

基于惯性导航的消防室内定位技术研究

王胜和

(安徽公安职业学院信息网络安全监察系,合肥 230088)

摘要:面对城市高层建筑火灾,消防室内定位的需求日益凸显。首先讲述了消防室内定位现状,详细介绍惯性导航定位技术腰部方案和脚部方案的原理,并针对目前主流的消防室内定位技术进行对比论证,最后提出了惯性导航消防室内定位技术创新改进方案。

关键词:惯性导航;消防定位;室内定位;地图匹配;融合定位

中图分类号:U666.12; TU998.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1673-1891(2019)01-0067-03

A Study on Indoor Fire-fighting Positioning Technology Based on Inertial Navigation

WANG Shenghe

(Department of Information Networks Security Supervision, Anhui Police College, Hefei 230088, China)

Abstract: When fire breaks out in urban high-rise buildings, there's an apparent need for indoor fire-fighting positioning service. This paper first introduces the current indoor fire-fighting positioning technology, and then details the principles of the waist plan and the foot plan of the positioning technology based on inertial navigation. Lastly it gives contrasting demonstrations between current mainstream indoor fire-fighting positioning technologies and then proposes innovative solutions to improve the indoor positioning technology based on inertial navigation.

Keywords: inertial navigation; fire-fighting positioning; indoor positioning; map matching; integrated positioning

0 引言

室内定位的需求在消防领域内日益凸显,在面对重特大恶性灾害、高层建筑火灾事故等各种类型的危险情况下,如何在有效提升灾害救援进度和效率的同时,又能最大限度地保障第一线消防员个人安危,正成为一个亟待解决的现实问题。消防室内定位技术的研究可以确定消防员在火场中的位置,保证对火场中遇险消防员的有效施救,保障消防员进出火场的安全。惯性导航技术不依赖任何外部信息,是完全自主式导航,能够满足应急任务室内定位需求。随着微型机电系统(Micro-Electro-Mechanical-Systems, MEMS)技术的发展,惯性测量装置(Inertial Measurement Unit, IMU)具有了成本低、重量轻、便于携带的优点,使其具备研制穿戴式设备的优势,迅速成为研究热点。

本文首先讲述了消防室内定位现状,然后详细介绍惯性导航定位技术腰部方案和脚部方案的原理,并针对目前主流的消防室内定位技术进行对比

论证,最后提出了惯性导航消防室内定位技术创新改进方案。

1 消防定位现状

消防装备影响消防员的作战方式和作战水平,甚至关系着消防员自身生命安全。目前,应用成熟的消防定位设备有安全绳和呼救器两种^[1]。安全绳系在消防员身上,外部人员通过有限长度的安全绳寻找消防员,限制了消防员的自由活动度。呼救器佩戴在战斗服上,在危险情况下,消防员可以主动操作发出声光报警,或者消防员静止超过一定时间,呼救器自动发出声光报警,但由于声光报警作用距离有限,救援效率低下,最关键的是以上两种设备并不能将消防员的准确位置实时上报。

消防员进入复杂的建筑火灾现场后,消防室内定位系统能让后方的指挥人员准确获取作战人员所处的火场位置和运动状态,能够为被困人员提供最佳的救援路线。为了准确确定消防员在建筑内

的位置,国内外研究机构相继提出多种室内定位技术解决方案。目前,美、德、日等国分别就单兵作战系统中的室内定位问题,依据各种导航技术方法研制出多种试验产品^[2]。杜克大学开发出了Un-Loc室内定位系统^[3],借助Landmarks消除惯性导航的累积误差,能够提高精度,但是该系统并不具有通用性。芬兰的IndoorAtlas系统^[4]是利用室内建筑的地磁场特征来确定位置信息的技术方案,需要建立地磁场的数据库,并不适合消防应急场合。

