

基于手机环境光传感器的室内可见光定位方法

吕慧超*, 黄河清, 陈工, 刘小晗, 王媛, 袁柳

(中国电子科技集团公司 电子科学研究院, 北京 100043)

摘要:为了解决室内可见光定位中成像型定位能耗高、非成像型定位设备复杂的问题,提出一种基于手机环境光传感器的室内可见光定位方法。首先,利用频率折叠效应和光源标签识别算法,求解光源发送的信号原始频率。然后通过提前建立好的光源频率-坐标数据库获取光源位置,即得到设备位置。实验结果表明:该方法可在低功耗、低计算量的前提下,实现光源覆盖小区内部的光源识别与设备定位,定位精度取决于光源密度。

关键词:室内可见光定位; 频率折叠; 双频采样; 环境光传感器; 手机

中图分类号: TN914 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-5561(2022)04-0089-05

DOI: 10.13921/j.cnki.issn1002-5561.2022.04.016

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Indoor visible light location method based on mobile phone ambient light sensor

LYU Huichao*, HUANG Heqing, CHENG Gong, LIU Xiaohan, WANG Yuan, YUAN Liu

(China Academic of Electronics and Information Technology, CETC, Beijing 100043, China)

Abstract: In order to solve the problems of high energy consumption of imaging positioning and complex of non-imaging positioning equipment in indoor visible light positioning, an indoor visible light location method based on mobile phone ambient light sensor is proposed in this paper. Firstly, the original frequency of the signal sent by the light source are solved by using the frequency folding effect and the light source label recognition algorithm. Then through the light source frequency coordinate database established in advance to obtain the light source position, so as to obtain the equipment position. The experiment result shows that this method can realize the light source identification and equipment positioning in the light source coverage area on the premise of low power consumption and low calculation, the positioning accuracy depends on the light source density.

Key words: indoor visible light location, frequency folding, dual frequency sampling, ambient light sensor, mobile phone

0 引言

近年来,随着工业 4.0 与智慧物流的发展,室内定位的需求不断增加^[1]。室内可见光定位技术^[2]有以下优点:可直接利用室内已有的照明光源作为信号发射端^[3],同时提供照明和室内定位服务,布设成本较低;以可见光信号为载体,不会产生射频波段的电磁波信号,因此不会与室内已有的无线通信信号产生干扰;可见

光信号具有直线传播的特性,不会穿透墙壁,与利用射频信号的室内定位方法相比,可见光定位不会出现跨楼层和跨房间误定位的问题^[4]。

根据接收端采用的可见光探测器的不同,室内可见光定位方法可以分为非成像型和成像型 2 种^[5-9]。非成像型可见光定位需要在接收端使用高速单元光电探测器^[5-6,10],因此需要专用的接收模块,适用于某些专用的场合^[6,11]。成像型可见光定位^[7-8,12]可利用智能终端(如手机)自带的成像探测器,不需要额外添加接收模块,适用于普通商用场合。但是,对于目前的成像型可见光定位方法,大多需要接收端同时采集来自多个照明光源的信息,对光源在场景中的分布密度要求较高,并且需要智能终端的摄像头长时间开启,耗电量大且影响终端续航时间。而在许多室内定位的应用场景中,如商场、超市和车站等,用户对定位精度并不十

收稿日期:2022-04-15。

基金项目:国家自然科学基金项目(NSFC)U19B2036 资助。

作者简介:吕慧超(1990—),男,山东烟台人,博士,2009 年考入北京理工大学,研究方向为光信息科学与技术,2019 年博士毕业,毕业方向为电子科学与技术。同年进入中国电子科技集团公司电子科学研究院工作,目前主要研究方向是室内可见光定位、机器学习。



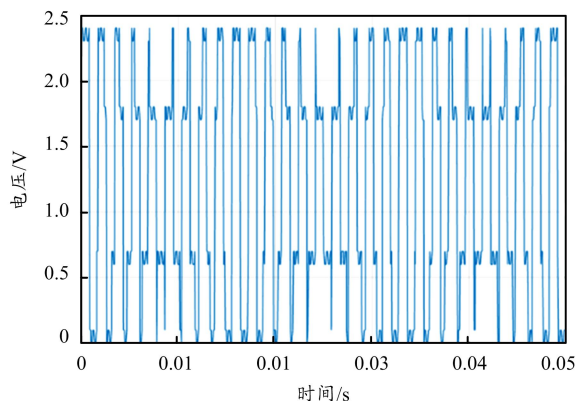
分敏感,只重点关注定位的便利、节能等特性。因此,这2种定位方法均存在固有缺点,无法大规模应用。

