

## 基于全方位视觉的自动门安全和节能检测技术

林璐璐, 姜荣剑, 徐海涛, 汤一平\*

(浙江工业大学 信息工程学院, 杭州 310023)

(\* 通信作者电子邮箱 typ@zjut.edu.cn)

**摘 要:**针对自动门运行过程中的效率及安全问题,提出了一种基于全方位视觉传感器(ODVS)的自动门安全和节能智能检测技术。首先,采用 ODVS 采集自动门周边的 360°全景图,并对全景图像按检测要求进行预处理;接着,采用一种运动历史/能量图像(MHoEI)算法来检测和跟踪运动目标前景对象;然后,根据前景对象的运动方向和空间位置等信息来分析行人的行为;最后,根据行人的行为和状态来控制自动门的开启和关闭,以达到自动门安全性、节能性和舒适性的控制目标。实验结果表明,该检测方法能有效地识别自动门周围的行人行为,有助于避免各种自动门安全隐患发生,同时能高精度统计出进出自动门的人流量。

**关键词:**全方位视觉传感器;自动门安全控制;运动历史/能量图像算法;行为检测;人流量统计

**中图分类号:** TP391.41 **文献标志码:** A

### Safety and energy saving detection technology of automatic door based on omni-directional vision sensor

LIN Lulu, JIANG Rongjian, XU Haitao, TANG Yiping\*

(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou Zhejiang 310028, China)

**Abstract:** Concerning the efficiency and security issues of automatic door, an safety and energy saving detection technology of automatic door based on Omni-Directional Vision Sensor (ODVS) was proposed. Firstly, on-site 360° panorama image around automatic door was collected timely by ODVS and preprocessed according to the detection requirements. Secondly, moving target was detected and tracked through Motion History or Energy Images (MHoeI) algorithm. Then, the behavior of pedestrian was analyzed according to the direction of motion and spatial position of the foreground object. Finally, in order to make automatic door secure, energy-saving and comfortable, the automatic door was controlled to open or close according to the behavior and state of pedestrian. At the same time, the number of people passing through the automatic door can also be worked out accurately. This technology can be directly used in intelligent monitoring and business survey. The experimental results indicate that the detection technology of automatic door can recognize the behavior of pedestrian around the automatic door, avoid the security risks of automatic door and improve the accuracy of people counting.

**Key words:** Omni-Directional Vision Sensor (ODVS); safety control of automatic door; Motion History or Energy Image (MHoeI) algorithm; behavior detection; people counting

## 0 引言

自动门因使用方便、外形美观、有利于建筑节能等优点被广泛应用于办公大楼、店面、银行、酒店等建筑物的出入口。随着自动门的日益普及,其中的安全隐患问题也逐渐显露出来。近年来世界各地因旋转自动门已发生了多起安全事故,造成了惨不忍睹的人员伤亡和巨大的经济损失,其中受伤人员主要集中在老人和小孩。

感知行人的传感器是自动门系统的核心部件,目前较为流行的自动门人体感知技术主要有红外传感器<sup>[1]</sup>和微波传感器。而现有的红外传感器获取的信息量较少,无法检测出行人的运动方向和运动状态;微波雷达技术虽然在某些方面克服了红外技术的缺点,但无法实现人流量统计的功能。总

结目前传统自动门传感器和检测方法主要存在的问题:1)检测内容单一,只能实现运动状态检测或人流量统计的其中某一项功能;2)检测范围是针对成年人设计的,属于一定高度的线感知检测,因此存在着检测死角,对于儿童或者摔倒在自动门周围的行人存在着较大的安全隐患;3)无法理解自动门周边区域行人的状态和行为,使得路过自动门的行人也会造成自动门的误动作<sup>[2]</sup>。随着智能建筑技术的发展,人们对于自动门的准确性、安全性及智能化方面有了更高的要求<sup>[3]</sup>。文献[4]提出采用多个超声波传感器结合、对检测区域分区处理的方法提高运动检测的效率,同时达到了检测行人运动状态和缩小检测死角的目的,但是该系统并不能解决旋转门安全方面的问题。因此有学者提出在自动门系统中引入压力传感器和扰动观测器等辅助传感器<sup>[5-6]</sup>,这类系统可以较好

