and Communication Engineering, Dalian Nationalities University, Dalian, Liaoning 116600, China)

Abstract: In this paper, we propose a height estimation algorithm based on visual multi-object tracking. Firstly, the foreground is detected by using codebook modeling algorithm, and multi-object tracking is performed by using graph cuts. Then, the head feature points and the feet feature points of objects are extracted in each frame, and the height of every object is computed according to projective geometry constraint. Finally, data optimization is performed by fusing multi-frame measurement results. This method does not require full camera calibration, but require computing the vanishing point of camera and the vanishing line of ground. Using this method, the computational complexity can be reduced. The experimental results demonstrate that our method has higher measurement accuracy, and is robust to occlusion and the changing of motion state. Meanwhile, it can also achieve real-time performance.

Key words: height estimation; visual multi-object tracking; projective geometry constraint; graph cuts.

1 引言

基于视频的人体高度测量技术是计算机视觉领域的一门新兴技术, 在智能视频监控、三维重建和虚拟现实等领域都有着广泛的应用. 人体高度是识别人体的重要参数之一, 因此, 近年来基于视频的人体高度测量受到了越来越多国内外研究人员的关注^[1-5].

现有的单目人体高度测量方法多数是基于单幅静止图像的^[6,7], 这些方法对测量环境和被测目标都有较高的要求, 比如: 被测量的人必须保持静止直立等. 随着智能视频监控系统的广泛应用, 基于静止图像的人体高度测量已经无法满足人们的实际需求.

还有一部分基于单目视频的高度测量方法是在摄像机标定的基础上进行的^[2,8,9], 而摄像机标定需要计算地平面和像平面之间的单应性矩阵、摄像机的投影矩阵、摄像机的内外参数等, 过程相对来说比较繁琐. 文献[2]在摄像机标定的基础上实现基于视频的人体高度测量, 该算法采用混合高斯模型检测运动目标, 利用目标检测的结果来提取目标的头脚特征点, 进而实现高度测量, 该算法只能测量单目标的高度. 这种方法同样过于依赖目标检测的结果, 会在一定程度上影响高度测量的准确性.

基于以上分析, 本文提出一种基于单目视频序列的多目标高度测量算法. 首先, 采用码本模型进行对背景

进行建模,通过背景减除法获得运动目标信息,然后,利用图割理论对多个运动目标进行轮廓跟踪.接下来,计算灭点和地平面的灭线,根据高度测量的几何成像原理对多个目标的高度进行测量.最后,融合多帧的测量结果,获得多目标的高度值.本算法不需要对摄像机进行完全标定,只需要计算出灭点和地平面的灭线即可,降低了计算的复杂度;利用图割算法实现对多目标的轮廓跟踪,降低了对目标检测的依赖度;融合多帧测量结果,提高了算法的准确度.实验结果表明,本算法对遮挡和目标运动状态的变化具有较强的鲁棒性,同时,可以满足准确性和实时性的要求.

2 基于图割理论的多目标跟踪算法

本文采用图割理论对多目标进行跟踪^[10,12].在多目标跟踪的问题中,首先,采用背景减除法进行运动目标检测,根据目标检测结果给像素点赋予初始标签.然后,将每一帧图像映射成一个无向网络图,利用多目标的运动信息和颜色信息,建立一个关于多目标标签的能量函数.最后,利用最大流/最小割算法实现能量函数的最小化,从而将不同的像素赋予不同的标签,实现基于单目视频序列的多目标轮廓跟踪.

2.1 运动目标检测

本文采用码本模型对背景进行建模,码本模型是 Kim K^[13]提出,该模型根据每个像素点连续采样值的颜色距离和亮度范围为每个像素点生成一个码本,根据采样值的变化情况,每个码本包含的码字数不同.训练背景,得到码本背景模型后,运用减背景的运动目标检测技术,根据像素点的采样值与其码本中的各个码字的匹配情况来确定该像素是否为前景点.根据运动目标检测结果给像素点赋予初始标签.