随着智能移动设备的发展,智能手机普及率越来越高,这为基于手机的室内可见光定位提供了巨大的应用潜力。但受器件成本影响,智能终端自带的环境光传感器模块采样率很低,按照奈奎斯特定理只能接收小于100 Hz的光信号,而光源若采用如此低频率的发射信号,人眼会感受到闪烁^[13]。为解决此问题,本文提出一种适用于低采样率前置环境光传感器模块的定位方法。

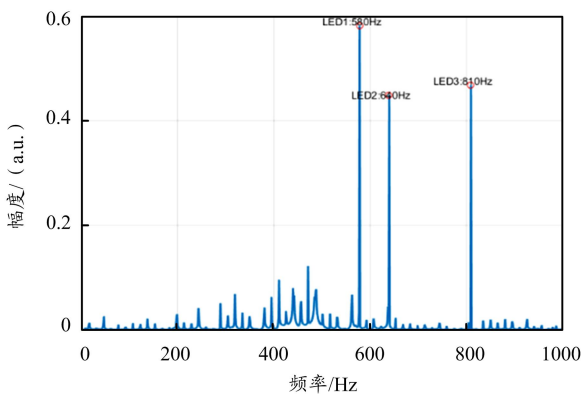
1 定位方法原理与定位算法流程

1.1 定位方法原理

在室内可见光定位系统中,探测器一般会同时接收到多个LED的信号,需要通过特定方法^[5-6]区分来自不同LED的信号。以频分复用为例,当探测器同时接收到来自3个LED的信号时,可通过快速傅里叶变换(FFT)将信号从时域转为频域来识别不同LED的信号,接收端接收的信号图如图1所示。不同的信号频率代表不同的光源,幅度表征信号强度。



(a) 信号时域图



(b) 信号频域图

图1 接收端接收的信号图

智能手机的环境光传感器的核心感应部件是光电二极管,接收原理与传统的光电探测器原理一致,只是其采样率远小于传统的光电探测器,智能手机的环境光传感器采样率一般在200 Hz以下。为了避免人眼感到闪烁,光源的调制频率一般要大于100 Hz。按照奈奎斯特定理,从采样结果中无法直接获得被采样信号的频率。但是,按照频率折叠理论^[13],当采样频率远低于信号本身频率时,采样得到的信号频谱会产生频率折叠效应,表达式为

$$f_a = \begin{cases} (N+1)S_a - f, & S_a/2 < f - NS_a < S_a \\ f - NS_a, & 0 < f - NS_a < S_a/2 \end{cases} \quad (1)$$

其中, f_a 为折叠后的频率, S_a 为采样率, f 为信号原始频率, f_s 为采样频率, N 为正整数。设信号源发射257 Hz的方波信号,采用100 Hz采样率进行接收,经过FFT后获得采样信号频率为43 Hz,频率折叠后的频谱图如图2所示,满足式(1)。

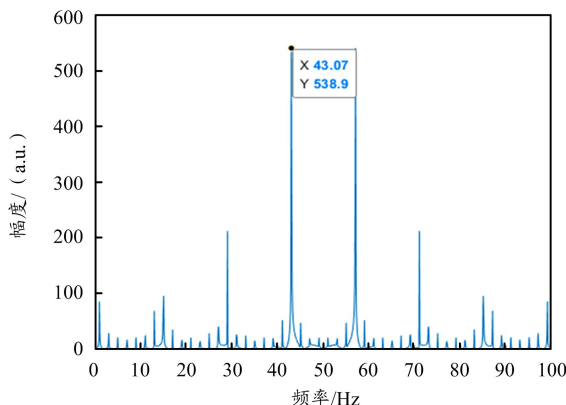


图2 频率折叠后的频谱图

由采样信号可以反推出信号的原始频率为

$$f = (N+1)S_a + f_a \quad \text{or} \quad f = f_a + NS_a \quad (2)$$

式(2)会得到一组原始频率值,无法确定真实频率。为此,本文提出了光源标签识别算法,即针对同一个光源信号,调整环境光传感器的采样频率,使用多个不同频率进行采样;再用式(2)反推信号原始频率,可大大减少 f 的个数;结合场景搭建时建立的光源频率-坐标数据库,即可确定原始信号的频率,进而获取其位置。