收稿日期:2013-12-13;修回日期:2014-02-26。 基金项目:国家自然科学基金资助项目(61070134)。

作者简介:林璐璐(1990-),女,浙江温州人,硕士研究生,主要研究方向:全方位立体视觉、智能视频分析;姜荣剑(1989-),男,浙江江山人,硕士研究生,主要研究方向:全方位立体视觉、智能视频分析;徐海涛(1990-),男,浙江杭州人,硕士研究生,主要研究方向:全方位立体视觉、智能视频分析;汤一平(1958-),男,浙江杭州人,研究员,博士生导师,主要研究方向:全方位视觉传感器、计算机视觉。

地避免自动门轧人事件的发生,但是无法检测行人运动状态,需要与其他检测传感器结合才能正常运行自动门系统。文献[7]将基于视觉传感器的运动行为检测和路径分析方法用于自动门系统,该系统可以解决传统检测传感器检测内容单一、检测范围存在死角等问题,并实现了智能行为理解。但这一方法是针对平移门的进出控制设计的,对于旋转门安全事件的预防还存在缺陷。

因此,本文提出了一种基于全方位视觉传感器的自动门安全和节能智能检测解决方案,能够实时获取在自动门周围行人的行为和状态等信息,实现自动门的安全性、节能性和舒适性兼顾的控制目标。

## 1 安全与节能的自动门智能检测系统的设计

一种对人友好的自动门必须在满足安全性条件下同时兼顾以下几个方面的问题:在安全性方面,必须完全杜绝各种“伤人”事件的发生,排除各种安全隐患;在环境舒适性方面,防风、防尘、静音和外观朴素大方;在节能方面,能有效地隔断内外气流,达到最大节能效果;在智能控制方面,能对路过自动门的行人轨迹进行识别,避免各种误动作;当发现有人长时间在自动门附近逗留系统就会自动有语音提示;当发现小孩在自动门附近玩耍或者想独自通过自动门情况时系统就会有语音警示;当发现拥挤及抢行等行为时系统就会有语音警示;当发现行人的携带物品(如拉杆行李等)被夹情况发生时系统自动将自动门恢复到完全开启状态,并用语音告知行人快速通过自动门。

为了实现上述目标,本文设计了一种基于全方位计算机视觉的人行自动门安全和节能控制装置,在原有的自动门控制系统上再配置一个全方位视觉传感器(Omni-Directional Vision Sensor, ODVS)和用于全景视频分析的微处理器。自动门包括推拉、平开、折叠、旋转等形式,其中旋转自动门安全隐患问题比较大。对于旋转自动门的硬件系统构成如图1所示,具有网络接口的 ODVS 安装在移动门的中间顶部, ODVS 通过 WiFi 无线通信方式与微处理器进行连接。

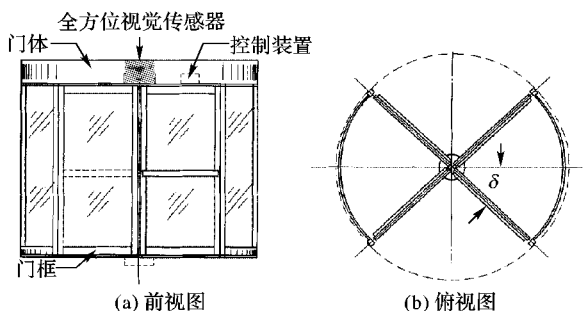


图1 基于自动门的硬件系统构成

检测系统软件构成如图2所示,主要包括:用于通过无线网络读取 ODVS 所拍摄的全景图像的全景图像读取单元,用于将全景图像展开成为自动门外场景、自动门内场景和自动门下场景的全景图像展开单元,用于将自动门周围环境定制成远、中、近以及出入口区域的自动门周围环境定制单元,用于检测和跟踪全景展开图像中的行人目标的对象行人对象检测单元,用于判断行人的行为提供行走轨迹数据的

