



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105871462 B

(45)授权公告日 2018.05.15

(21)申请号 201610326757.9

H04B 1/7107(2011.01)

(22)申请日 2016.05.17

H04B 1/711(2011.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

H04J 11/00(2006.01)

申请公布号 CN 105871462 A

H04W 64/00(2009.01)

(43)申请公布日 2016.08.17

(73)专利权人 华南理工大学

地址 510640 广东省广州市天河区五山路381号

(56)对比文件

CN 103823204 A,2014.05.28,全文.

CN 105425210 A,2016.03.23,全文.

CN 105353347 A,2016.02.24,说明书第[0014]-[0097段]及图1-2.

(72)发明人 吴玉香 关伟鹏 陈颖聪 文尚胜

H. Qian 等.A Robust CDMA VLC System

Against Front-End Nonlinearity.《IEEE

(74)专利代理机构 广州市华学知识产权代理有限公司 44245

Photonics Journal》.2015,

代理人 罗观祥

审查员 钟泽槟

(51)Int.Cl.

H04B 10/116(2013.01)

H04B 10/556(2013.01)

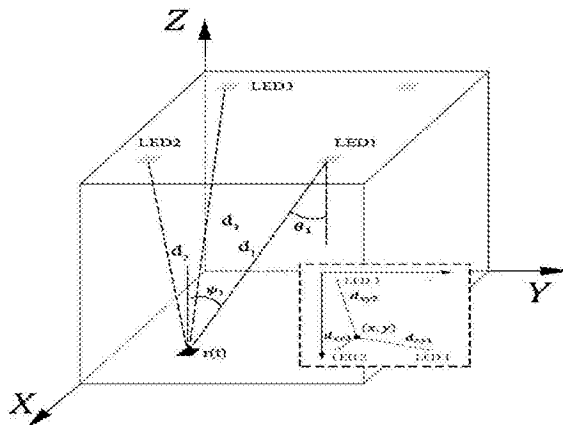
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

基于CDMA调制的可见光通信定位方法及其定位系统

(57)摘要

本发明公开了一种基于CDMA调制的可见光通信定位方法,包括以下步骤:1、形成带宽为B1的基带调制信号;2、形成带宽为B2的扩频信号;3、所述扩频信号经LED驱动电路驱动LED灯具发出可见光信号;4、获得ID信息;5、根据所述的ID信息并结合RSS三角定位算法,最终得出定位的位置坐标。本发明还公开了一种基于CDMA调制的可见光通信定位方法的定位系统,包括:发射子系统、传输子系统和接收子系统;本发明具有不仅大大提高了定位的精度,而且系统简单且不需要同步发射,大大提高了系统的性能。具有广阔的应用前景等优点。



1. 一种基于CDMA调制的可见光通信定位方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1、每个LED灯具所对应的ID信息通过OOK基带调制后形成带宽为 $B_1$ 的基带调制信号;

步骤2、所述基带调制信号经PN码发生器所产生的PN码进行扩频处理后,形成带宽为 $B_2$ 的扩频信号,其中, $B_2$ 远大于 $B_1$ ;

步骤3、所述扩频信号经LED驱动电路驱动LED灯具发出可见光信号;

步骤4、位于地面的由3个相同的光电二极管以边长为0.01m的等边三角形排列而成的光电检测器件接收可见光信号后,再经过相应的信号处理技术获得ID信息;

步骤5、根据所述的ID信息并结合RSS三角定位算法,最终得出定位的位置坐标;

所述步骤5中的RSS三角定位算法包括:

步骤51、每一个LED都携带着经过CDMA编码后的ID信息在室内空间中传播,空间传播的路径看为LOS链路,因此,从LED到接收端直射视距光信道直流增益 $H(0)$ 的数学表达式为:

$$H(0) = \frac{1}{d^2} \cdot A_{LED}(\theta) \cdot A_{PD}(\psi), \quad (1)$$

其中, $\theta$ 为LED灯具的发射角, $\psi$ 为光电二极管的接收角,光电二极管和对应灯具的距离为 $d$ , $A_{LED}(\theta)$ 是LED在 $\theta$ 时候的增益, $A_{PD}(\psi)$ 是光电二极管在 $\psi$ 时候的增益;