1.2 系统结构和算法流程

在光源标签识别算法的基础上,本文提出了基于多采样率的手机环境光传感器定位系统,其结构图如图3所示。

系统主要有发射端和接收端2个部分,其中发射端包括下行发送处理器、光源驱动电路和照明光源,在提供照明的同时发送与定位相关的可见光信号。接

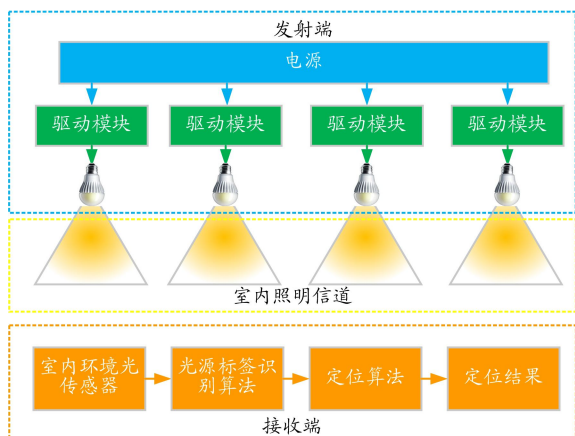


图3 系统结构图

收端包括环境光传感器、光源标签识别算法和定位算法,其中环境光传感器用来接收光源的光信号;光源标签识别算法通过对环境光传感器接收到的光信号进行解算,区分光源;定位算法则是在获得光源标签的基础上,得到接收端在室内环境下的具体位置,定位算法流程图如图4所示。

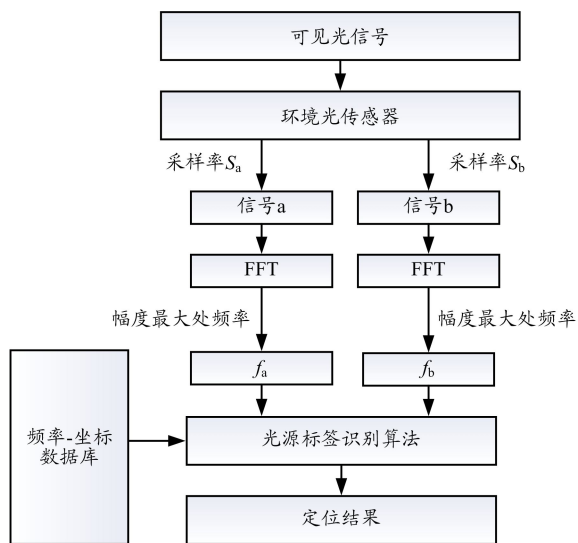


图4 定位算法流程图

定位算法具体步骤如下:

①在发射端采用信号处理器产生可见光信号(周期信号)并进行频率分配,驱动电路驱动光源阵列中的光源发送与其分配频率对应的周期信号,周期信号的频率需满足人眼看不到闪烁的条件(大于50 Hz)。不同光源之间独立发送信号,不相互影响。

②在接收端中记录每个LED发送频率所对应的位置信息,并建立频率-坐标数据库。

③设置合适的采样率 S_a (环境光传感器的采样率一般小于200 Hz,因此可选用150 Hz左右的质数采

样率,如157 Hz),使用接收端集成的环境光传感器采集信号,得到信号a,并储存。

④在同一个光源的照明区域中,将环境光传感器的采样率变为 S_b ,使 S_b 与 S_a 不同且不为整数倍,然后再对光源信号进行采集,得到信号b,并存储。

⑤在获得信号a和信号b之后,在接收端的处理模块,利用光源标签识别算法对接收到的信号进行处理,具体步骤如下:

(A)对信号a和信号b分别进行FFT,并提取最大幅度信号所对应的频率值,记为 f_a 和 f_b 。

(B)在步骤②建立的频率-坐标数据库中,对于 f_a ,先选取所有频率进行遍历,判断其是否满足式(1),保留满足条件的频率。然后用 f_b 替换 f_a ,按照式(1)对之前保留的频率进一步验证,经过2次筛选后,可得到唯一的频率,即环境光传感器接收到的光源所对应的原始频率 f 。