行人运动轨迹检测单元,用于检测在自动门前是否有拥挤、抢行和携带大型物品等造成安全事故的行为,检测行人是路过自动门行为还是想通过自动门行为的行人运动状态识别单元,用于对进出自动门人数进行计数统计的进出人数统计单元,用于输出各种不同的语音提示信息和控制电机动作的输出单元。

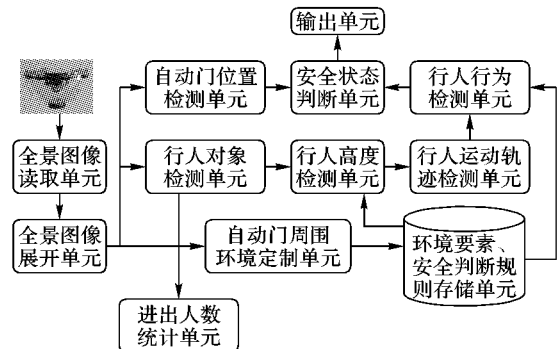


图2 自动门安全与节能的视觉检测处理框图

为了对自动门周边区域行人的状态和行为进行分析,前景对象的检测是关键。为了获得更好的前景对象并进行有效跟踪,本文提出了一种鲁棒性强、计算量少的 MHOEI (Motion History or Energy Images) 算法。将该算法运用于前景对象的检测与跟踪能较好地地区分在什么地方发生着运动和运动是如何进行的。

### 1.1 无死角的全景视频图像的获取

为了获取自动门周围无死角的全景视频图像,本文采用了一种无死角 ODVS<sup>[8]</sup>,其结构如图3所示。

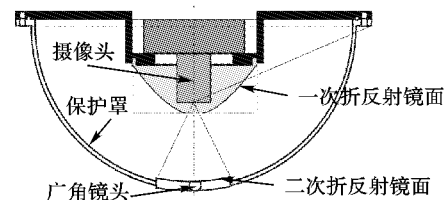


图3 无死角的 ODVS

将无死角的 ODVS 安装在旋转自动门中间的上方,这样通过无死角的 ODVS 可以获得自动门周边的全景图像,如图4所示,一部分是由折反射成像获得的全景视觉范围,用于监视自动门周边的前景对象;另一部分是由广角镜头成像的广角视觉范围,用于监视旋转门内的前景对象。

### 1.2 自动门视觉检测系统的设计

ODVS 所获得的全景视频数据在无线通信视频卡内采用 MPEG-4 的压缩方式进行压缩编码,压缩后的数字全景图像通过无线传输方式发送给微处理器,微处理器对接收到的全景图像进行全景展开、前景对象提取、跟踪和行为识别等处理。

#### 1.2.1 全景视频图像的预处理

由于 ODVS 所获得的全景图像存在着畸变,不符合人的视觉习惯,所以采集到的基于中心点的体结构全景环形图像必须在全景图像展开单元中经过柱状展开后才能进行分析处理。展开算法<sup>[9]</sup>的计算公式如下:

$$x^{**} = (\pi(R + r) \arctan(y^*/x^*)) / 360 \quad (1)$$

$$y^{**} = \sqrt{(y^*)^2 + (x^*)^2} - r \quad (2)$$

其中:  $x^{**}$ 、 $y^{**}$  为全景柱状展开图像的像素坐标值;  $x^*$ 、 $y^*$  为全景图像的像素坐标值;  $R$  为圆形全景图像的外径,  $r$  为圆形全景图像的内径, 取  $R_i = (R + r)/2$ 。为了分别对自动门内外以及自动门中间区域中的前景对象进行识别和分析, 本文对全景图像进行二分屏柱状展开处理, 展开后的图像分为自动门外侧和自动门内侧两部分, 二分屏柱状展开图的分辨率大小是 600 像素 × 300 像素。对全景图像的中心部位的广角成像图, 由于是通过广角镜头直接成像的, 则不进行展开处理。折反射成像部分展开后效果如图 4(b) 所示, 通过广角镜头直接成像的部分如图 4(c) 所示。