经过抽样判决得到信号 $b_i(t)$ ,该信号可以认为是LED发出的原始信号,与经过自适应滤波器 $y_i(t)$ 的信号作比较,即可得到信号在空间中的衰减 $H(0)$ ,衰减 $H(0)$ 包括了空间信道的光衰减,加性高斯白噪声;根据公式(1),即得出光电二极管和对应LED灯具的距离 $d$ ;

$$d = \sqrt{\frac{A_{LED}(\theta) \cdot A_{PD}(\psi) \cdot P_{b_i(t)}}{P_{y_i(t)}}}, \quad (2)$$

其中, $P_{y_i(t)}$ 是经过匹配滤波器后抽取出来对应信道的信号的功率, $P_{b_i(t)}$ 是经过判决后还原出来的信号; $\theta = \cos^{-1} \frac{d}{H}$ ,其中 $H$ 为LED与光电二极管的垂直距离;当光电二极管水平放置时, $\psi = \theta$ ;

投影到光电二极管所在的平面,光电二极管与LED的水平距离 $d_{xy} = \sqrt{d^2 - H^2}$ ,由此可得出光电二极管与分别与每4个LED灯具所组成的定位单元中的三个LED灯具的关系式:

$$\begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = d_{xy1}^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = d_{xy2}^2 \\ (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = d_{xy3}^2 \end{cases}, \quad (3)$$

其中,下标1、2和3分别代表LED1、LED2与LED3; $[x_1, x_2, x_3]$ 和 $[y_1, y_2, y_3]$ 分别为LED1、LED2、LED3对应的横坐标和纵坐标; $[d_{xy1}, d_{xy2}, d_{xy3}]$ 分别为光电二极管与LED1、LED2、LED3之间的水平距离;通过求解上述方程组(3),即可确定光电二极管所在的精确位置 $(x, y)$ ;

步骤52、按步骤51所述方法分别求出3个光电二极管的坐标后,求对应三角形的重心,即求出精确的位置坐标。

2. 根据权利要求1所述的基于CDMA调制的可见光通信定位方法,其特征在于,所述步骤

4包括以下步骤:

步骤41、所述可见光信号经过光电检测器件后形成电信号;

步骤42、所述电信号经过EA放大电路以及自适应滤波器处理后形成解扩前的信号;

步骤43、CDMA解扩模块通过内置的同步电路来捕捉LED灯具所发射的PN码的准确相位,由此产生与发送端相位一致的PN码与所述解扩前的信号进行解扩处理,还原出ID信息。

3. 根据权利要求1所述的基于CDMA调制的可见光通信定位方法,其特征在于,所述步骤5中的定位位置坐标是通过ID信息确定定位的区域,通过RSS三角定位算法确定光电二极管与定位区域里三个不同LED灯具的距离,进而实现精确的定位。

4. 一种实现权利要求1所述的基于CDMA调制的可见光通信定位方法的定位系统,其特征在于,包括:发射子系统、传输子系统和接收子系统;所述发射子系统具有:OOK基带调制模块、CDMA扩频模块、LED驱动电路和LED灯具;所述接收子系统具有:光电检测器件、放大电路、自适应滤波电路和CDMA解扩模块;所述传输子系统为自由空间;所述OOK基带调制模块、CDMA扩频模块、LED驱动电路和LED灯具依次连接;所述光电检测器件、放大电路、自适应滤波电路和CDMA解扩模块依次连接;原始的ID信息经过OOK基带调制模块后,形成基带调制信号;所述基带调制信号经过CDMA扩频模块后形成扩频信号;所述扩频信号经过LED驱动电路驱动LED灯具发射可见光ID信息;所述可见光ID信息经过自由空间到达光电检测器件;所述光电检测器件将可见光ID信息转换为电信号;所述电信号再依次经过放大电路、自适应滤波电路和CDMA解扩模块最终获得ID信息以及空间传播时信号的衰减;根据所述ID信息,可以初步判断所在位置的区域,并根据信号的衰减大小,实现精确的位置定位。

5. 根据权利要求4所述的定位系统,其特征在于,所述CDMA扩频系统为直接序列扩频系统;所述的直接序列扩频系统包括:信息调制模块、PN码发生器和扩频调制模块;所述PN码发生器与扩频调制模块相连接,所述信息调制模块与扩频调制模块相连;信息经过信息调制后成为带宽为 $B_1$ 的基带调制信号,所述基带调制信号与PN码发生器所产生的PN码进行扩频处理形成带宽为 $B_2$ 的扩频信号,其中, $B_2$ 大于 $B_1$ 。

