



基于 VLC 的室内定位技术研究

赵大明¹, 王欣²

(1. 北京国电通网络技术有限公司, 北京 100070;

2. 国网物资有限公司, 北京 100120)

摘要: VLC 是利用白光 LED 固态光源在照明的同时实现通信的绿色通信技术, 基于 VLC 的室内定位方法具有室内传统无线定位方法难以取代的优势。通过对可见光通信技术的研究, 结合定位精度提升算法, 将提供低成本、低功耗、高精度、保证照明功能的可见光定位解决方案, 并从系统方案与信道模型、信号接收与处理技术、高精度定位算法、图像辅助技术等方面展开研究。

关键词: 可见光通信; 室内定位; 定位算法

中图分类号: TN929

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2019031

Research on indoor positioning algorithm based on visible light communication

ZHAO Daming¹, WANG Xin²

1. Beijing Guodiantong Network Technology Co., Ltd., Beijing 100070, China

2. State Grid Materials Co., Ltd., Beijing 100120, China

Abstract: VLC is a green communication technology that realizes communication while using white LED solid-state light source for illumination. Through the research on visible light communication technology, combined with the positioning accuracy improvement algorithm, a low-cost, low-power, high-precision, illumination-enabled visible light positioning solution was proposed. System scheme and channel model, signal receiving and processing technology, high precision positioning algorithm, image assisted technology were analyzed.

Key words: visible light communication, indoor positioning, location algorithm

1 引言

随着无线技术的不断发展, 各种基于定位的位置信息服务受到越来越多的重视。目前, 应用最广泛的全球定位系统 (global positioning system, GPS) 已应用于车辆导航、工程测量、海洋

救援、飞机导航、航空遥感等许多领域。但在人们活动较为频繁的商场、医院、办公楼等室内环境以及隧道、地下停车场等特殊环境, 由于无线电信号被遮蔽, GPS 等传统卫星定位服务无法正常使用。现代社会人们大部分的时间都在室内活动, 并且随着城市化的发展, 人们对室内定位的

收稿日期: 2018-09-12; 修回日期: 2019-01-23

需求越来越迫切,室内定位系统(indoor position system, IPS)应运而生。基于LED绿色照明光源的VLC(visible light communication,可见光通信)技术具有频谱宽、绿色节能、布设简单、成本低廉、深度覆盖、可与照明有机结合等突出优点,在室内无线定位领域具有良好的应用前景。

2 室内定位技术现状及对比

过去几年,基于无线电波技术提出了许多室内定位方案,主要有WLAN、RFID、UWB、Wi-Fi、超声系统、蓝牙等,这些方法提供了从几米到几十厘米的定位精度。然而,大多数基于无线通信的系统会受到电磁干扰的影响,而且在多个用户共享的情况下通信质量会下降,这些都直接影响了定位质量。谷歌公司在Android系统上推出了楼层平面图应用,通过Wi-Fi信号追踪设备位置,即通过识别建筑物中设置的Wi-Fi信号热点,对不同信号源的强度进行三角测量,粗略地得出大概位置,该应用的服务地点包括购物商场、机场和一些大型的商业区。诺基亚公司也在研发类似的室内定位系统,但与普通的2D平面图不同,该系统使用的是逼真的3D模型,运用的媒介是蓝牙信号,而不是Wi-Fi信号,因而能够得到更精确的结果,但是这意味着需要部署许多的蓝牙信号源。Broadcom公司发布了一款支持IPS的芯片(BCM4752),该芯片支持各种各样形式的IPS方案:Wi-Fi、蓝牙甚至NFC(near field communi-

cation,近场通信)技术。Broadcom公司的芯片几乎能够感知所有的运动过程,而且无需通过无线信号网络进行三角测量。它只需测定人们进入建筑物的地点(通过GPS),然后计算步数(通过加速计)、方向(通过陀螺仪)和高度(通过高度计)。美国加利福尼亚大学洛杉矶分校研发了基于超声波定位方法的AHLos定位系统。该系统主要采用反射测距法,即系统发射超声波,并接收由被测物产生的回波,根据回波与发射波的时间差计算出待测距离。上述无线定位系统虽然解决了GPS在室内无法定位的问题,然而受室内复杂环境的影响,往往存在定位精度不高的问题,并且需要安装无线收发设备,增加了系统的复杂度和成本。常见的室内定位技术对比见表1。