国内,上海消防研究所研制了“消防员三维追踪定位装备”,利用高精度惯性传感器和地磁实现了人体运动姿态识别和三维轨迹确定。但由于高精度惯性传感器价格昂贵,且采用腰部方案的累积误差较大,不适于普遍推广。

使用WLAN等无线信号进行室内定位的研究较多,优势在于定位成本低,信号覆盖范围大,适用性强^[5]。由于信号衰减和多径等问题,利用信号强度实现的定位精度不高。为了提高定位精度,学者们大多采用指纹数据库(fingerprint)的方法。但是在极为复杂的火灾现场,部分无线接入点(AccessPoint, AP)的消失,会导致基于无线信号的室内定位系统误差增大甚至无法使用。

人员室内导航定位的研究颇多,但大多难以适应火场能见度低、情况复杂的恶劣环境。所以,研究高精度、低成本、适应复杂环境的室内定位系统,具有重大的研究意义和实用价值。

2 惯性导航定位技术原理

根据惯性测量装置(Inertial Measurement Unit, IMU)佩戴部位的不同,惯性导航技术在室内定位的应用方式主要分为两种:腰部方案和脚步方案。这两种方案由于佩戴位置不同,IMU呈现的周期性信号有差异,实现定位的技术原理也有区别。

2.1 腰部方案

IMU佩戴在腰部,采用的是传统的行人航位推算(Pedestrian Dead Reckoning, PDR)算法。传统的PDR算法是基于行人步态特征进行计步和步长估计,联合航向信息推算行人的位置,实现定位需求。航位推算公式^[6]为:

$$X_k = \begin{bmatrix} E_k \\ N_k \\ \varphi_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} E_{k-1} + SL_k \cdot \sin(\varphi_k) \\ N_{k-1} + SL_k \cdot \cos(\varphi_k) \\ \varphi_{k-1} + \delta\varphi_k \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中, SL_k 、 φ_k 分别为第 k 步的步长和航向, $\delta\varphi_k$ 为第 $k-1$ 步到第 k 步的航向变化, E_{k-1} 、 N_{k-1} 分别为行走第 k 步前的东向坐标和北向坐标, E_k 、 N_k 分别为完成

第 k 步后的东向坐标和北向坐标。

腰部方案佩戴方便,但是需要对不同的步态,包括行走、跑步、爬行、上下楼梯等,如图1^[2]所示,进行检测以估算步长,误差较大,实际应用受到很大限制。具有代表性的产品是上海消防研究所开发的消防员单兵定位装置和美国SEER Technology的NAVISEER^[7]。定位误差一般在行走距离的2%~5%,很难满足消防定位的实际应用需求。



图1 消防员步态

2.2 脚部方案

脚部方案也是属于航位推算的一种,和腰部方案不同的是:腰部方案是以步数为单位进行位置推算,在推算过程中很难找到量测值进行误差修正;而脚步方案以采样点为单位进行推算,普遍采用扩展卡尔曼滤波(Extended Kalman Filter, EKF)和零速修正(Zero Velocity Updates, ZUPT)融合算法修正每一步中的累积误差。

随着人的行走,加速度波形呈现周期性特征,但是IMU穿戴在人身上不同部位,其波形和周期性明显不同。当IMU在脚部时,脚步交替过程中,加速度计和陀螺的输出信号总有一个相对静止阶段,在此阶段,将积分速度归零,进行零速校正更新,这就是ZUPT的基本原理^[6]。脚部方案的原理图如图2所示。

