

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.09.005

激光扫描追踪人体目标位姿的算法研究*

郭爱波,王 宏*,郑兴文,李木岩
(东北大学 机械工程与自动化学院,辽宁 沈阳 110819)

摘要:针对人体目标位姿的追踪问题,对二维激光扫描仪的工作原理进行了归纳,对所测取数据的分析算法进行了研究,设计了一种基于激光图像扫描的新型算法,利用 C 语言与 Matlab 混合编程,通过对人体目标肩部截面进行椭圆拟合,实时测取了运动人体目标的距离、角度和方位信息,并通过 Matlab GUI 显示。二维激光扫描仪通过旋转的光学部件发射光脉冲,形成了二维的扫描面,以实现区域扫描及轮廓测量的功能。研究表明,利用激光扫描仪测取的人体目标的位置信息与真实的人体目标的位置信息相比基本吻合,距离范围为 0 m~4 m,距离精度优于 0.05 m,角度范围为 240°,角度跟踪精度优于 2°,方位范围为 360°,方位精度最高 1°,该算法可用于需要对人体目标进行实时追踪的工程应用中,例如用于对人体目标实时跟随的移动平台或机器人中。

关键词:激光扫描测距仪;追踪;椭圆拟合;混合编程;Matlab

中图分类号:TH744.5;TN95

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2014)09-1122-05

Research on the algorithm of laser scanning in tracking the position of human targets

GUO Ai-bo, WANG Hong, ZHENG Xing-wen, LI Mu-yan

(College of Mechanical Engineering and Automation, Northeastern University, Shenyang 110819, China)

Abstract: Aiming at tracking human target's position, the working principle of the two-dimensional laser scanner was summed up, the algorithm of the analysis of data was researched, an algorithm based on the technology of laser image scanning was designed. An elliptical model of the body's shoulder was built up. distance, angle and azimuth information of human target was acquired, and was displayed through Matlab GUI. A two-dimensional scanning plane was formed through Two-dimensional laser scanner used the rotating optical components. the function of regional scanning and profile measurement was realized. The results indicate that the position information of human target is acquired by laser scanner and have the basic agreement with the real position information, distance range is 0~4 m, the accuracy is better than 0.05 m, scope of angle is 240°, angular tracking accuracy is better than 2°, azimuth range is 360°, azimuth accuracy is 1°, the algorithm can be applied to engineering applications such as mobile platforms or robots which need tracking human targets in real time.

Key words: laser-scanning rangefinder; tracking; ellipse fitting; mixed programming; Matlab

0 引 言

激光测距由于其低成本、高精度、操作方便、实时和可在夜间测量等一系列优点^[1],被广泛应用在地面测绘和机器人传感器中^[2]。移动机器人可利用该传感器进行道路可行区域的提取^[3]。基于二维激光测距仪与旋转云台建立起的三维建模技术,可以实现空

间三维建模^[4]。基于雷达的人体微动研究是近年发展起来的新技术。Nanzer. J 等^[5-6]对雷达照射人体的回波信号进行分析,基于多普勒频率特性,提取出人体运动参数。该方法在分离人体各肢体的微多普勒频移中,还存在很多困难,且只能用于人体位置测量,无法测出人体方位信息。

本研究在使用一种二维近距离激光测距仪的前提

收稿日期:2014-05-04

基金项目:国家自然科学基金资助项目(61071057)

作者简介:郭爱波(1990-),男,山东泰安人,主要从事机械设计及理论方面的研究。E-mail:1352266073@qq.com.