3 基于VLC定位的关键技术

3.1 系统方案与信道模型

本文综合考虑了系统响应速率、系统复杂度、数据传输速率,权衡采用光电探测器阵列或图像传感器作为接收终端的系统方案。分析接收终端形态(图像传感器或光电探测器阵列)在采样速率、接收视场、像元划分密度、信号处理规模等方面的特点,分析其与系统复杂度、通信性能的关系。定位及成像通信演示系统使用光电探测器配合图像传感器(平板电脑的摄像头)作为接收终端,终端使用平板电脑(提供摄像头和姿态传感器)和外接扩展模块(光电探测器接收电路)

表1 室内定位技术对比

技术方式	频率	是否限制发射功率	是否需要基站	定位精度	技术特点
RFID	2.4 GHz	是	是	>1 m, 通过辅助定位器实现	RFID为私有通信协议,定制性强、安全性高,属于ISM开放频段,专用于物联网
ZigBee	2.4 GHz	是	是	>1 m, 通过辅助定位器实现	国外标准协议,成熟、兼容性强,但由于公有协议存在漏洞,容易被破解
UWB	6.24~6.74 GHz	是	是	>10 cm	精度高,频段需要无线电委员会批准,干扰少,标签电池续航时间短
VLC		否	否	>10 cm	无电磁辐射,信号光源发射功率高,无需申请无线电频谱,安全性高



的形式。基于可见光通信的定位方案如图 1 所示。

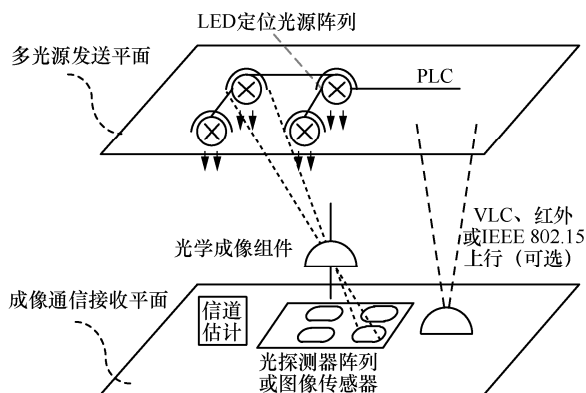


图 1 基于可见光通信的定位方案

根据光的传播特点和光学成像系统的光学特点，分析在室内定位及成像通信场景中多光源阵列式成像接收端系统的信道特点，特别要分析接收终端随空间位置变化、姿态变化而导致的信道质量变化；分析系统噪声来源及多 LED 光源引入的干扰，主要分析多个光源在成像时均形成模糊的光斑，且各个光斑出现混叠的情况；分析成像系统的光学增益，分析影响路径损失的各项因素；最终形成信道模型，为收发机设计提供指导。

3.2 信号接收与处理技术

研究空间分集技术，利用对应同一信号、来自于不同光学成像角度的不同像点之间的互信息和时、频、空域相关性获得分集增益。研究空间多址与复用技术，利用对应于不同信号、来自于不同光学成像角度的不同像点之间的时、频、空差异实现用户的区分和信道的复用，提升整体信道容量。

针对光信道的脆弱性、时变性和信道衰减，研究脆弱光信道下基于接收分集、突发应对机制和干扰抑制方法的可靠高效通信方案。研究系统容量和脆弱信道链路可靠性的自适应权衡策略。采用主成份分析（principal component analysis, PCA）、MUSIC 算法和新兴的压缩感知等高效现代信号处理理论与技术，对定位终端接收成像通信数据流进行高速、低复杂度的信号处理。

本文提出利用图像传感器接收低速信号的方案。充分利用消费级手机摄像头在摄像模式中逐行曝光、读取数据的特点，在一帧中影像实现多个比特数据的接收，如图 2 所示。LED 发送 0、1 高速交替的信息，利用普通手机摄像头对 LED 进行摄像，可以获得明显黑白交替的影像结果，即可以接收到 0、1 交替的信息，如图 3 所示。该方案可以同时接收数据和精确定位，系统复杂度低，可以在无需添加额外模块的条件下，在现有消费级手机平台上实现精确定位功能。