6. 根据权利要求4所述的定位系统,其特征在于,所述LED灯具根据室内的环境的需求布置 $m$ 个,其中, $m$ 为正整数,且 $m \geq 4$ ;以每4个LED灯具作为一个定位的位置单元,通过其中的三个LED灯具实现三角定位算法,并结合经过所述传输子系统的衰减系统实现精确的定位。

7. 根据权利要求4所述的定位系统,其特征在于,所述光电检测器件由3个相同的光电二极管以边长为0.01m的等边三角形排列,由于LED的光在自然环境中传递会产生衰减,通过对光强的衰减进行运算,即可计算出光电二极管与LED的距离。

8. 根据权利要求4所述的定位系统,其特征在于,所述CDMA解扩模块通过内置的同步电路来捕捉LED灯具所发射的PN码的准确相位,由此产生与发送端相位一致的PN码,作为解扩用的本地信号,以实现解扩。

9. 根据权利要求4所述的定位系统,其特征在于,所述自适应滤波电路通过最小均方误差算法来调整滤波器系数从而实现根据信号的变化来时刻调节滤波器参数。

## 基于CDMA调制的可见光通信定位方法及其定位系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及可见光通信定位技术,特别涉及一种基于CDMA调制的可见光通信定位算法。

### 背景技术

[0002] 全球定位系统(Global Positioning System,GPS)是良好的户外应用导航系统,在手机地图服务、汽车导航、船舶和飞机等行业具有广泛的应用。目前GPS室外定位技术已经十分成熟,并且普遍应用于各个领域,这很大程度上激励了室内定位技术的开发和研究。近年来,室内定位技术吸引了越来越多的关注,如大型仓库里的产品定位检测、大型建筑内部的导航服务(博物馆、购物中心、停车场)等。但是在建筑物内部、人口密集的城市、桥下、地下等环境,由于多径衰落的影响和其他无线设备的干扰使得GPS在建筑物内的信号覆盖较差,用于室内定位存在较大的误差。

[0003] 最近十多年以来,各科技巨头和研究机构在室内定位技术方面开展了大量的研究,涌现了很多新的技术,如基于移动通信网络的辅助GPS(A-GPS)、伪卫星(Pseudolite)、无线局域网(WLAN)、RFID、Zigbee、蓝牙、超宽带无线电(Ultra Wide Band,UWB)、地磁测量卫星、红外定位、光跟踪定位、计算机视觉定位、超声波定位,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影响,在多个用户共享的情况下通信质量下降,这些都直接影响了定位质量。与上述传统的室内定位方案不同,可见光室内定位技术是基于可见光通信(visible light communication,VLC)的室内定位技术,通过以人眼识别不了的高频来控制LED的光强度,进而传播定位的ID信息。VLC定位技术相对于传统室内定位技术具有定位精度高、附加模块少、保密性好、兼顾通信与照明,且没有电磁辐射、不受电磁干扰等优点,已成为国内外研究人员的研究热点。

[0004] 基于VLC的定位算法主要有接收信号强度(Received signal strength,RSS)、到达时间(Time of arrival,TOA)和到达时间差(Time difference of arrival,TDOA)。由于RSS通过测量信号在传递过程中的衰减程度即可测定相关距离,并不需要TOA或TDOA接收端和发射端有严格同步的时钟周期,控制简单,具有很好的应用前景。然而,由于定位系统中存在多个参考点,不同信源所发射的ID定位信息会由于多径效应的存在而产生码间干扰,进而大大限制了定位的精度。

### 发明内容

[0005] 本发明的首要目的在于克服现有技术的上述缺点与不足,提出一种实现基于CDMA调制的可见光通信定位方法,该方法通过利用CDMA调制中扩频码的正交性,每个LED发出的定位码经过特定的PN码直接扩频,经由自适应滤波器能分辨出各LED的ID码和对应的强度。

[0006] 本发明的另一目的在于克服现有技术的上述缺点与不足,提出一种实现基于CDMA调制的可见光通信定位方法的定位系统,该系统通过融合CDMA调制技术,搭建出一个可实现异步接收的高精度室内可见光通信定位系统。