⑥将步骤⑤中得到的频率与频率-坐标数据库进行比对,得到此光源的二维坐标,并认为此坐标为接收端的二维坐标。

至此,得到接收端在空间中的具体位置,定位完成。

2 实验验证

为测试所设计的定位方法能否准确识别光源,本文搭建了由2个LED灯组成的实验系统,如图5所示。考虑到实际场景中,行人手持智能设备离天花板



图5 实验装置图

吕慧超,黄河清,陈工,等:基于手机环境光传感器的室内可见光定位方法

距离约为 2 m,因此实验系统中 LED 距离地面高度为 2 m,LED 额定功率为 50 W,调制之后实际功率为 25 W。由于 2 个灯参数一致,将坐标纸中心位置作为定位区分线,在坐标纸的 x 轴和 y 轴上以 10 cm 为步长进行定位。使用华为 Mate20 作为智能终端(即接收端,将其放置于地面保持水平接收状态)获取光源信号,实时处理后判断定位准确度。实验具体参数如表 1 所示。定位结果如图 6 所示,其中蓝色代表识别正确,粉色代表识别错误。

表 1 实验参数

参数	值
场地尺寸/m	3×2×2
2 个 LED 的空间坐标/m	(0.5,1,2),(2.5,1,2)
2 个 LED 的调制频率/Hz	1251/2207
LED 直径/m	0.18
接收平面距地面高度/m	0
光源半视场角/(°)	120
光传感器型号	AMSTSL2581
光传感器最大采样率/Hz	300
光传感器最大工作功率/mW	1
摄像头型号	Imx320
摄像头最大功率/mW	1000

从图 6 可以看出,在 2 个光源交接的地方由于光照度相当,会出现识别错误的情况,而在各自内部区域则能较为准确地识别出光源,进而确定自身位置。同时,实验也证明了本文提出的定位方法定位精度取决于光源的分布密度,光源分布越密集,定位精度就会越高,反之定位精度下降。

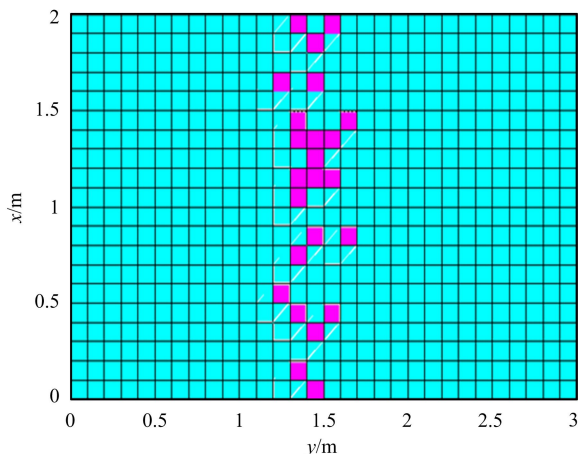


图 6 定位结果

3 定位方法性能对比

将本文提出的基于手机环境光传感器的定位方法与其它类型的可见光定位方法进行比较,综合评估各算法的性能,结果如表 2 所示。可以看出,本文所提定位方法有以下优势:

①计算量、数据量均小于其它 2 种定位方法,在光源识别部分,由于本文所提定位方法的计算量主要集中于光源识别部分,数据量少,因此计算量也小于其它定位方法;在后续定位方法部分,本文所提定位方法为粗定位,直接将识别到的 LED 灯的位置作为自身位置,因此计算量远远小于其它定位方法。较小的计算量可占用更少的 CPU 计算时间,减少智能设备的功耗。

②本文所提定位方法的传感器功耗远低于其它定位方法采用的传感器。

③本文所提定位方法的传感器集成在设备中,不需要额外附加传感器模块,因此比其它定位方法更便

表 2 本文所提定位方法非成像型定位方法和成像型定位方法的优劣比较

方法名称	场景搭建	光源识别	定位方法	是否平放	传感器功耗 (传感器型号)	是否需要外置设备	定位精度	数据接收量
本文所提定位方法	调制发光源并建立频率-坐标数据库	对采集到的信号进行 FFT,利用频率折叠效应反推原始信号频率	将光源位置作为手机位置,计算简单	是	1 mW (AMSTSL2581)	否	米级	约 200 b/s
非成像型定位方法	调制发光源并建立频率/特征-坐标数据库	对采集到的信号进行 FFT,直接获得原始信号频率	使用信号强度分析/到达角度定位(RSS/AOA)等室内定位方法求解探测器位置	是	3000 mW (ThorlabsAPD120A2)	是	厘米级	约 10 kb/s
成像型定位方法	调制/改造发光源并建立频率/图像-坐标数据库	使用图像识别/色彩识别对光源进行区分	寻找图像特征点,采用多点定位法或机器学习求解摄像头位置	否	1000 mW (Imx320)	否	毫米级	约 2.4 Mb/s