通信联系人:王 宏(1960-),女,教授,博士生导师。E-mail:hongwang@mail.neu.edu.cn

下,采用椭圆拟合的分析思想,提出一种对人体跟踪的新算法。当人在一定范围内运动时,该算法通过人体识别、方位确定,较为准确地测取出人体运动的距离、角度和方位3个坐标,并通过GUI界面显示,以达到对人体目标的实时追踪。

1 硬件搭建与数据采集

激光扫描测距平台如图1所示。在实验平台中,激光测距传感器固定在三自由度支架上,支架可伸缩。测取数据时,考虑到人体肩部截面近似椭圆,以及算法中利用椭圆拟合的思想。为避免摆臂、腿部运动干扰数据测取,导致椭圆拟合的不准确,使传感器高度与人的肩部齐平。

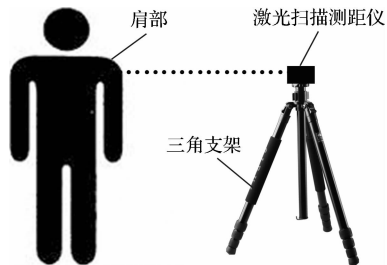


图1 激光扫描测距平台

相比于C/C++语言获取数据的方法,Matlab可进行向量化编程,可直接运用现有工具箱,具有更强的信号处理能力。因此,本研究首先利用Matlab编译器将C/C++程序编译为MEX文件供Matlab直接调用^[7]。其中mexFunction函数提供了Matlab与C/C++语言子程序的接口。MEX文件以后缀名为.mexw32的动态链接库的形式存在。

2 数据处理与主要算法

测距传感器的测量参数及测量示意图如表1、图2所示。

表1 测量参数

传感器	距离	误差	旋转步距	扫描周期
扫描测距	4 m	30 mm	0.36°	10 ms

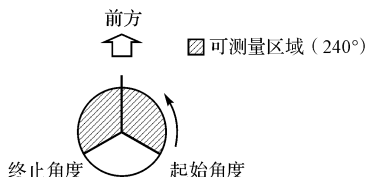


图2 测量示意图

由直角坐标、角坐标转换公式(1~3)将极坐标数据转为直角坐标数据。程序中首先利用人体数据点的连续性,通过设定阈值,捕捉到人体目标的位置。扫描周期内目标运动距离较小,为了实现对目标的持续跟踪,算法中下一扫描周期目标的初值为上一周期所得

目标位置,从而使跟踪对象始终是同一个人,而不受附近运动人体的影响。

$$x = \rho \cos \theta \quad (1)$$

$$y = \rho \sin \theta \quad (2)$$

$$\tan \theta = y/x (x \neq 0) \quad (3)$$

人体肩部宽度约为45 cm,厚度d约为20 cm。扫描周期t为10 ms,人步行速度v约为1.5 m/s。一轮扫描发现不了人体目标的概率p为1%。这一过程的可靠性为:

$$1 - 0.01^{0.1 \div (0.01 \times 1.5)} = 99.99\% \quad (4)$$

人体目标发现后,在人体肩部水平截面轮廓处建立椭圆模型。该模型与实际轮廓较为相似。本研究借助观测点椭圆拟合的方法,求出该椭圆长轴、短轴,长轴即为人左右方向,短轴即为人前后方向。椭圆的一般方程为:

$$Ax^2 + Bxy + Cy^2 + Dx + Ey + 1 = 0 \quad (5)$$

本研究使用Matlab非线性拟合函数nlinfit求出A~E这5个参数后,可利用式(6~8)求解目标参数。

长轴倾角:

$$\theta_c = \frac{1}{2} \arctan \frac{B}{A - C} \quad (6)$$

椭圆几何中心:

$$X_c = \frac{BE - 2CD}{4AC - B^2} \quad (7)$$

$$Y_c = \frac{BD - 2AE}{4AC - B^2} \quad (8)$$

式中: X_c, Y_c, θ_c —目标横坐标,纵坐标,方位参数。

但算法在使用过程中,迭代过程敏感于初始条件。且传感器只能采集到肩部约半数的轮廓信息,由于不完整的椭圆样本点及噪声的存在,尤其是圆弧段较短时,噪声的影响会使拟合结果的曲率和方向都有明显变化,结果的可信度也大大下降。甚至可能使拟合结果退化为开放的双曲线,引起拟合失败。

算法改进如下:

由于跟踪过程的连续性和跟踪目标的唯一性,椭圆模型的长轴a和短轴b在捕获目标时便可确定。同时目标坐标参数(X_c, Y_c)可由质心算法求出,只需求出目标方位参数 θ_c 。平面椭圆的任意位置可由标准椭圆旋转和平移得到。当椭圆焦点在x轴上时,平面椭圆的标准方程为:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 (a > b > 0) \quad (9)$$

旋转平移矩阵:

$$T = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ X_c & Y_c & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

据此,可获得任意位置的椭圆方程。依据最小二乘法原理,在已知椭圆中心的情况下,使椭圆模型绕椭圆中心旋转,并依据目标轮廓点 Y_c 参数,使目标轮廓点 X_c 参数与椭圆模型靠近传感器一侧的数据点进行方差计算。不断旋转椭圆模型,直至方差最小为止。最终椭圆模型的旋转参数 θ 即为目标方位参数 θ_c 。在该过程中,考虑到目标轮廓的不完整性,应用基于最小二乘法的不完整椭圆的拟合算法^[8-9]。

持续跟踪的算法原理如下:

- (1) 设定目标位置初值,第一次扫描时手动设置初值,后续初值为上一次扫描结果;
- (2) 在设定初值处由人体目标连续性捕获目标,并通过人体肩部尺寸参数约束,使目标更加准确。(若未发现目标,循环执行步骤(1))。
- (3) 计算目标参数 (X, Y) , 并建立椭圆标准方程。
- (4) 不断改变旋转椭圆的角度参数,并计算相应方差值,直到方差最小为止。至此获得人体目标 X, Y, θ 这 3 个运动参数。

算法流程图如图 3 所示。

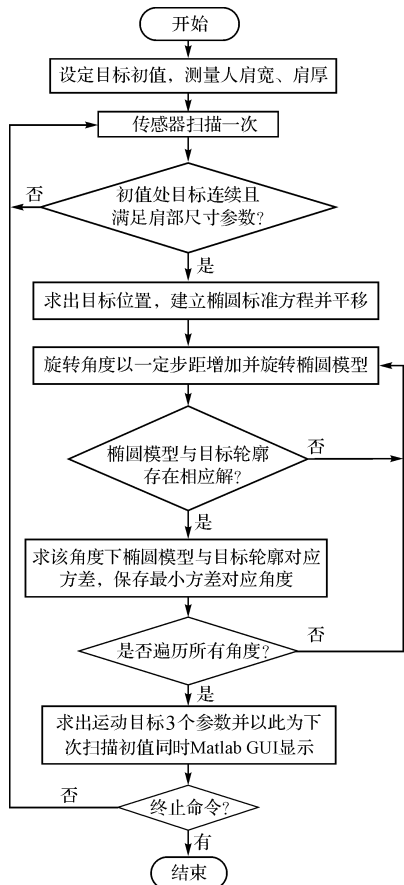


图 3 算法流程图

3 Matlab GUI 界面

Matlab GUI 界面可以实现数据显示和人机交互功

能^[10-11]。该界面包括实时显示区、参数输入区、结果输出区和控制区 4 部分:①实时显示区分别显示目标轮廓点、椭圆拟合过程及最佳拟合椭圆。该区坐标以激光扫描仪为原点,激光雷达正前方为 X 轴,与之垂直的方向为 Y 轴。②参数输入区包括扫描时间间隔和椭圆拟合步距,扫描时间间隔即两个相邻扫描周期时间间隔,可选数值为 5 ms、10 ms、15 ms、20 ms、25 ms 和 30 ms。椭圆拟合步距即椭圆旋转角度步距,决定了目标方位的精度及运算速度,可选数值为 1° 、 5° 、 10° 、 15° 、 20° 、 25° 和 30° 。③结果输出区显示运算后目标信息 X_c, Y_c, θ_c 。④控制区包含两个控制按钮,一个是“运行、暂停”按钮,另一个是“退出”按钮。扫描步距为 10° 时 GUI 界面及某一时刻的扫描结果如图 4 所示。