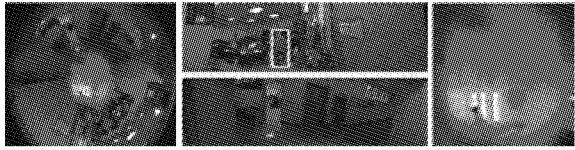


图 4 针对自动门安全检测的全景展开图

### 1.2.2 自动门周围环境定制

考虑到行人的行为识别需要对自动门周围环境进行定制, 以便计算机能识别出行人什么地方发生着运动以及这些运动是如何进行的。

对于旋转自动门按自动门内外进行二分屏柱状展开定制, 然后在展开图中再分为近距离、中距离和远距离, 定制的方法是: 首先, 在 ODVS 采集的全景图像上定制自动门内外分割线, 确定广角成像部分; 然后, 在自动门内外的二分屏展开图上根据离自动门的距离分割成远、中、近等三个不同的区域, 并在近距离区域中定制自动门出入口位置; 对于通过广角镜头直接成像的部分的定制主要定制容易产生轧人的区域, 如图 5 中方框。定制后的结果保存在微处理器的存储单元中, 以便后续处理中调用。

为了识别行人的行为, 根据上述定制的结果, 本文将行人运动状态分为三类: 静止、意图通过自动门运动和路过自动门运动, 以上三类运动状态检测的前提条件都是行人位于定制的检测区域内。通过对自动门周边环境的定制以及前景对象的检测可以识别出行人什么地方发生着运动; 通过对自动门周边环境的定制以及前景对象的跟踪可以解析出行人这些运动是如何进行的。

通过对行人运动方式(行为)的识别可以进一步判断自动门可能存在的各种安全隐患<sup>[10]</sup>, 提高自动门开启的效率和准确率, 为智能安防以及各种商业应用提供更多的基础信息。

### 1.3 行人对象的检测和跟踪

前景对象的提取和跟踪是行人行为识别的基础, 只有准确无误、快速高效地识别出行人(前景对象)并进行有效跟踪才能正确判断行人行为。

#### 1.3.1 MHOEI 算法

同时解决行人(前景对象)在什么地方发生着运动以及这些运动是如何进行的这两个问题, MHOEI 算法是一种比较好的选择。本文在自动门周围环境定制基础上采用 MHOEI 算法来检测和跟踪前景对象。MHOEI 算法是在 MHI (Motion History Images)、算法<sup>[11]</sup>和 MEI (Motion Energy Images) 算法的基础上提出的一种更为有效的跟踪算法, 用式(3)表示;

$$H_r(x, y, t) = \begin{cases} \tau, & D(x, y, t) = 1 \\ \max(0, H_r(x, y, t-1)), & |S| \leq \delta \\ \max(0, H_r(x, y, t-1) - 1), & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

其中:  $S$  为目标对象的运动速度;  $\tau$  为持续时间;  $D(x, y, t)$  为运动区域的二进制图像序列;  $H_r(x, y, t-1)$  为非运动区域的二进制图像序列<sup>[12-13]</sup>。持续时间  $\tau$  需要根据目标对象运动速度  $S$  进行动态调整, 计算方法如式(4)所示:

$$\tau_{i,M} = k / |S_i(t)| \quad (4)$$

其中:  $\tau_{i,M}$  为第  $i$  个目标对象的持续时间;  $k$  为某一常数。第  $i$  个目标对象在当前处理帧中的运动速度  $S_i(t)$  计算方法如式(5)所示:

$$|S_i(t)| = \frac{|ROI_{i,m}(x, y, t) - ROI_{i,m}(x, y, t-1)|}{\Delta t} \quad (5)$$