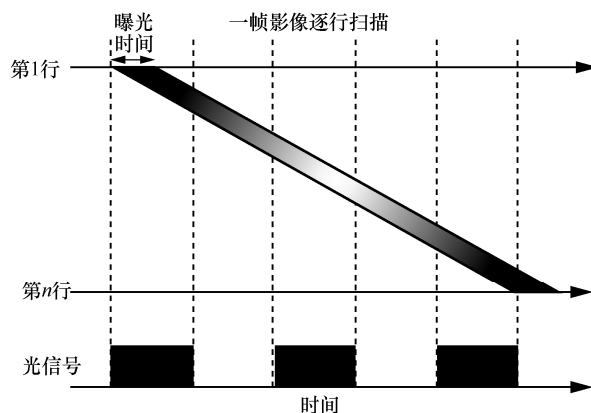


图 2 消费级手机摄像头工作原理

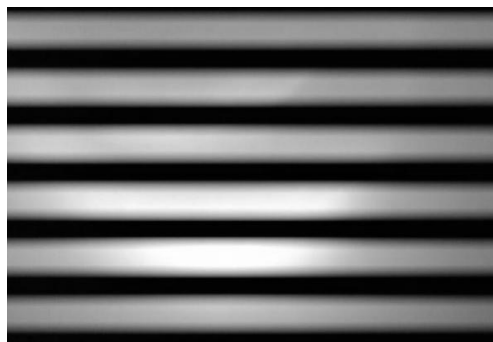


图 3 手机摄像头接收信号时的影像

3.3 高精度定位算法

本文在室内可见光成像通信的基础上，对可见光定位技术进行系统级研究，实现高精度的室内定位方案。研究主要从基于成像系统的定位算法、辅助定位算法等方面开展，最终以达到厘米级的定位精度为目标。利用光电探测器（photo detector, PD）、图像传感器（平板电脑摄像头）

和姿态传感器（电子罗盘、陀螺仪等）测算自身位置信息，定位精度达到 2 cm。

（1）基于成像系统的定位算法

设计基于成像系统的室内定位系统方案：多个 LED 在提供照明的同时，通过 VLC 发送自己的位置 ID 信息，接收终端采用成像通信方式接收光信号，解调和分析各个像元接收的光信号，并通过几何光学理论计算得到自身的位置信息。

面向高精度的应用需求，优化定位算法：利用不同像元接收同一个光源的光强比例精确地测算出光源像斑的中心位置，优化定位精度。利用多光源联合定位，增加几何光学方程维数，减小误差。利用随机过程马尔可夫概率模型，提出有效像元预切换的算法，提高终端移动情况下的像元分析速度，降低由于终端移动引入的系统误差。

（2）辅助定位算法

研究利用电子罗盘、陀螺仪等辅助设备辅助几何分析的定位方法，提供惯性定位算法，降低定位算法复杂度。利用摄像头成像和姿态角度传感器提供的高精度角度方位参量，在终端移动和姿态变化等条件下，选择可靠光源进行定位，增强在多变、脆弱条件下的可靠性。利用传感器的角度信息、成像中的相对位置信息降低几何分析中多维方程的未知数数目，提高算法可靠性。

研究多灯定位模式自适应切换机制和精度调整定位技术，实现在多灯覆盖的范围内，接收终端可以自适应切换定位模式和算法，灵活选择单灯粗定位、双灯粗定位和多灯精确定位，实现精度调整定位智能化与自动化，减小达到目标定位效果消耗的时间，提高在多灯交叠覆盖区域下定位的效率和精度。

3.4 图像辅助技术

本文面对成像通信的特点，引入图像辅助技术，为成像通信系统性能优化、高精度定位算法研究等方面从成像角度提供优化方法。本文分别针对成像通信和定位算法两方面进行研

究，分别研究适用于成像通信和定位的图像辅助算法。

（1）成像通信信道估计

引入数字图像处理手段和压缩感知理论联合辅助分析系统信道特性，针对高清晰度成像的二维数字图像，利用变换域分析、压缩感知理论等数字图像处理技术，对可见光传输信道进行快速、低复杂度的粗估计；研究终端二维成像的数字图像与信道畸变、多径效应和光路非直射影响的定量关系，基于数字图像处理、信号处理理论和信道容量理论，构建基于接收成像的信道粗估计模型，对信道的衰减和变化进行定量或半定量的评估。

研究基于连续变化图像分析理论的像元切换机制。在终端空间位置和姿态不断变化的应用场景下，成像通信中接收信号的像元不断切换。引入连续变化图像分析理论，利用连续变化图像联合傅里叶分析结合马尔可夫随机过程模型，分析像元切换概率，优化像元切换算法，提升系统通信性能。