2.2 构建网络图

假设 t 时刻共有 k_t 个目标被跟踪,其中第 i 个目标用 \mathbf{O}_i^t 表示,在视频图像中,每个目标 \mathbf{O}_i^t 可以看做是多个像素组成的模板.假设 t 时刻共有 m_t 个观测,第 j 个观测用 M_j^t 表示, M_j^t 也是一些像素组成的集合.

假设 t 时刻的无向网络图为 $G_t = \langle V_t, E_t \rangle$,其中, V_t 为 t 时刻的点集, E_t 为 t 时刻的边集.点集 V_t 由两个子集组成,第一个子集是 N 个像素的集合 P ,第二个子集是观测子集,每一个观测 M_j^t 对应一个节点 n_j^t ,我们称这些节点为观测节点.因此,点集 $V_t = P \cup \{n_j^t, j = 1, 2, \dots, m_t\}$,边集 E_t 也可以分解为 $E_t = E_P \cup E_{M_j^t}, j = 1, 2, \dots, m_t$.想要将目标 i 从视频图像中分割出来,就意味着给图中的每个像素 p 赋予标签值 $f_{p,t}^i$,由于我们针对每一个目标构建一个无向网络图, $f_{p,t}^i$ 对于一个像素点来说不是该目标就是背景.想要将观测和目标建立起联系,

就意味着给每一个观察节点 n_j^t 赋予二值标签 $f_{p,t}^i$. t 时刻,所有的节点标签值组成一个标签值集合 L_t^i .

2.3 建立能量方程

假设 t 时刻图像中的像素 p 可以用特征向量 $\mathbf{z}_t(p)$ 来描述:

$$\mathbf{z}_t(p) = (\mathbf{z}_t^C(p), \mathbf{z}_t^M(p)) \quad (1)$$

其中, $\mathbf{z}_t^C(p)$ 表示像素点的颜色信息,是一个 YUV 颜色空间的 3 维向量. $\mathbf{z}_t^M(p)$ 表示像素点的运动信息,是一个 2 维的光流向量.针对目标 i 来说,视频图像中的像素点不属于该目标,则可以看作背景,我们用包含运动信息和颜色信息的概率分布来表示像素点属于目标还是背景.

假设 t 时刻属于目标 i 的像素点的概率分布用 l_i^t 来表示,对应的特征向量为 $\{\mathbf{z}_t(p)\}_{s \in \mathbf{O}_i^t}$.由于运动信息和颜色信息是相互独立的,所以 l_i^t 可以分解为 $l_i^{t,C}$ (对应的特征向量为 $\{\mathbf{z}_t^C(p)\}_{s \in \mathbf{O}_i^t}$)和 $l_i^{t,M}$ (对应的特征向量为 $\{\mathbf{z}_t^M(p)\}_{s \in \mathbf{O}_i^t}$),属于目标 i 的像素点的概率分布 l_i^t 的数学表达式为:

$$l_i^t(\mathbf{z}_t(p)) = l_i^{t,C}(\mathbf{z}_t^C(p)) l_i^{t,M}(\mathbf{z}_t^M(p)) \quad (2)$$

同理, t 时刻属于背景的像素点的概率分布 q_i^t (对应的特征向量为 $\{\mathbf{z}_t(p)\}_{p \in P \setminus \mathbf{O}_i^t}$)可以表示为:

$$q_i^t(\mathbf{z}_t(p)) = q_i^{t,C}(\mathbf{z}_t^C(p)) q_i^{t,M}(\mathbf{z}_t^M(p)) \quad (3)$$

目标跟踪的任务是根据 $t-1$ 时刻的目标 \mathbf{O}_{i-1}^t 利用图割算法得到 t 时刻的目标 \mathbf{O}_i^t .