其中:  $ROI_{i,m}(x, y, t)$  为当前处理帧中第  $i$  个  $ROI_i$  的质心坐标;  $ROI_{i,m}(x, y, t-1)$  为上一个处理帧中第  $i$  个  $ROI_i$  的质心坐标;  $\Delta t$  为两帧间隔时间。

对于距离 ODVS 远近不同的目标对象,  $\tau_{i,M}$  值也需要适当调整, 对于运动速度相同的目标对象, 距离 ODVS 的远近会导致目标对象在全景展开图上反映速度的快慢有所不同, 式(4)求得的是离 ODVS 中等距离情况下的  $\tau_{i,M}$  值。本文对持续时间进行了归一化处理, 具体做法是将近处的持续时间设置为  $H_r(x, y, t) = \tau_{i,M} - \alpha$ , 中远处的持续时间设置为  $H_r(x, y, t) = \tau_{i,M}$ , 远处的持续时间设置为  $H_r(x, y, t) = \tau_{i,M} + \alpha$ , 其中  $\alpha = 2 \sim 4$ 。

#### 1.3.2 自动门周边的行人行为的检测与识别

识别在自动门周边行人是如何运动的, 对于自动门的安全及节能控制都是至关重要的。对自动门安全来说, 需要检测在自动门前是否有小孩的玩耍、拥挤、抢行和携带大型物品等造成安全事故的行为; 对于节能和舒适性来说, 需要检测行人是路过自动门还是想通过自动门的行为; 对于安防与商业应用, 需要检测是进入建筑物内还是从建筑物内出去, 并对出入人数进行统计。

对于行人运动位置的判断, 根据 MHOEI 算法中每次循环计算得到的感兴趣区域的质心坐标值, 若质心处于定制的近距离内, 则对行人的运动状态进行进一步识别; 若质心处于定制的轧人检测区域内, 则需要根据自动门的状态判断是否有夹人事件<sup>[14]</sup>发生。

对于行人运动状态的判断。首先考虑目标对象是否在运动, 根据 MHOEI 算法得到运动目标对象在当前处理帧中的运动速度  $S(t)$ , 如果  $|S(t)|$  小于一个非常小的数, 则判断该目标对象为静止状态, 否则判断为运动状态; 然后考虑目标对象的运动趋势, 将感兴趣区域的质心坐标值以时间序列进行记录就能得到行人运动轨迹, 若  $|\Delta x| \geq |\Delta y|$  且  $|\Delta y| < 0$  (其中  $\Delta x$ 、 $\Delta y$  分别表示感兴趣区域质心在  $X$  方向上和在  $Y$  方向上的位移), 则判断该目标对象的运动趋势是想通过自动门。

对于行人安全状态的判断, 主要根据自动门开启状态的检测结果, 以及感兴趣区域框的大小及其所处的位置来判断行人的安全状态, 其关键是要检测自动门夹人事件的发生条件。自动门夹人事件是由自动门对象与行人对象之间发生冲突所产生的, 冲突点往往发生在自动门将要闭合时候。因此,



