

基于激光扫描技术的行人检测方法研究

张志刚 孙立才 汪沛

(北京林业大学理学院 北京 100083)

摘要 基于激光测距传感器,通过激光扫描实时获取周围环境的激光点云数据,并处理和分析点云数据,实现对环境中行人的检测。提出的行人检测算法基于实时获取的点云数据,采用帧逐差的方法初步确定行人所对应的点云,并通过估计行人身体尺寸和对应点云数量来提高检测率。实验中测试了角分辨率、扫描频率、行进路线以及行进速度的多种组合下行人检测的准确率,通过分析激光传感器参数配置对行人检测的影响及不同行进方向上的检测性能,得出最优传感器配置和检测方案。实验结果验证了利用激光测量传感器检测行人的方法的可行性,并得出了初步的检测步骤及思路。

关键词 激光雷达,点云数据,行人检测,角分辨率,扫描频率

中图分类号 TP391.44 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2016.7.061

Research on Pedestrian Detection Method Based on Laser Scanning

ZHANG Zhi-gang SUN Li-cai WANG Pei

(College of Science, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract The pedestrian detection in environment is based on the laser sensor. By laser scanning, the point cloud data can be acquired from current environment, which will be analyzed later. The pedestrian detection mentioned here is on the basis of the point cloud data, which are appointed by every frame in the initial phase, and then the exact point cloud of different size of human body is estimated. We applied combinations of angular resolution, scanning frequency, processing route, and processing speed to check the accuracy. We also analyzed the parameters from the laser sensor and the detecting performance in different directions to get a optimal plan for the settings of sensor. This paper aims at measuring the possibility of using a laser gauging sensor in the pedestrian detection, and suggesting a preliminary procedure for the detection.

Keywords Lidar, Point cloud data, Pedestrian detection, Angular resolution, Scanning frequency

1 引言

行人检测技术作为一项重要且十分普遍的基础性技术,在交通安全、安防监控、人流监测等方面有着不容忽视的应用价值^[1,2]。在交通安全方面,随着我国居民汽车保有量的不断提高,每年的交通事故数量与日俱增,而在交通事故中行人往往容易受到严重伤害^[2,3]。及时有效地检测到行人,可以保护行人安全,减少由行人引发的交通事故;在安防监控方面,自动运行的行人检测系统可以代替彻夜值班的工作人员全天候实施监控,预防盗窃等犯罪行为,同时节约人力、物力^[3,4];在人流监测方面,该技术可以及时准确地帮助管理人员控制人群数量,避免踩踏悲剧。从这些方面不难发现,行人检测技术是一项在社会各个领域都不可或缺的重要技术。

目前,行人检测的主要方法有计算机视觉检测和基于激光雷达的检测两种^[3]。

计算机视觉检测从算法特点上可以分为基于外形特征的检测和基于运动特征的检测^[2]。基于外形特征的检测主要通过图像处理提取出行人的轮廓、纹理和灰度信息进行行人检测。检测过程中往往需要与模板库中的行人模板进行对比,

得到相关特征的相似度,再通过为不同特征分配合理的权值以及预设的相似度阈值完成行人检测^[2]。基于运动特征的行人检测将重点放在行人行走时腿部的运动规律上。通过提取一系列图像中行人腿部运动的周期性规律,与预设的行人步态模板进行比较,计算相似度,最终实现行人检测^[2]。基于计算机视觉的检测方法原理简单、易于实现,且成本较低,因此得到了广泛的发展。但是由于该方法受周围环境如光照的影响较大,行人较多时相互遮挡,导致行人特征难以提取,且由于模板有限,在复杂环境中往往力不从心。此外,由于一般拍摄得到的是二维图像,丢失了环境的深度信息^[3],也使得这种检测方法存在隐患。

激光雷达是一种基于激光测距原理的主动式传感器,恰好可以弥补视觉跟踪所丢失的深度信息^[5]。其主要过程包括:采集数据、图像分割、提取特征、目标分类。在识别过程中通过神经网络等方法训练机器,可以得到各个特征在相似度中的最优权值,从而大大提高检测的准确性。如 Hui-jing Zhao 等人用单线激光雷达,利用类似决策树判别的方法实现了行人检测^[6]。由于激光雷达采用主动式测量手段,对周围环境依赖少,不受光照等条件的影响,适应性较强,测量精度