如果 t 时刻共有 m_t 个观测,第 j 个观测用 M_j^t 表示, M_j^t 也可以看做是一些像素组成的集合.假设 t 时刻属于观测 j 的像素点的概率分布用 ρ_j^t 来表示,则 ρ_j^t 可以用数学表达式表达为:

$$\rho_j^t(\mathbf{z}_t(p)) = \rho_j^{t,C}(\mathbf{z}_t^C(p)) \rho_j^{t,M}(\mathbf{z}_t^M(p)) \quad (4)$$

假设由 $t-1$ 时刻的目标 \mathbf{O}_{i-1}^t 预测的 t 时刻的目标为 $\mathbf{O}_{i|t-1}^t \subset P$,用 d_{i-1}^t 表示 $t-1$ 时刻目标 i 中所有像素点光流向量的均值,即:

$$d_{i-1}^t = \frac{\sum_{s \in \mathbf{O}_{i-1}^t} \mathbf{z}_{i-1}^M(p)}{|\mathbf{O}_{i-1}^t|} \quad (5)$$

\mathbf{O}_{i-1}^t 中的每一个像素利用平均光流向量可以预测得到 t 时刻的目标为 $\mathbf{O}_{i|t-1}^t$:

$$\mathbf{O}_{i|t-1}^t = \{p + d_{i-1}^t, p \in \mathbf{O}_{i-1}^t\} \quad (6)$$

利用 $t-1$ 时刻的预测 $\mathbf{O}_{i|t-1}^t$, t 时刻得到的新的观测值,目标像素的概率分布建立能量方程,通过最大流/最小割进行能量最小化,实现对多目标的跟踪.

t 时刻,针对目标 i 建立能量函数,能量函数由数据项和平滑项组成:

$$E_t(L_t) = \sum_{p \in V_t} R_{p,t}(f_{p,t}) + \sum_{p,q \in E_t} B_{\{p,q\},t}(1 - \delta(f_{p,t}, f_{q,t})) \quad (7)$$

其中,数据项为:

$$\sum_{p \in V_t} R_{p,t}(f_{p,t}) = \sum_{p \in O_{t-1}} -\ln(l_1(p, f_{p,t})) + \alpha \sum_{j=1}^{m_t} d_2(j, f_{p,t}) \quad (8)$$

式(8)中,利用 $t-1$ 时刻的跟踪结果得到的 t 时刻预测区域的函数 $l_1(p, f_p)$ 的表达式为:

$$l_1(p, f_p) = \begin{cases} l_{t-1}(z_t(p)), & \text{若 } f_p = \text{ob} \\ q_{t-1}(z_t(p)), & \text{若 } f_p = \text{bg} \end{cases} \quad (9)$$

其中,“ob”表示像素的标签值为目标,“bg”表示像素的标签值为背景.

式(8)中, $d_2(j, f_p)$ 的数学表达式可以表示为:

$$d_2(j, f_p) = \begin{cases} \text{KL}(\rho_t^j, l_{t-1}), & \text{若 } f_p = \text{ob} \\ \text{KL}(\rho_t^j, q_{t-1}), & \text{若 } f_p = \text{bg} \end{cases} \quad (10)$$

为了估计 $t-1$ 时刻的目标跟踪结果 i 和 t 时刻的观测 j 之间的相似度,我们利用式(10)计算 $t-1$ 时刻目标 i 的概率分布 l_{t-1}^i 和 t 时刻观测 j 的概率分布 ρ_t^j 之间的距离,本文采用 Kullback-Leibler 距离.

式(8)中的常数 α ,这个常数是控制观测对数据项的影响程度的,本文中,令 α 等于观测 M_t^i 的像素数目.

式(7)中的平滑项 $B_{\{p,q\},t}$ 的设计是基于相邻像素 $\{p, q\}$ 的颜色梯度信息,具体表达式为:

$$B_{\{p,q\},t} = \lambda_1 \frac{1}{\text{dist}(p, q)} \exp\left(-\frac{\|z_t^C(p) - z_t^C(q)\|^2}{\sigma_T^2}\right) \quad (11)$$

其中 $\sigma_T = 4 \cdot \langle (z_t^C(p) - z_t^C(q))^2 \rangle$, 式中的 $\langle \cdot \rangle$ 表示目标区域的均值.