（2）图像预估定位算法

在用消费级摄像头直接接收低速信息的系统中，需要从黑白间隔影像中恢复信息。利用傅里叶分析、小波变换、快速聚类等图像分析手段简化图像处理复杂度，加速图像处理速度。设计针对响应时间全面优化的图像处理算法，保证在消费级移动平台上该系统方案可以正常运行。

在图像传感器接收架构下研究基于图像处理的定位算法，通过处理光源在图像传感器上形成的像，以模式识别的手段还原出空间位置关系。基于成像通信的高精度定位算法在接收端成像阵列上定位出 LED 成像所在像元的精确坐标，实现了 2 cm 精度的定位功能。

4 结束语

室内定位技术在商业中心、大型楼宇、高危



工业园区以及医院等室内场所有着广泛的应用前景,目前如何提高定位精度及定位实时性仍是研究重点及难点,因此研究室内定位技术具有重要的理论意义和实用价值。而LED作为第四代新型半导体照明光源,具有绿色环保、高效节能、长寿命、易于调控等优点,并且可见光通信技术借助目前广泛覆盖的照明网络,用移动终端的摄像头接收的方式就可实现通信与室内定位。本文分析了现有用单摄像头做接收端的VLC室内定位技术,针对其信道模型、信号接收与处理技术、定位算法、图像辅助技术等问题展开研究,并通过构建实物原型系统进行实际效果验证。

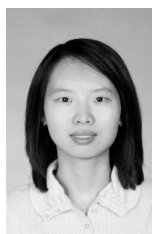
参考文献:

- [1] 赵嘉琦,迟楠.室内LED可见光定位若干关键技术的比较研究[J].灯与照明,2015(1):34-41.
ZHAO J Q, CHI N. Comparative research on several key indoor positioning technologies based on LED visible light communication[J]. Light & Lighting, 2015(1): 34-41.
- [2] 许银帆,黄星星,李荣玲,等.基于LED可见光通信的室内定位技术研究[J].中国照明电器,2014(4):125-128.
XU Y F, HUANG X X, LI R L, et al. Research on indoor positioning technology based on LED visible light communication[J]. China Light & Lighting, 2014(4): 125-128.
- [3] 姜玲玲.自适应OFDM在室内可见光通信中的应用研究[D].长春:长春理工大学,2010.
JIANG L L. Application research of adaptive OFDM in indoor visible light communication[D]. Changchun: Changchun University of Science and Technology, 2010.
- [4] 陈特,刘璐,胡薇薇.可见光通信的研究[J].中兴通讯技术,2013(1):49-52.
CHEN T, LIU L, HU W W. Visible light communication[J]. ZTE Communications, 2013(1): 49-52.
- [5] 杨延辉.电力线OFDM系统信道估计技术研究[D].秦皇岛:燕山大学,2015.
YANG Y H. Research on channel estimation technology of power line OFDM system[D]. Qinhuangdao: Yanshan University, 2015.
- [6] 栾新源.基于LED可见光通信的室内定位关键技术研究[D].上海:上海大学,2016.
LUAN X Y. Research on key technologies of indoor positioning based on LED visible light communication[D]. Shanghai: Shanghai University, 2016.
- [7] 刘阳,赵华,黄开枝,等.可见光室内环境下的组网策略研究[J].电信科学,2014,30(1):8-14.
LIU Y, ZHAO H, HUANG K Z, et al. Research on networking strategy in visible indoor environment[J]. Telecommunications Science, 2014, 30(1): 8-14.
- [8] 林金桐,李岩,曾星琳.光通信:探索未来10年——2016年欧洲光通信会议述评[J].电信科学,2016,32(11):47-52.
LIN J T, LI Y, ZENG X L. Optical communications: exploring the next 10 years-review of the 2016 European conference on optical communication [J]. Telecommunications Science, 2016, 32(11): 47-52.

[作者简介]



赵大明(1982-),男,北京国电网络技术有限公司能源互联网运营中心总监助理、中级工程师,主要研究方向为智能用电、智能家居、无线通信、能源互联网等。



王欣(1983-),女,国网物资有限公司招标采购专责、中级经济师,主要研究方向为数据统计分析、无线通信、能源互联网等。