到稿日期:2015-06-26 返修日期:2015-09-29 本文受中央高校基本科研业务费专项资金(YX2015-08)资助。

张志刚(1992-),男,助理工程师,主要研究方向为计算机网络、大数据处理技术,E-mail:zhangzhigang@bjfu.edu.cn;孙立才(1994-),男,助理工程师,主要研究方向为传感网络、生物医学信号处理,E-mail:15652935839@163.com;汪沛(1981-),男,博士,副教授,主要研究方向为雷达数据及图像处理、嵌入式系统开发,E-mail:wangpei@bjfu.edu.cn。

也高于其他方法。

综上所述,相比于计算机视觉的行人检测,基于激光雷达的行人检测精度更高,适应性更强。目前激光测距传感器种类较多,而激光雷达的行人检测应用研究仍然较少,且系统多处于实验研究阶段。所以,本文对基于激光扫描技术的行人检测做了进一步的研究和实验,得出了初步的检测方法及思路。

2 系统构建

2.1 激光传感器及平台设置

本实验所用激光传感器为德国 SICK 公司生产的 LMS511 系列激光雷达。它是一种高性能的室外型激光扫描雷达,主要用于室外测量,实物如图 1 所示。



图 1 激光传感器实物

LMS511 系列激光传感器具有以下特点:具有多档位扫描精度,根据实际需要,扫描的角度分辨率可以选择 0.167° , 0.25° , 0.333° , 0.5° , 0.667° 或 1° 6 个档位,扫描频率有 25Hz, 35Hz, 50Hz, 75Hz 或 100Hz 5 个档位;扫描最大角度范围为 190° ,且在参数配置中可调;测量精度高,正常情况下测量误差在 24mm 以内。此外,该传感器还具有灵活的区域配置、可靠的抗干扰性能、大保护距离、以太网等多种通讯接口、内部自检功能等优点。其详细技术参数如表 1 所列。

表 1 激光传感器详细参数

型号	LMS511-20100 PRO
10%反射率时最大工作范围	26m
扫描角度	Max: 190° 可在设备参数中调整
角度分辨率	$0.167^\circ, 0.25^\circ, 0.333^\circ, 0.5^\circ, 0.667^\circ, 1^\circ$
扫描频率	25Hz, 35Hz, 50Hz, 75Hz, 100Hz
响应时间	10~40ms
测量精度	± 12 mm
光斑大小	4.7 mrad(4.7mm/m)
回波次数	5
激光波长	红外(905nm)
激光等级	1级(人眼安全)
数据接口	RS232/RS422/Ethernet/USB
开关量输入/输出	4/6
工作电压/功耗	24V DC $\pm 20\%$ / 22W, +43W(加热器典型值)
抗环境光	70000 lx
外形尺寸	160mm * 155 mm * 185 mm

在实验中,可以根据不同的角分辨率和扫描频率组合出多种参数配置,最终确定最优配置。

实验中以三脚架作为整体的支架,为系统提供一个便于放置和调节的基座。在行人检测实验中,将扫描位置定在人体躯干部分,主要为胸部到腰部之间。这样不仅可以增大行人被扫描到的宽度,得到更多的数据点,而且由于行人移动过程中躯干部分运动相对简单,因此其对行人检测干扰较小。通过查阅《中国成年人身体尺寸(GB10000-88)》以及有关文献^[7-9],得出我国成年人胸部到腰部的平均高度为 1.3m,所以将激光传感器的扫描平面确定在 1.3m 高度。

激光测距传感器可以通过串口通信或者网络通信接收电

脑的控制,并回传测量数据。当数据采集频率较高时,会导致数据量较大,RS232 串口无法满足传输速率的要求。因此实验中采用以太网接口完成设备控制和数据传输。

2.2 数据处理与解析

由传感器直接得到的原始数据是一系列特殊的标记以及十六进制的字符序列,难以直接使用和解读,因此在接收到数据之后先要对数据进行必要的处理和解析。主要工作包括从报头中解析出扫描的参数配置、扫描时间等信息,去除重复出现的报头部分,提取实验最为关心的表示点云距离值的数据段,并将这些数据结算成十进制和十六进制的数值。最后,将处理后的数据和解析得到的信息输出到文件加以保存。在本实验中,每次扫描得到的原始数据因扫描时间长度不等而变化。例如其中一次扫描时长为 6s,所得原始数据大小为 2.55MB;数据解析之后生成的数据文件总大小为 14.7MB。在实际应用中,扫描时间必然远长于 6s,所以得到的点云数据的量往往十分庞大。为了提高软件的工作效率,实验采用 C 语言编写了数据处理和解析程序的内核部分,并在实验过程中做了多次优化,使软件的速度得到大幅提升。程序的流程图如图 2 所示。