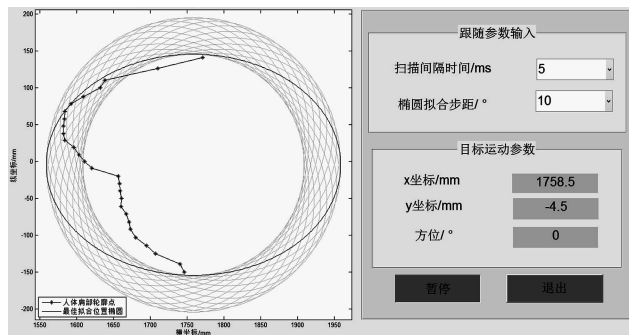


图 4 Matlab 界面

4 参数选择与算法测试

4.1 目标轮廓点提取

对目标的持续跟踪依赖于人体肩部轮廓的连续性,即在初值附近,对相邻扫描点设置阈值,捕捉完整轮廓。阈值的大小直接影响扫描结果的准确性,阈值过大会造成捕捉错误目标,或因目标尺寸过大,不满足约束而屏蔽;阈值过小则造成目标尺寸过小而被屏蔽。阈值过大或过小还会改变目标尺寸,影响后续分析计算。某一次扫描后所有数据点与提取后的目标轮廓点如图 5 所示。Matlab 界面中实时显示区所示的图像为图 5 中粗线提取部分的放大。

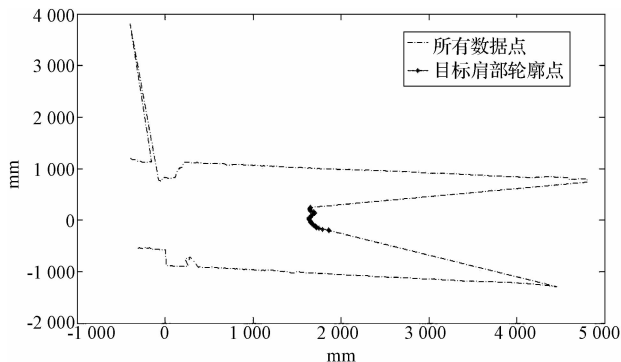


图 5 目标轮廓提取

提取轮廓过程中,在不同阈值下,各测试 20 次所得的数据如表 2 所示。得出最佳阈值为 100 mm。

表 2 不同阈值比较

阈值	90	95	100	105	110
偏大次数	0	0	0	1	3
偏小次数	5	2	1	1	1
合适次数	15	18	19	18	16
成功率	75.0%	90%	95.0%	90.0%	80.0%

4.2 椭圆模型长短轴测量

激光扫描测距仪为单点发散式测量方式,与人体相切的射线切点并不在人体双肩两侧,而稍靠内。所以,也不能简单地以人体轮廓极值宽厚为长轴建立椭圆模型,而应该乘以一个肩宽系数。表 3 中,通过实际