能量方程建立后,利用 α 扩展法进行最小化,求得像素的标签值,可得:

$$\hat{L}_t^i = \arg \min_{L_t^i} E_t^i(L_t^i) \quad (12)$$

则 t 时刻的目标 i 为:

$$O_t^i = \{p \in P, \hat{f}_{p,t} = \text{ob}\} \quad (13)$$

3 视频高度测量的几何原理

摄像机的基本成像模型,通常称为基本针孔模型,这种模型在数学上是三维空间到二维空间的中心投影,投影成像示意图如图 1 所示,图中用大写字母表示三维空间中的点,相应的小写字母表示该点在像平面中的成像点.

当一个人双腿闭合直立时,可以近似的看做一条垂直于地平面的线段. H 表示被测量目标的头顶点, F 表示该目标的脚在地平面上的特征点,连接 H 和 F 的

线段记为: HF .

h 和 f 分别表示 H 和 F 在像平面中的成像点,因此,线段 hf 为 HF 在像平面中成的像,任意两点间距离用 $d(\cdot)$ 表示.

为了说明基于单目视频序列的目标高度测量的原理,我们给出相关的几何示意图,如图 2 所示. 图 2(a) 中, H_1F_1 表示我们要测量的目标, H_2F_2 表示我们预先选定的参考高度,参考高度很容易获得,比如:可以在监控场景中建筑物上选定一个预先测量好高度的点,也可以选择任意已知高度的垂直于地面的物体.

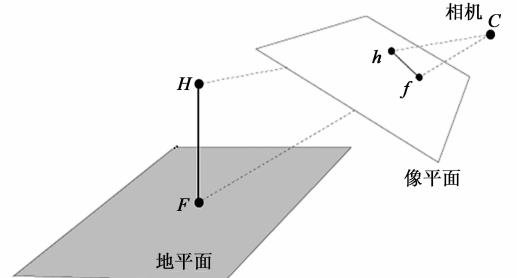
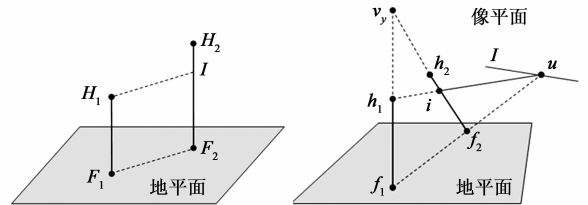


图1 投影成像示意图



(a) 3D空间几何关系示意图 (b) 2D像平面几何关系示意图
图2 高度测量的几何关系示意图

首先,将待测目标 H_1F_1 投射到参考高度 H_2F_2 上,从点 H_1 向 H_2F_2 引直线,使其平行于线段 F_1F_2 ,交点为 I . 由于线段 H_1F_1, H_2F_2 均垂直于地平面,所以 H_1F_1 平行于 H_2F_2 ,可知: $d(I, F_2) = d(H_1, F_1)$. 该投射过程在像平面中相应的示意图如图 2(b) 所示,图中 v_y 表示垂直于地平面方向的灭点, l 表示地平面的灭线.

连接 f_1 和 f_2 使其与灭线 l 相交于点 u , 连接 h_1 和 u , 与 $v_y f_2$ 相交于点 i , 根据灭线灭点的性质^[14~16]可知, $h_1 f_1$ 和 $h_2 f_2$ 在空间中对应的直线是平行的, $h_1 i$ 和 $f_1 f_2$ 在空间中对应的线段也是平行的, 因此 i 为 I 在像平面上的投影点. 这样,我们在像平面获得了 4 个共线点, 分别是: v_y, h_2, i, f_2 .