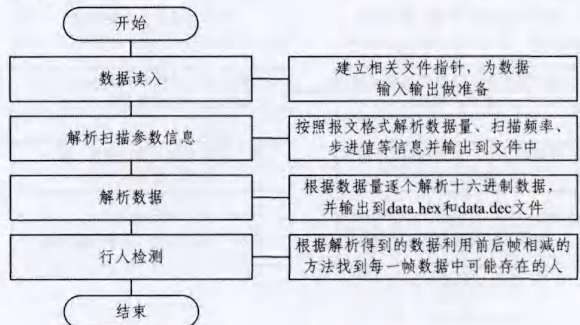


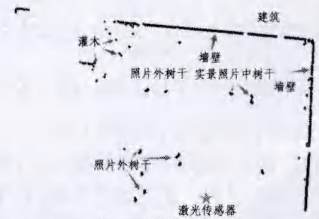
图 2 数据解析流程图

2.3 扫描结果图形化

为便于解析数据和查看行人检测的结果,实验利用 MATLAB 的 UI 设计功能为程序制作了软件界面。数据解析和行人检测完成之后,可将该数据绘制成动画显示在软件面板上,同时用圆圈标出行人的位置,以便于用户查看行人检测的结果。图 3 为扫描现场的照片和软件界面上绘制的平面图。



(a)扫描实景



(b)绘制扫描平面图

图 3

3 行人检测

从收到的点云数据中获取行人的位置是本系统的一个重要应用,其核心是行人检测算法。该算法的主体思想是:人在运动过程中会遮挡住背景,形成一组连续而且距离变化相对较小的点。由于实验中用到的激光传感器精度很高,固定的背景在前后两帧扫描结果中并没有显著变化,而运动的行人在前后两帧扫描结果中存在的位置却会发生变化,因此选取间隔适当的两帧扫描数据相减就会去掉背景部分。属于背景的点相减之后差值在 0 附近的一个微小阈值内波动,而在存在行人的地方由于是背景点和行人点相减,差值的绝对值明显大于其他部分。利用数据的这一特征,首先找到差值较大的一组连续点所在的区间,然后分别回溯到原始两帧数据对应的区间中,经过一系列筛选和排除来确定行人是在前一帧还是后一帧。算法的流程图如图 4 所示。

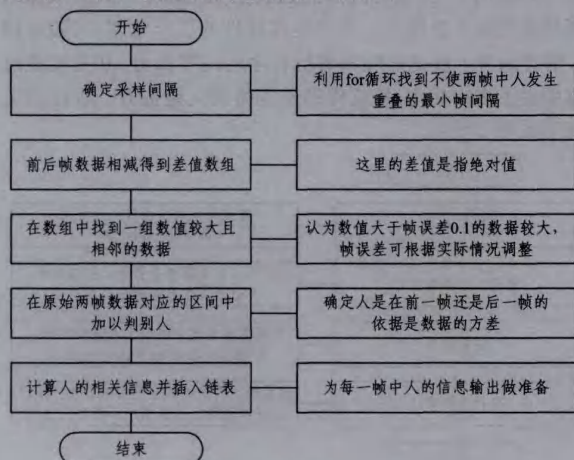


图 4 行人检测算法流程图

首先,确定合适的采样间隔。传感器的扫描频率一般较高;然而按照算法的设计,要检测行人其实并不需要太高的频率,频率太高反而会导致前后两帧数据时间差太小,行人的位置没有发生明显变化,在相减的过程中属于行人的数据点会发生重叠而被错误地减去,所以需要人为地对数据进行采样,每隔合适的间隔提取两帧数据再相减作差。根据传感器的扫描角分辨率和行人的体型数据,计算得出了图 5 中的数据作为采样间隔的参考依据。在程序中通过循环查找到使两帧数据中行人不重叠的最小帧间隔,之后将该结果返回到主程序中。

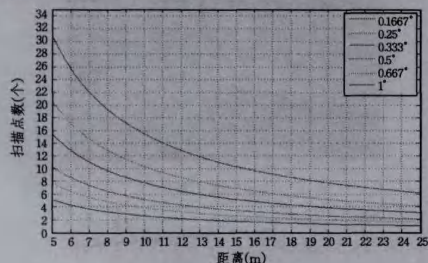


图 5 不同角分辨率下扫描点数与距离的关系

其次,在得到最小帧间隔的结果返回值之后,程序按此帧间隔从解析后的数据中提取出多帧数据,然后前后两帧的距离值相减,得到差的绝对值。此时就会发现,均属于背景的数据点相减之后差的绝对值接近于 0,因为数据测量存在随机误差而在一个十分接近 0 的区间内波动;属于行人的数据点与背景相减之后则会出现差值绝对值较大的情况。此外,对