肩宽与轮廓极值的比值,得出肩宽系数的测量值。拟合步距为 5°时,使用肩宽系数之后拟合效果和未使用时的对比如图 6 所示,很明显,后者拟合更加准确。

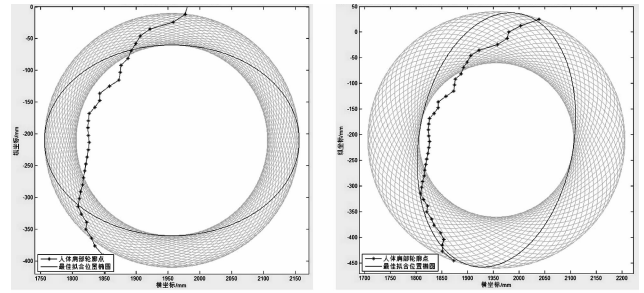


图 6 肩宽系数使用前后的对比

表 3 实际肩宽与轮廓极值关系

	第一人	第二人	第三人	第四人	第五人	第六人	第七人	第八人	第九人	平均
实际肩宽/mm	502	443	450	472	425	446	449	432	450	452.11 ± 22.81
轮廓极值/mm	480	426	432	451	409	426	430	411	432	433.00 ± 21.51
比值	1.046	1.040	1.042	1.047	1.039	1.047	1.044	1.051	1.042	1.044 ± 0.004
拟合前误差/%	-4.40	-3.85	-4.03	-4.49	-3.75	-4.49	-4.21	-4.85	-4.03	-4.21
拟合后误差/%	0.19	-0.38	-0.19	0.28	-0.48	0.28	0	0.67	-0.19	0

4.3 椭圆拟合步距对测量结果的影响

在满足上述优化参数的条件下,测试结果如图 7 所示。步距为 1°、5°、10°和 15°时的拟合结果分别如图 7(a~d)所示。具体比较情况如表 4 所示。当步距越大时,误差也随之增大,测量时间减小。针对不同的测试需求,研究者可在 GUI 界面椭圆拟合步距参数下拉菜单中选择不同参数。

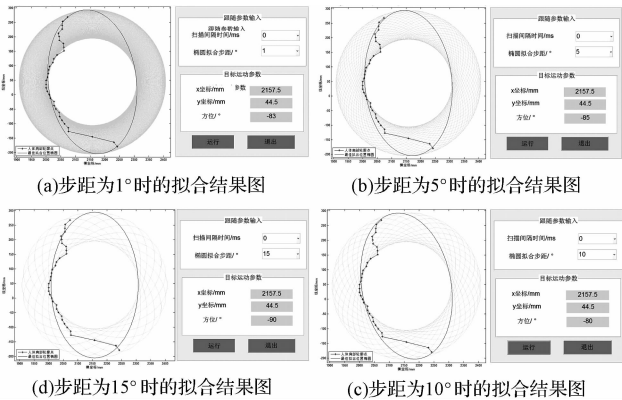


图 7 不同步距拟合结果

表 4 不同步距比较

步距/°	1	5	10	15
所测方位/°	-83	-85	-80	-90
方差值/10 ⁶	2.090 801	2.091 460	2.093 112	2.100 814
误差	0	2.41%	3.61%	8.43%
时间/ms	204.34	37.68	18.74	12.49

4.4 扫描时间间隔

扫描时间间隔即目标刷新频率,默认值为 0。当时间间隔小于 30 ms 时,能满足对目标的持续跟踪。

5 结束语

本研究运用 Matlab 与 C 语言混合编程的方法,设计了一种基于激光图像,实现对运动人体目标跟踪的算法。该算法主要应用椭圆拟合的思想,在对目标人体肩部椭圆拟合时,通过设定合理阈值(100 mm)、肩宽系数(1.044)使拟合结果更加准确。3 个维度的运动信息范围较大,且精度能满足一般测量需求。测量距离范围为 0 m~4 m,精度优于 0.05 m。角度范围为 240°,角跟踪精度优于 2°。方位范围为 360°,角跟踪精度最高 1°。用户还可以在使用界面中设置不同扫描间隔和椭圆拟合步距,满足不同需求。实验表明,本研究提出的算法可应用于对人实时跟随的移动平台或机器人中^[12-14]。

在下一阶段,本研究将通过激光雷达测取数据控制轮椅等实验来进一步完善算法。由于激光雷达智能用于近距离的数据测取,在今后的研究中,可能需要进一步改进算法,更好地适用于近距离测量并减少外界因素干扰带来的误差。

参考文献 (References):

[1] BYSTROV A, GASHINOVA M. Analysis of stroboscopic sig-

nal sampling for radar target detectors and range finders[J]. **IET Radar, Sonar and Navigation**, 2013, 7(4):451-458.

[2] TUNGADI F, KLEEMAN, L. Discovering and restoring changes in object positions using an autonomous robot with laser rangefinders [J]. **Robotics and Autonomous Systems**, 2011, 59(6):428-443.