[0007] 本发明的首要目的通过以下技术方案实现：一种基于CDMA调制的可见光通信定位方法，包括以下步骤：

[0008] 步骤1、每个LED灯具所对应的ID信息通过OOK基带调制后形成带宽为 $B_1$ 的基带调制信号；

[0009] 步骤2、所述基带调制信号经PN码发生器所产生的PN码进行扩频处理后，形成带宽为 $B_2$ 的扩频信号，其中， $B_2$ 远大于 $B_1$ ；

[0010] 步骤3、所述扩频信号经LED驱动电路驱动LED灯具发出可见光信号；

[0011] 步骤4、位于地面的由3个相同的光电二极管以边长为0.01m的等边三角形排列而成的光电检测器件接收可见光信号后，再经过相应的信号处理技术获得ID信息；

[0012] 步骤5、根据所述的ID信息并结合RSS三角定位算法，最终得出定位的位置坐标。

[0013] 所述步骤4包括以下步骤：

[0014] 步骤41、所述可见光信号经过光电检测器件后形成电信号；

[0015] 步骤42、所述电信号经过EA放大电路以及自适应滤波器处理后形成解扩前的信号；

[0016] 步骤43、CDMA解扩模块通过内置的同步电路来捕捉LED灯具所发射的PN码的准确相位，由此产生与发送端相位一致的PN码与所述解扩前的信号进行解扩处理，还原出ID信息。

[0017] 所述步骤5中的RSS三角定位算法包括：

[0018] 步骤51、每一个LED都携带着经过CDMA编码后的ID信息在室内空间中传播，空间传播的路径看为LOS链路，因此，从LED到接收端直射视距光信道直流增益 $H(0)$ 的数学表达式为：

$$[0019] \quad H(0) = \frac{1}{d^2} \cdot A_{LED}(\theta) \cdot A_{PD}(\psi), \quad (1)$$

[0020] 其中， $\theta$ 为LED灯具的发射角， $\psi$ 为光电二极管的接收角，光电二极管和对应灯具的距离为 $d$ ， $A_{LED}(\theta)$ 是LED在 $\theta$ 时候的增益， $A_{PD}(\psi)$ 是光电二极管在 $\psi$ 时候的增益；

[0021] 经过抽样判决得到信号 $b_i(t)$ ，该信号可以认为是LED发出的原始信号，与经过自适应滤波器 $y_i(t)$ 的信号作比较，即可得到信号在空间中的衰减 $H(0)$ ，衰减 $H(0)$ 包括了空间信道的光衰减，加性高斯白噪声；根据公式(1)，即得出光电二极管和对应LED灯具的距离 $d$ ；

$$[0022] \quad d = \sqrt{\frac{A_{LED}(\theta) \cdot A_{PD}(\psi) \cdot P_{b_i(t)}}{P_{y_i(t)}}}, \quad (2)$$

[0023] 其中， $P_{y_i(t)}$ 是经过匹配滤波器后抽取出来对应信道的信号的功率， $P_{b_i(t)}$ 是经过判决后还原出来的信号； $\theta = \cos^{-1} \frac{d}{H}$ ，其中 $H$ 为LED与光电二极管的垂直距离；当光电二极管水平放置时， $\psi = \theta$ ；

[0024] 投影到光电二极管所在的平面，光电二极管与LED的水平距离 $d_{xy} = \sqrt{d^2 - H^2}$ ，由此可得出光电二极管与分别与每4个LED灯具所组成的定位单元中的三个LED灯具的关系式：

$$[0025] \quad \begin{cases} (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 = d_{xy1}^2 \\ (x - x_2)^2 + (y - y_2)^2 = d_{xy2}^2 \\ (x - x_3)^2 + (y - y_3)^2 = d_{xy3}^2 \end{cases}, (3)$$

[0026] 其中,下标1、2和3分别代表LED1、LED2与LED3;  $[x_1, x_2, x_3]$  和  $[y_1, y_2, y_3]$  分别为LED1、LED2、LED3对应的横坐标和纵坐标;  $[d_{xy1}, d_{xy2}, d_{xy3}]$  分别为光电二极管与LED1、LED2、LED3之间的水平距离;通过求解上述方程组(3),即可确定光电二极管所在的精确位置(x, y);