在自动门将要闭合的区域内检测是否有人体存在是检测自动门夹人事件的关键。这里有两个对象的运动状态需要检测,其一是人体是否处在自动门将要闭合的区域内,其二是自动门是否处在将要闭合的状态。由于在轧人事件中,人体和自动门前景几乎连通在一起,在此需要进行分开处理。首先,对于人体是否处在自动门将要闭合区域内的判断,可以对定制的轧人区域采用帧间差算法,若检测出人体前景,则说明有人体出现在轧人区域。其次,是对于自动门是否处在将要闭合状态进行判断。本文取自动门与墙面之间的夹角小于等于 $\delta$ 时作为自动门将要闭合状态的判断准则,图5中粗线条表示的是从俯视角度检测到的移动门位置,虚线部分是与墙面平行的线,方框区域(定制)为容易发生自动门轧人的区域。这时若人体对象处于红色框区域,同时自动门与墙面之间的夹角小于等于 $\delta$ 时,则判定为自动门会有轧人危险。根据转动门的大小,本文将 $\delta$ 值设定为 $40^\circ$ 。



图5 自动门轧人危险状态检测说明

行人安全状态检测算法总结如下:

Step1 用MHoEI算法对旋转自动门周边全景图像进行处理,得到运动前景对象二值图;

Step2 用直线匹配算法检测自动门的转角位置 $\delta$ ;

Step3 检测红色框区域内是否存在前景对象,如果存在有前景对象,设置 $FLAG = 1$ ;否则 $FLAG = 0$ ;

Step4 如果转角位置 $\delta$ 小于等于 $40^\circ$ 并且 $FLAG = 1$ 时,判断为自动门存在着行人安全问题,将停止转动控制信号发送给自动门控制装置,停止自动门转动;否则转到Step1。

## 2 实例分析

本文采用Java语言开发了基于全方位计算机视觉的人行自动门安全与智能检测系统应用软件,视频图像读取和解压缩算法等处理直接调用厂商提供的软件模块,Java语言主要实现了全景展开、前景对象的提取、跟踪、运动状态和行为识别等功能。硬件由奔腾双核2.7 GHz CPU、3 GB内存配置的PC在Windows XP操作系统环境进行实验验证。PC通过接收无线通信视频卡发射的信号与无死角ODVS相连,全景视频图像分辨率为1200像素×300像素,每分屏柱状展开图的分辨率大小是600×300。实验环境为半室内半室外的旋转门场景,将无死角ODVS置于旋转门中间,高度约为2.3 m(装置图如图6所示),使其获得自动门周围环境完整的场景图。

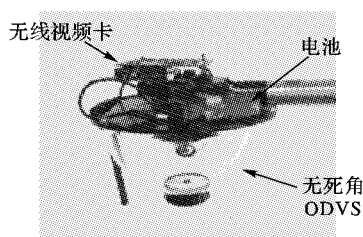


图6 实验装置示意图

### 2.1 行人安全状态检测实验

行人安全状态检测实验的目的主要是为了验证视觉检测轧人危险状态的准确性、时效性和鲁棒性。图7所示的是全方位视觉传感器中的广角镜头直接成像部分,为检测轧人危险状态的一个动作过程序列。红色框区域表示定制的轧人检测区域,在第212帧时行人开始步入轧人区域,在第298帧时自动门转角位置 $\delta$ 小于 $40^\circ$ 并且行人完全处于方框内,与轧人状态判断准则吻合,处于可能会发生轧人状态。

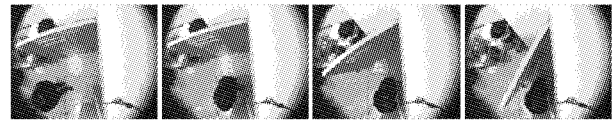
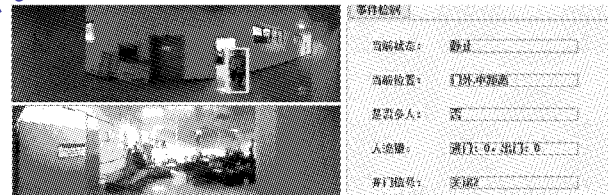