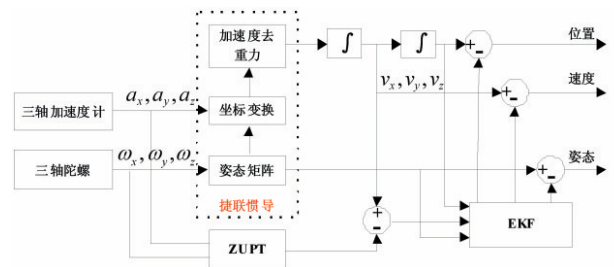


图2 脚部方案原理图

相比腰部方案,脚部方案每一步都能对误差进行修正,能够有效抑制误差的发散。利用捷联惯导的原理进行位置和姿态的解算,不需要进行步态检测,定位精度优于腰部方案。目前市场上基于惯性导航技术的室内定位案例和产品大多采用这一方案。具有代表性的产品有安徽方正北斗电子科技有限公司的消防单兵定位装置^[8]和湖南格纳微信息科技有限公司的定位模块^[9]。定位误差能保持在行走距离的1%以内,基本满足消防应急救援任务的需求。

3 室内定位技术对比

室内定位技术可以根据不同的特征和原理进行分类,包括绝对/相对定位、主动/被动定位、精度、覆盖范围、所用信号、传感器类型等方面,以便研究人员和开发者更好地评估一个定位系统^[10]。

目前主流室内定位技术普遍需要外部设施或先验信息,比如UWB(Ultra Wide-band)^[11]、WLAN^[5]、蓝牙(Bluetooth)^[9]、地磁^[4]、ZigBee^[12]等,表1为几种室内定位技术对比。消防救援等应急任务通常来不及布置外部定位基站或AP,即使依靠建筑内原有的基站或AP,而在火场中,基站或AP的部分消失,会使指纹数据库不准确,从而导致定位不准确或者无法定位,无法满足应急救援、消防等方面的应用需

表1 几种主流室内定位技术对比

	WLAN	ZigBee/Bluetooth	惯性导航
定位方法	指纹数据库	邻近探测	航位推算
覆盖范围	20~50 m	1~50 m	全覆盖
精度	2~10 m	2~10 m	1%以内
环境影响	易受环境干扰,指纹采集工作量大	稳定性差,易受环境干扰	不依赖外部环境
信号穿墙能力	可以	不可以	不依赖信号
基础设施	不需要,共享现有的AP	需要部署专门的基站	不需要
功耗	高	低	低

参考文献:

- [1] 何肇瑜.基于惯性导航技术的消防人员引导系统[J].消防科学与技术,2016,35(8):1120-1123.
- [2] RANTAKOKKO J, STRÖMBÄCK P, ANDERSON P. Foot- and knee-mounted INS for firefighter localization[C]// Proceedings of the 2014 International Technical Meeting of the Institute of Navigation, ITM 2014, San Diego, California: Curran Associates, Inc., 2014:145-153.
- [3] WANG H, FARID M, SEN S, *et al.* No need to war-drive: unsupervised indoor localization[C]// Proceedings of the 10th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services, 2012:197-210.
- [4] INDOORAtlas[EB/OL].(2017-12-20).<http://www.indooratlas.com/how-it-works/>.
- [5] 王悦.基于WIFI室内定位的消防救援系统关键技术的研究[D].上海:上海交通大学,2014.
- [6] 申崇江,冯成涛,崔莹,等.穿戴式室内行人航位推算系统研究[C]//第五届中国卫星导航学术年会论文集,南京:中国卫星导航学术年会组委会,2014.
- [7] NAViSEER[EB/OL].(2017-12-20).<http://www.seertechnology.com/>.
- [8] 方正北斗C型产品[EB/OL].(2017-12-20).<http://www.founderbd.com/>.