比多帧数据还可以发现,由于行人是以一定速度连续移动的,在差值中会体现为一组不为零的点做有规律移动,横向展开则是一条不为 0 的数据带。利用这一特性,还可以得到行人移动的速度,便于通过移动速度来筛选行人。

然后,检测差值的绝对值数组中数值较大且连续的数值序列,首先根据连续数值序列的长度初步判断是否可能是行人,主要目的是排除那些连续的点数太多或太少的序列。可以得到该数值序列相对于数组首元素的序号。

之后,分别回到两帧数据中,按照得到的序号检索得到距离值数据,再计算这些数据的方差。经过多次实验发现,背景数据往往起伏较大,因而方差较大;而行人身上的数据点则起伏较小,其方差也明显小于背景数据的方差。因为经过之前的处理和筛选,已经可以认为在这两帧数据中序号对应的数据段处一个是行人,另一个是背景,再根据行人身上数据点的方差较小这一特性,计算方差并判断方差小的一个是行人。

最后,计算得到已经判断为行人的数据段的中心坐标作为行人的坐标,再将该坐标连同行人的相关信息一同加入链表中,然后输出到记录行人位置的文件中,最后将扫描实景的平面图画出并标出行人的位置,如图 6 所示。

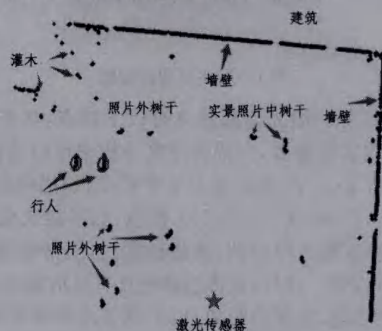


图 6 显示行人位置

4 测试与讨论

4.1 实验方案

在激光测量系统调试完成之后,设计并实施了 16 次实验,实验的主要目的是分析激光测量传感器在不同参数配置下行人检测的效果,进而得出最优的传感器配置方案。实验测试了激光传感器在不同角分辨率与扫描频率下数据传输的效果,也测试了行人在不同方向上以不同速度移动时行人检测的效果。实验中共有一前一后两个行人,前边一个行人将白色硬纸板围绕在身体周围,以获得较为平整且对激光反射效果较好的表面;后边一个行人身着普通的黑色外套,与前者形成对比。实验中行人按照设计的路线移动,在移动过程中先正对传感器,然后转为侧面朝向传感器。实验路线图如图 7 所示。

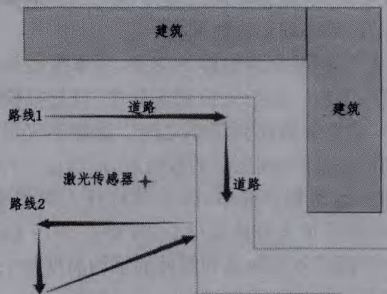


图 7 实验路线图

激光传感器每次扫描的配置如表 2 所列。实验结束后,统计每次实验中准确检测到行人的帧数并除以总帧数得到检测准确率,以评价检测效果,如表 2 所列。

表 2 实验参数及结果

扫描编号	路线	扫描频率 (Hz)	角分辨率(°)	行人速度 (m/s)	检测正确率(%)	
1	路线 1	25	0.167	1	87	
2				2	87	
3			1	85		
4			2	85		
5			1	83		
6			2	83		
7		100	0.667	1	65	
8				2	71	
9			1	80		
10			2	80		
11			1	70		
12			2	70		
13		路线 2	0.25	0.167	1	65
14					2	65
15			100	0.667	1	50
16					2	50

4.2 实验分析

通过实验可以对以下几个方面做出分析和讨论。

角分辨率分析:对比前 4 次扫描可以发现,减小扫描角分辨率可以有效提高行人检测的准确率。因为角分辨率越小,同等距离下扫描线的栅格宽度越小,同一身体宽度的行人被扫描到的点数则越多,进而更容易被检测到。所以对于本实验中所用的激光传感器,可以将角分辨率确定在 0.167°,此时最有利于行人检测。

扫描频率分析:对比第 3-6 组实验可以发现,激光传感器的扫描频率对行人检测没有显著影响。因为检测算法中会根据数据的特征对数据人工采样,只需扫描频率大于采样频率即可。一般情况下,当角分辨率取 0.167°时,理论上的扫描频率可以降低到 2Hz,这就意味着可以在一个很低的频率下检测到行人。而且理论上说,该算法不适合检测接近静止的行人,扫描频率越高,相邻数据帧中行人的位移越小,越不利于行人检测。所以对于实验中所用的激光传感器,将 25Hz 定为最优的扫描频率。