根据摄影几何中 4 个共线点的交比(cross ratio)公式^[14], 可得:

$$r = \frac{d(h_2, f_2)}{d(i, f_2)} = \frac{d(h_2 f_2) d(v, i)}{d(v, h_2) d(i, f_2)} \quad (14)$$

根据 2D 像平面和 3D 空间的对应关系可知: $\frac{d(h_2, f_2)}{d(i, f_2)} = \frac{d(H_2, F_2)}{d(I, F_2)}$, 又因为 $d(I, F_2) = d(H_1, F_1)$,

可得:

$$\frac{d(H_2, F_2)}{d(H_1, F_1)} = \frac{d(h_2, f_2)d(v, i)}{d(v, h_2)d(i, f_2)} \quad (15)$$

由此可以看出,如果我们能够估计出摄像机垂直于地平面方向的灭点 V_y 和地平面的灭线 l ,就可以通过式(15)计算出待测目标的高度 $d(H_1, F_1)$.

4 计算灭点和地平面的灭线

由上一节的分析可知,想要测量运动目标的高度,我们需要计算出垂直于地平面方向的灭点 V_y 和地平面的灭线 l .如果视频监控场景中有建筑物的信息,我们可以利用建筑物信息来计算垂直方向的灭点 V_y 和地平面的灭线 l [17,18].

通过对灭点灭线概念的理解可知,空间中垂直于地平面方向的一组平行线在像平面中的交点即为垂直方向上的灭点 V_y .同理,地平面上 X 方向的一组平行线在像平面中的交点即为 X 方向上的灭点 V_x , Z 方向的一组平行线在像平面中的交点即为 Z 方向上的灭点 V_z ,连接 V_x 和 V_z 的直线,即为地平面的灭线 l .

利用建筑物的信息计算灭点和灭线的方法大致可以归纳为以下几个步骤:

步骤 1 利用 Canny 算子提取图像中的边缘信息.

步骤 2 利用 Hough 变换从边缘信息中提取出垂直与地平面方向的一组平行线在像平面中对应的直线.

步骤 3 利用式(16)求出的垂直方向的灭点 V_y :

$$V_y = \arg \min \sum_{i=1}^N \left(\frac{|w_i^T h_i - b_i|}{(w_i^T \sum h_i w_i)^{1/2}} + \frac{|w_i^T f_i - b_i|}{(w_i^T \sum f_i w_i)^{1/2}} \right) \quad (16)$$

同理,可以计算出 X 方向上的灭点 V_x , Z 方向上的灭点 V_z ,连接 V_x 和 V_z 的直线即可得出地平面的灭线 l .

5 基于视频序列的多目标高度测量

5.1 基于单帧图像的多目标高度测量

利用第 3 节的方法获得多目标跟踪结果后,我们需要提取运动目标在每一帧图像中的头脚特征点.首先,计算目标跟踪框的主轴,利用文献[18]中的方法提取运动目标的头部特征点.由于运动目标的头脚特征点和垂直方向的灭点应该在同一条直线上.因此,我们取连接头部特征点和垂直方向灭点的直线与目标跟踪框的交点作为目标的脚部特征点.

获得运动目标的头脚特征点后,就可以得到 $h_1 f_1$,在结合预先选好的参考高度 $h_2 f_2$,即可利用第 1 节中介绍的几何原理来计算每一帧中多目标的高度值.

5.2 融合多帧视频序列的测量结果

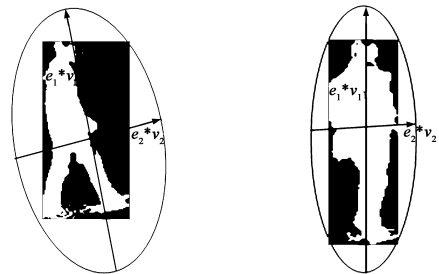
监控视频中运动目标的高度是随着运动状态的改

变而改变的,比如:人在行走过程中双腿闭合和分开时,高度会随之发生变化.运动目标下蹲或者部分进入监控画面时的高度和实际身高的差距也较大,可以通过设置阈值将这部分测量结果作为外点排除掉.如图 3 所示,其中,红色线表示头部特征点和脚部特征点的连线.通常情况下,当双腿闭合时测得的高度值更接近目标的实际身高.所以,我们提取视频序列中目标双腿闭合时的视频帧,然后融合这些视频帧的测量结果来确定运动目标的实际高度.