求。惯性导航定位技术是一种完全自主式的导航技术,不依赖任何外部设备或先验数据库,是目前消防应用领域比较稳妥的手段。但是惯性导航存在累积误差,通过技术上改进和创新提高定位精度,实现火场等复杂环境下的广泛应用仍是目前的难点。

4 技术创新改进

目前主要有以下几种方式的技术改进,提高惯性导航定位的精度:

(1)地图匹配方法:惯性导航信息通过与室内地图的结合,能够抑制累积误差。但是室内地图的制作缺乏统一的标准,室内环境变换较快,相对于成熟的室外电子地图,在更新和共享上存在较大的难点。上海交通大学钱久超^[10]将惯导定位与地图结合实现手机端的室内定位,正常持握手机姿态下95%误差为0.8 m。

(2)融合定位方法:单独的惯性导航解决不了累积误差的问题,通过融合多传感器信息、多种定位技术提高定位系统的精确性和鲁棒性。主要有惯性导航与WLAN融合、惯性导航与蓝牙融合、惯性导航与地磁融合等。格纳微信息科技有限公司在一个面积约200 m*300 m百货商场中进行实验,只部署3个蓝牙信标,进行时间约1.5 h、总行程约6 km的自由行走,不借助任何地图信息,定位误差最大3.6 m,90%以上时间定位误差均在2 m内。

5 结语

面对日益复杂的火灾救援现场,研究高精度、低成本、兼容复杂动作的消防室内定位技术保障消防员的生命安全,具有重大的研究意义和实用价值。

福感,促进学生心理健康发展;在与父母团聚频率这一自变量上,与父母团聚频率在半年以内的学生在主观幸福感总分上显著高于与父母团聚频率在半年以上的学生,与父母团聚频率在半年以上的学生在心理健康总分上得分显著高于与父母团聚频率在半年以内的学生,可知,与父母团聚频率在半年以内的留守学生主观幸福感水平和心理健康水平均高于团聚频率在半年以上的学生,这也说明,与父母经常见面,对于学生幸福感水平和心理健康水平有积极作用。

在本研究结果中,具有留守经历大学生主观幸福感总分与心理健康总分及其各维度上均存在显著负相关,SCL-90症状自评量表得分越高,表明症状越严重,这说明,曾留守大学生主观幸福感水平与心理健康水平呈显著正相关,主观幸福感越强的人,心理健康水平越高。

参考文献:

- [1] DIENER E D, SUH E M, LUCAS R, *et al.* Subjective well-being: three decades of progress[J]. *Psychological Bulletin*, 1999, 125(2):276-302.
- [2] 汪向东,王希林,马宏,等.心理卫生评定量表手册(增订版)[M].北京:中国心理卫生杂志社,1999:83-86.
- [3] 周永红,吕催芳,徐凡皓.留守儿童心理弹性与心理健康的关系研究[J]. *中国特殊教育*, 2013(10):52-58.
- [4] 杨琴.留守经历大学生心理韧性、自立人格及其与心理健康的关系[J]. *中华行为医学与脑科学杂志*, 2012, 21(3):268-271.
- [5] 谭斌.曾为留守儿童的在校大学生心理健康状况分析[J]. *韶关学院学报(自然科学版)*, 2010(6):87-90.
- [6] 王玉花.儿童期留守经历、社会支持、应对方式与大学生主观幸福感的关系[J]. *中国健康心理学杂志*, 2008, 16(4):388-390.
- [7] 严标宾,郑雪,邱林.大学生主观幸福感的影响因素研究[J]. *华南师范大学学报(自然科学版)*, 2003(2):137-142.
- [8] 张海龙,苏俊鹏,李齐,等.大学生主观幸福感与心理健康的关系[J]. *牡丹江师范学院学报(哲学社会科学版)*, 2015(4):110-112.

(责任编辑:蒋召雪)

(上接第69页)

- [9] GNW-FISM鞋垫式定位模块[EB/OL].(2017-12-20).<http://www.glonavin.com/>.
- [10] 裴凌,刘东辉,钱久超.室内定位技术与应用综述[J]. *导航定位与授时*, 2017, 4(3):1-10.
- [11] 陆冰琳.基于UWB的消防员室内无线定位算法分析与仿真[D].上海:东华大学, 2015.
- [12] 林群.基于ZigBee的消防员室内定位系统设计和实现[D].上海:东华大学, 2014.

(责任编辑:蒋召雪)