图7 行人安全状态检测部分实验

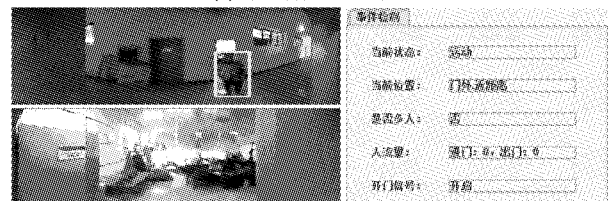
### 2.2 行人行为检测实验研究

行人的行为检测是在全景展开图上进行的,分为自动门内外两个场景。从行人的运动轨迹和运动方向进行智能视频分析判断,只有当行人离自动门距离在一定的阈值范围内且行走方向朝向自动门的情况下才驱动自动门的开启,实现自动门的舒适度和节能控制。

实验中,让研究人员分别以静止状态和运动状态(其中运动状态分为意图通过自动门和路过自动门两种情况)出现在定制的检测区域内。其中一组检测结果如图8所示,图8(a)表示行人静止行为的检测结果,图(b)表示行人意图通过自动门行为的检测结果,图(c)表示行人意图路过自动门行为的检测结果。



(a) 静止行为检测结果



(b) 意图通过自动门行为检测结果



(c) 意图路过自动门行为检测结果

图8 行人行为检测实验结果示意图

实验结果表明本文所采用的算法对于通过自动门的行为检测效果较好,但还是存在一定的误差,主要是因为当行人面向或背对视觉传感器运动时,前景人体对象基本上是以ODVS的某一个方位角进行运动,使得目标矩形框的变化不明显,容易产生误检。而对于靠近ODVS路过自动门行为的检测还存在较大的误差,主要原因是由于当行人距离视觉传

传感器较近时,反映在全景图上前景对象相对运动速度较快,如果对整幅全景图采用式(3)中同样的持续时间 $\tau$ 值,近处的运动前景对象会产生较大的残留影,这样通过MHoEI算法得到的前景二值图的运动轨迹较长,因而获得的矩形框很宽,导致目标中心点的提取误差较大。

针对以上问题,进行了一系列实验获取当行人到传感器距离不同时 $\tau$ 值对运动前景检测精度的影响。分别选取当运动行人到传感器距离为0.5 m、1 m、2 m、3 m四个样本进行测试。实验结果显示,当距离为0.5 m和1 m时, $\tau=2$ 的准确率最高;当距离为2 m时, $\tau=8$ 的准确率最高;当距离为3 m时, $\tau=10$ 的准确率最高。

另外,当运动行人到传感器的距离不同时帧间差更新速率也会对运动前景矩形框检测精度产生影响。同样选取距离为0.5 m、1 m、2 m、3 m这4个样本进行测试。实验结果显示,当距离为0.5 m和1 m时,帧间差更新速率取2帧的准确率最高;当距离为2 m时,帧间差更新速率取5帧的准确率最高;当距离为3 m时,帧间差更新速率取9帧的准确率最高。

因此对全景展开图像中定制的远、中、近三个区域,须分别采用不同的处理参数。经改进后的算法的实验结果分析如表1所示。在今后的研究中还将结合前几帧的判断结果来提高现实场景中的准确率。

表1 行人行为检测实验结果

行人行为	实验次数	平均准确率/%
静止状态	10	88.6
通过自动门行为	15	93.5
路过自动门行为	8	90.5

实验结果表明本文提出的检测方法基本上可以达到预期效果,准确控制自动门动作,同时也验证了MHoEI算法跟踪人体行为的有效性和鲁棒性。

### 3 结语

本文提出的自动门检测技术有以下优点:1)对自动门周围环境进行无死角全景视频监控,通过视频分析技术及时发现可能存在的各种安全隐患;2)实现了自动门对人的友好控制,通过对行人的行为分析,根据行人的行为意愿自动控制自动门的开启;3)实现了自动门安全性、节能性和舒适性控制的有机融合,提高了自动门的智能化控制水平;4)实现了自动门周边全景感知,检测方法可以直接拓广到其他各种商业应用,如进出人数的调查、晚间进入大楼的控制以及安防控制等领域。