行进路线分析:行进路线决定了行人与激光传感器的距离和行人相对于传感器的移动方向。本实验中,路线 1 中行人与激光传感器的距离在 5~8m,路线 2 中行人距离激光传感器最近距离为 5m,最远距离 20m。通过实验结果可以发现,随着行人与传感器距离的增加,行人身上数据点的数量迅速减少,如第 9 组实验中最远处行人身上只有 8 个点,导致检测过程中容易受到噪声点的干扰,降低了检测的准确率。在移动方向上,路线 1 中行人相对于传感器主要做横向运动,而在路线 2 中行人则以径向运动为主。通过实验结果可以发现,路线 1 的检测准确率普遍高于路线 2 的。所以可以得到,当行人横向移动时,检测准确率较高,而当行人越近似于径向移动时,检测准确率越低。从理论上分析,当行人径向运动时,做帧相减时是行人身上的点减去行人身上的点,而行人的移动速度相对于激光传感器的扫描频率来说是很慢的,前后两帧的距离变化很小,所以难以被检测到。在实际检测中,将检测设备安装在道路侧面,使行人相对传感器横向运动,可以有效提高行人检测的效果。

行人着装与行人朝向分析:在实验中一个行人用白色硬纸板环绕在身体周围,另一行人身着普通黑色外套,目的在于比较行人着装对检测的影响。而通过实验结果可以发现,行人的着装对行人检测没有显著影响,这主要是由于传感器的灵敏性较高,对不同的反射材料均可有效测量。在行人朝向方面,当行人沿着路线移动时,身体相对于激光传感器的朝向会有较大变化,但从实验结果上看并没有显著影响,说明行人朝向也不是影响行人检测准确性的关键因素。

结束语 本文利用激光测量传感器,实现对周围环境的实时激光扫描,通过处理和分析扫描得到的点云数据,成功检测到周围环境中的行人。论文中设计的行人检测算法以点云数据为基础,首先采用帧逐差的方法从数据中初步获得行人对应的点云,然后将该点云与真实行人的身体尺寸和移动速度比较,计算相似程度,排除环境干扰,最终得到行人位置,提高行人检测的准确率。通过设计多次实验,分析了激光传感器在角分辨率、扫描频率、行进路线以及行进速度等不同参数配置下的检测效果,得出传感器的最优参数配置和检测方案。所提方法和实验验证了利用激光测量系统进行行人检测的可行性,并在一系列实验的基础上总结了检测的方案和步骤。

参考文献

- [1] Cheng Jian. 3D Lidar based Real-time Objects Detection[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014 (in Chinese).
程健. 基于三维激光雷达的实时目标检测[D]. 杭州: 浙江大学, 2014
- [2] Hu Shun-xi. Study on the vehicle front Pedestrian detection based on 3D laser scanner[D]. Jilin: Jilin University, 2011 (in Chinese).
胡顺玺. 基于三维激光扫描仪的车辆前方行人检测研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2011
- [3] Luo Zan-feng. Pedestrian Tracking Based on Multiple Laser Scanners[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2012 (in Chinese).
罗赞丰. 基于多激光雷达的行人目标跟踪[D]. 杭州: 浙江大学, 2012
- [4] Wang Yan-min, Wang Guo-li. Quality Monitoring of Large-scale Steel Buildings Using Terrestrial LiDAR Technology[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2013(7): 39-42 (in Chinese).
王晏民, 王国利. 地面激光雷达用于大型钢结构建筑施工监测与质量检测[J]. 测绘通报, 2013(7): 39-42
- [5] Aggarwal J K, Ryoo M S. Human activity analysis: A review [J]. To Appear Acm Computing Surveys, 2011, 43(3): 194-218
- [6] Zhao H, Sha J, Zhao Y, et al. Detection and Tracking of Moving Objects at Intersections Using a Network of Laser Scanners[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2012, 13(2): 655-670
- [7] Fod A, Howard A, Mataric M J. Laser-Based People Tracking [C]//Proc. of the IEEE International Conference on Robotics & Automation (ICRA). 2002: 3024-3029
- [8] Kelbe D, Romanczyk P, van Aardt J, et al. Automatic extraction of tree stem models from single terrestrial lidar scans in structurally heterogeneous forest environments[C]//12th International Conference on LiDAR Applications for Assessing Forest Ecosystems. SilViLaser, 2012: 54-61
- [9] Navarro-Serment L E, Mertz C, Hebert M. Pedestrian Detection and Tracking Using Three-Dimensional LADAR Data[J]. International Journal of Robotics Research, 2010, 29(12): 1516-1528