图3 多帧高度测量结果

下面阐述提取运动目标双腿闭合视频帧的过程:假设第 t 帧第 i 个目标的跟踪结果可以表示为矩阵 $B_i^t(m, n)$, $B_i^t(m, n)$ 的协方差矩阵为 $C_i^t(m, n)$,计算 $C_i^t(m, n)$ 垂直方向和水平方向的特征向量特征值 $v_{i,1}^t$ 和 $v_{i,2}^t$,如图 4 所示.



(a) 双腿分开时的特征值 (b) 双腿闭合时的特征值

图4 计算目标协方差矩阵特征值的示意图

令 $q_i^t = v_{i,2}^t / v_{i,1}^t$,人在行走过程中,双腿的闭合和分开是接近周期性变化的,在每个运动周期中, q_i^t 的值最小时即是双腿闭合的状态.

6 实验结果及分析

为了说明本文提出的基于多目标跟踪的人体高度测量方法的有效性和鲁棒性,我们针对多组实验视频进行多目标高度测量,鉴于篇幅限制,本节只列举其中一组测试视频的测量结果.本文算法实现基于 windows 7 操作系统,采用 Visual Studio 2010 和 opencv2.2 作为软件平台,计算机配置为 Pentium (R) Dual-Core CPU 2.0GHz.

图 5 为测试视频 1 的多目标高度测量结果,该视频总帧数为 552 帧,每帧图像的分辨率为 320×240 .

其中,白色的标示线为参考高度,跟踪框中的黄色

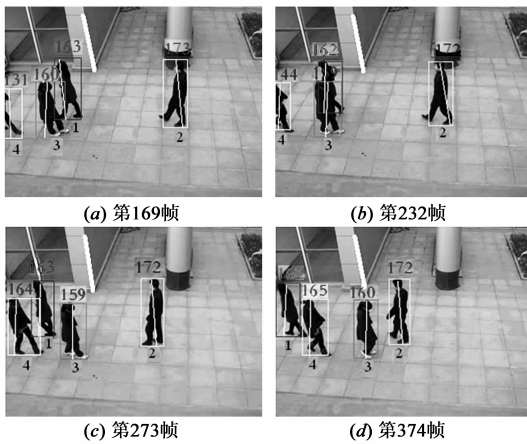


图5 测试视频1多目标高度测量的实验结果

标示线为头部特征点和脚部特征点的连线。从图5的实验结果可以看出,本文提出的算法对遮挡具有较强的鲁棒性。本文对测试视频1中的每帧图像均进行了多目标高度测量,平均每帧处理时间大约为0.07s,可以达到实时性要求。

表1为测试视频1中的多目标高度测量值统计表。由于目标刚进入监控画面时,检测到的前景不完全,与实际身高相差较大,所以造成了平均测量值偏小。表1中的第4列和第5列为排除外点后(刚进入监控画面时的测量值等),提取目标双腿闭合的视频帧,计算出来的平均值和方差。

表1 测试视频1的测量值统计表

运动目标	实际身高(cm)	所有帧的平均测量值(cm)	双腿闭合时的平均测量值(cm)	双腿闭合时的测量方差
目标1	162.0	160.1	162.3	0.41
目标2	172.5	170.2	172.9	0.41
目标3	159.5	157.5	159.8	0.45
目标4	165.0	162.9	165.4	0.43

7 结论

本文利用码本模型检测前景,采用图割理论实现对多目标的跟踪,利用投影几何的约束关系测量多目标的高度。由于本文提出的基于多目标跟踪的人体高度测量算法不完全依赖前景检测,所以,对多目标之间的遮挡和运动状态的变化,具有较强的鲁棒性。通过排除异常状态时的测量值,提取双腿闭合时的高度值,融合多帧测量结果进行数据优化,对测量精度有很大程度的提高。由于本算法不需要对相机进行完全标定,所以在一定程度上降低了算法的复杂度。

参考文献

[1] Shao J, Zhou S K, Chellappa R. Robust height estimation of

moving objects from uncalibrated videos[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2010, 19(8): 2221 – 2232.