今后的研究工作将围绕可能导致各种自动门安全事件的危险行为,如:1)小孩在自动门周围的玩耍行为,包括小孩独自通过自动门的行为;2)行人通过自动门时的摔倒;3)拥挤行为和抢行行为;4)行人通过自动门时携带大型物体的行为。

#### 参考文献:

[1] ZHENG X, LI Z. Design of the infrared automatically-controlled door by single-chip computer[J]. *Manufacturing Automation*, 2008(1): 79-82. (郑小芹, 李钟慎. 采用单片机控制的红外自动门[J]. *制造业自动化*, 2008(1): 79-82.)

[2] XIANG T, GONG S. Incremental and adaptive abnormal behavior detection[J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2008, 111(1): 59-73.

[3] SUI X. Innovation, safety and standard: promotion of the core competency of automatic door industry[J]. *China Construction Metal Structure*, 2012(11): 49-51. (隋晓丽. 创新安全规范——谈自动门行业核心竞争力的提升[J]. *中国建筑金属结构*, 2012(11): 49-51.)

[4] LIU C, KONG L, CAO Y. Motion states recognition system based on ultrasound for automatic door management[C]// *Proceedings of the 2011 International Conference on Internet Computing & Information Services*. Piscataway: IEEE Press, 2011: 11-15.

[5] KOYANAGI T, INATAMA S, OH S, et al. Robust and safe control based on disturbance observer for train doors[C]// *Proceedings of the 2010 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*. Piscataway: IEEE Press, 2010: 3571-3576.

[6] TAKADA Y, IKEUCHI A. Automatic door sensor: US, 20020157314[P], 2002-10-31.

[7] YANG J, LAI C, SHEU H, et al. An intelligent automated door control system based on a smart camera[J]. *Sensors*, 2013, 13(5): 5923-5936.

[8] TANG Y, YAN H, CHEN L, et al. Design of omni-directional vision sensors without lead angle[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2005, 30(5): 1-5. (汤一平, 严海东, 陈龙艳, 等. 无死角的方位视觉传感器的设计[J]. *仪器仪表学报*, 2009, 30(5): 1-5.)

[9] TAO J, TURJO M, WONG M, et al. Fall incidents detection for intelligent video surveillance[C]// *Proceedings of the 2005 5th International Conference on Information, Communications and Signal Processing*. Piscataway: IEEE Press, 2005: 1590-1594.

[10] TANG Y, YE Y, ZHU Y, et al. Research on intelligent omni-directional vision sensors and their application[J]. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 2007, 20(6): 1316-1320. (汤一平, 叶永杰, 朱艺华, 等. 智能全方位视觉传感器及其应用研究[J]. *传感技术学报*, 2007, 20(6): 1316-1320.)

[11] JAMES W D, AARON F B. The representation and recognition of human movement using temporal templates[C]// *Proceedings of the 1997 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Washington, DC: IEEE Computer Society, 1997: 928-934.

[12] CUCCHIARA R, GRANA C, PICCARDI M, et al. Improving shadow suppression in moving object detection with HSV color information[C]// *Proceedings of the 2001 IEEE Intelligent Transportation Systems*. Piscataway: IEEE Press, 2001: 334-339.

[13] SHAN Y, YANG F, WANG R. Color space selection for moving shadow elimination[C]// *ICIG 2007: Proceedings of the 4th International Conference on Image and Graphics*. Piscataway: IEEE Press, 2007: 496-501.

[14] FAN Y. Solution of reducing impact force of revolving doors on human body[C]// *Proceedings of the 2nd Term of China International Door Industry Technology and Standards Forum*. Shanghai: China Construction Metal Structure Association, 2011: 59-63. (范义兴. 浅谈降低旋转门活动扇对人体撞击力的措施[C]// *第二届中国国际门业技术与标准论坛论文集*. 上海: 中国建筑金属结构协会, 2011: 59-63.)