[3] 侯学勇. 基于二维激光测距的移动机器人可行区域提取[D]. 杭州:杭州电子科技大学自动化学院, 2012.

[4] OKADA T, FIJISAKA T, KOSUGE Y, et al. Three dimensional vehicle tracking using visual image sensor and two dimensional radar[J]. **Transactions of the Institute of Electronics**, 2002, 85(5):846-855.

[5] NANZER J, ROGERS R. Bayesian classification of humans and vehicles using micro-doppler signals from a scanning-beam radar[J]. **IEEE Microwave and Wireless Components Letters**, 2009, 19(5):338-340.

[6] FOGLE O, RIGLING B. Micro-range/micro-Doppler decomposition of human radar signatures[J]. **IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems**, 2012, 48(4):3058-3072.

[7] XIA Xin. VC and Matlab hybrid programming method and example study[J]. **Journal of Geomatics**, 2012, 33(3):83-88.

[8] KANATANI K. Ellipse fitting with hyperaccuracy[J]. **IE-ICE Transactions on Information and Systems**, 2006, 89(10):2653-2660.

[9] ZOU Yi-min, WANG Bo, LI Ji-zong. Fragmental ellipse fitting based on least square algorithm[J]. **Chinese Journal of Scientific Instrument**, 2006, 27(7):808-812.

[10] LI Tong, XIANG Si-tong, LI Ji-zong. Development of GUI of Mechanics of Material on Matlab[J]. **Research and Exploration in Laboratory**, 2010, 29(8):42-44.

[11] 劳立辉, 窦争宝, 刘凤连. 移动机器人控制系统[J]. **轻工机械**, 2012, 30(3):50-53, 57.

[12] 邢迪雄, 张琦. 基于 CATIAV5 的工业机器人运动学仿卖研究[J]. **机械**, 2011(1):63-67.

[13] 晏祖根, 王端泽, 孙智慧, 等. 四自由度并联机器人运动学分析[J]. **包装与食品机械**, 2014(2):34-36, 57

[14] 单建华. 未知环境下移动机器人实时模糊路径规划[J]. **机电工程**, 2009, 26(1):1-4.

[编辑:张 豪]



机械制造[®]

MACHINERY 月刊



创刊于

1950年

主要栏目

慧眼聚焦、专题报导、研究·开发、制造·材料、现状·趋势·战略、试验·检测、工艺·装备、维修·改装、经验交流、机电信息、质量·成本·管理、企业·产品·市场、技术讲座等。

读者对象

面向全国机电行业及相关配套行业的生产企业、设计研究院所、各院校从事机电产品研究、开发、设计、制造、设备应用等工程技术人员, 以及企业规划、管理、营销等专业人士。

中国标准连续出版物号: ISSN1000-4998
CN31-1378/TH

发行: 公开发行, 全国各地邮局征订
邮发代号: 4-18 国外发行代号: M5562
刊期: 月刊(每月20日出刊) 幅面: 大16开
定价: 12元/期
地址: 上海中兴路960号2号楼415室 邮编: 200070
电话: 021-63292023 63217621 56902460
传真: 56902460
E-mail: jixiezhizao@126.com
网址: www.jxzzzz.com

- 国家百种重点科技期刊
- 华东地区优秀期刊
- 中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)
- 中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊

★ 欢迎订阅 ★ 欢迎赐稿 ★ 欢迎刊登广告

本刊已加入中国学术期刊综合评价数据库、中国核心期刊(遴选)数据库、中国期刊全文数据库、中国期刊网、中文科技期刊数据库、万方数据库资源系统等。

本文引用格式:

郭爱波, 王宏, 郑兴文, 等. 激光扫描追踪人体目标位姿的算法研究[J]. **机电工程**, 2014, 31(9):1122-1126.

GUO Ai-bo, WANG Hong, ZHENG Xing-wen, et al. Research on the algorithm of laser scanning in tracking the position of human targets[J]. **Journal of Mechanical & Electrical Engineering**, 2014, 31(9):1122-1126.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>