利。另外, 3 种定位方法都需要建立光源-坐标数据库, 因此前期准备相差不大。

但是, 在定位精度上, 本文所提定位方法逊色于其它定位方法, 因此不适用于需要高精度定位的场合, 只能用于如商场、超市和车站等粗定位、便携、对续航要求高的场景中。

4 结束语

本文提出了一种基于手机环境光传感器的室内可见光定位方法, 可直接利用智能终端的环境光传感器。与非成像型定位方法相比, 该方法不需要额外附加定位模块, 提高了设备的便携性; 与成像型定位方法相比, 该方法的接收端采集数据量少 4 个数量级, 处理数据量更少, 减少了计算能耗; 与非成像型和成像型定位方法所用的传感器相比, 该方法的能耗降低近 3 个数量级, 有效减少了定位系统对智能终端续航的影响, 可应用于商场、超市和车站等定位场景中。

参考文献:

- [1] TIAN Z, WRIGHT K, ZHOU X. The darklight rises: visible light communication in the dark[C]//ACM. Proceedings of the 22nd Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. New York: ACM, 2016: 2-15.
- [2] KUO Y S, PANNUTO P, HSIAO K J, et al. Luxapose: indoor positioning with mobile phones and visible light [C]//ACM. Proceedings of the 20th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. Maui: ACM, 2014: 447-458.
- [3] YANG Z, WANG Z, ZHANG J, et al. Wearablescan afford: light-weight indoor positioning with visible light [C]//ACM. Proceedings of the 13th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services. New York: ACM, 2015: 317-330.
- [4] ZHANG C, ZHANG X. Pulsar: towards ubiquitous visible light localization[C]//ACM. Proceedings of the 23rd Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. Snowbird: ACM, 2017: 208-221.
- [5] GRUBOR J, RANDEL S, LANGER K D, et al. Broadband information broadcasting using LED-based interior lighting [J]. Journal of Lightwave Technology, 2008, 26(24): 3883-3892.
- [6] CAO Z C, CHENG M F, YANG Q, et al. Experimental investigation of environmental interference mitigation and blocked LEDs using a memory-artificial neural network in 3D indoor visible light positioning systems[J]. Opt. Express, 2021, 29: 33937-33953.
- [7] SALMAN K, DAND H E K. Performance Li-Fi indoor positioning systems using RSS-triangulation method [C]//CAAI. Proceeding of 2022 Second International Conference on Artificial Intelligence and Smart Energy (ICAIS). Beijing: CAAI, 2022: 1741-1746.
- [8] WU Q, HE Y X. Indoor location technology based on LED visible light and QR code[J]. Appl. Opt., 2021, 60: 4606-4612.
- [9] LIU R, LIANG Z, YANG K, et al. Achine learning based visible light indoor positioning with single-LED and single rotatable photo detector[J]. IEEE Photonics Journal, 2022, 14(3): 1-11.
- [10] LV H C, FENG L H, YANG A Y, et al. High accuracy VIC indoor positioning system with differential detection [J]. IEEE Photonics Journal, 2017, 9(3): 1-13.
- [11] BASIRI A, LOHAN E S, MOORE T. The impact of galileo open service on the location based services markets: a review on the cost structure and the potential revenue streams [M]. Springer International Publishing: Multi-Technology Positioning, 2017.
- [12] GLANZER G, BERNOULLI T, WIESSFLECKER T, et al. Semi-autonomous indoor positioning using MEMS-based inertial measurement units and building information [C]//IEEE. Proceeding of Positioning, Navigation and Communication. Hannover: IEEE, 2009: 135-139.
- [13] RAJAGOPAL S, ROBERTS R D, LIM S K. IEEE 802.15.7 visible light communication: modulation schemes and dimming support [J]. IEEE Communications Magazine, 2012, 50(3): 72-82.
- [14] ANTONIOU A. Digital signal processing [M]. Canada: McGraw-Hill Toronto, 2006.