[2] 董秋雷, 吴毅红, 胡占义. 基于视频的实时自动人体高度测量[J]. 自动化学报, 2009, 35(2): 137 – 144.

Dong Q L, Wu Y H, Hu Zh Y. Video-based real-time automatic measurement for the height[J]. Acta Automatica Sinica, 2009, 35(2): 137 – 144. (in Chinese)

[3] Chellappa R, Turaga P K. Recent advances in age and height estimation from still images and video[A]. IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition[C]. Santa Barbara, California: IEEE, 2011. 91 – 96.

[4] Guo F, Chellappa R. Video metrology using a single camera[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010, 32(7): 1329 – 1335.

[5] 魏玮, 吕艳, 石可红. 监控视频关键帧的人体高度测量算法[J]. 计算机系统应用, 2012, 21(6): 195 – 198.

Wei W, Lv Y, Shi K H. Body height measurement algorithm in key frame from surveillance video[J]. Computer Systems & Applications, 2012, 21(6): 195 – 198. (in Chinese)

[6] Benabdelkader C, Yacoob Y. Statistical body height estimation from a single image[A]. IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition[C]. Amsterdam, Netherlands: IEEE, 2008. 1 – 7.

[7] Chen Z, Pears N, Liang B. A method of visual metrology from uncalibrated images[J]. Pattern Recognition Letters, 2006, 27(13): 1447 – 1456.

[8] Momeni-K M, Diamantas S Ch, Ruggiero F, Siciliano B. Height estimation from a single camera view[A]. Proceedings of the International Conference on Computer Vision Theory and Applications (Volume 1)[C]. Rome, Italy: SciTe Press, 2012. 358 – 364.

[9] Park S W, Kim T, Choi J S. Robust estimation of heights of moving people using a single camera[A]. Proceedings of the International Conference on IT Convergence and Security[C]. Pyeong Chang, Korea: Springer, 2012. 389 – 405.

[10] Boykov Y, Veksler O, Zabih R. Fast approximate energy minimization via graph cuts[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23(11): 1222 – 1239.

[11] Papadakis N, Bugeau A. Tracking with Occlusions via Graph Cuts[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2011, 33(1): 144 – 157.

[12] Boykov Y, Kolmogorov V. An experimental comparison of min-cut/max-flow algorithms for energy minimization in vision[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26(9): 1124 – 1137.

[13] Kim K, Chalidabhongse T H, Harwood D, Davis L. Real-Time foreground-background segmentation using codebook model[J]. Real-Time Imaging, 2005, 11(3): 167 – 256.

- [14] Criminisi A, Reid I, Zisserman A. Single view metrology[J]. International Journal Computer Vision, 2000, 40(2): 123 – 148.
- [15] 吴朝福 著. 计算机视觉中的数学方法[M]: 北京: 科学出版社, 2008. 68 – 80.
- [16] Hartley R, Zisserman A. Multipleview geometry in computer vision[M]. Second Edition. Cambridge: Cambridge University Press, 2003. 363 – 406.
- [17] Rother C. A new approach for vanishing point detection in architectural environments[J]. Image and Vision Computing, 2002, 20(9): 647 – 655.
- [18] Lv F, Zhao T, Nevatia R. Camera calibration from video of a walking human[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2006, 28(9): 1513 – 1518.

作者简介



姜明新 女, 1979 年出生于黑龙江省. 博士, 大连民族学院信息与通信工程学院讲师. 研究方向为计算机视觉、智能视频监控.

E-mail: jmx@dlnu.edu.cn



王洪玉 男, 1968 年出生. 大连理工大学信息与通信工程学院教授, 博士生导师. 研究方向为无线传感器网络、计算机视觉.



王培昌 男, 1955 年出生于辽宁省大连市. 博士, 大连民族学院信息与通信工程学院教授. 研究方向为计算机视觉、计算机控制与检测技术.

E-mail: wpc@dlnu.edu.cn