[0027] 步骤52、按步骤51所述方法分别求出3个光电二极管的坐标后,求对应三角形的重心,即求出精确的位置坐标。

[0028] 所述步骤5中的定位位置坐标是通过ID信息确定定位的区域,通过RSS三角定位算法确定光电二极管与定位区域里三个不同LED灯具的距离,进而实现精确的定位。

[0029] 本发明的另一目的通过以下技术方案实现:一种实现基于CDMA调制的可见光通信定位方法的定位系统,包括:发射子系统、传输子系统和接收子系统。其特征在于:原始的ID信息经过OOK基带调制模块后,形成基带调制信号;所述基带调制信号经过CDMA扩频模块后形成扩频信号;所述扩频信号经过LED驱动电路驱动LED灯具发射可见光ID信息;所述可见光ID信息经过自由空间到达光电检测器件;所述光电检测器件将可见光ID信息转换为电信号;所述电信号再依次经过放大电路、自适应滤波电路和CDMA解扩模块最终获得ID信息以及空间传播时信号的衰减;根据所述ID信息,可以初步判断所在位置的区域,并根据信号的衰减大小,实现精确的位置定位。

[0030] 所述发射子系统包括OOK基带调制模块、CDMA扩频模块、LED驱动电路和LED灯具。

[0031] 所述传输子系统为自由空间。

[0032] 所述接收子系统具有:光电检测器件、放大电路、自适应滤波电路和CDMA解扩模块。

[0033] 由于可见光通信定位系统具有多个LED灯具,而不同LED灯具之间由于码间干扰从而大大影响了定位的精确度。为此,提出一种基于CDMA调制的可见光通信定位算法,利用CDMA调制技术对LED灯具发射的带有ID标签的光信号进行编码,移动终端接收到来自各个LED光源的光信号的混合信号,由于CDMA扩频编码具有正交性,可恢复出各LED光源的信息以及对应光信号的衰减,根据ID信息和其衰减大小,利用三角定位算法即可实现移动终端的精确定位。比起传统的可见光通信定位技术不仅大大提高了定位的精度,而且系统简单且不需要同步发射,大大提高了系统的性能。具有广阔的应用前景。

[0034] 与现有技术相比,本发明具有以下优点和有益效果:

[0035] 1、本发明创新性地将CDMA调制技术应用于VLC系统中,在不增加器件带宽的前提下,成倍地提高了无线通信的速率与质量。

[0036] 2、本发明针对定位系统中由于存在多个参考点而带来的多径效应的问题,创新性地实用光正交码,可以实现在时域与频域均重叠的信号分离,进而实现了码分复用,克服了由于码间干扰所带来的定位误差。

[0037] 3、本发明通过创新性地使用CDMA调制技术与RSS三角定位法相结合,与传统的定位系统相比,不仅实现了高精度的定位技术,而且不需要同步发射,大大增加了VLC定位系

统的稳定性。

### 附图说明

- [0038] 图1为本发明实现可见光通信定位的示意图。  
 [0039] 图2为本发明实现基于CDMA调制的可见光通信室内定位系统原理框图。  
 [0040] 图3为本发明直接序列扩频系统的原理框图。  
 [0041] 图4为本发明实现基于CDMA调制的VLC定位系统原理框图。  
 [0042] 图5为本发明实现三角定位算法的原理示意图。  
 [0043] 图6为本发明实施例自适应滤波器原理框图。

### 具体实施方式

[0044] 下面结合实施例及附图,对本发明作进一步地详细说明,但本发明的实施方式不限于此。

#### [0045] 实施例1

[0046] 如图1所示,一种基于CDMA调制的可见光通信定位算法的系统模型。根据室内的环境的需求布置m个LED灯具,其中,m为正整数,且 $m \geq 4$ ;以每4个LED灯具作为一个定位的位置单元。在地面,由3个相同的光电二极管以边长为0.01m的等边三角形组成光电检测器件。

[0047] 如图2所示,原始的ID信息经过OOK基带调制模块后,形成基带调制信号;所述基带调制信号经过CDMA扩频模块后形成扩频信号;所述扩频信号经过LED驱动电路驱动LED灯具发射可见光ID信息;所述可见光ID信息经过自由空间到达光电检测器件;所述光电检测器件将可见光ID信息转换为电信号;所述电信号再依次经过放大电路、自适应滤波电路和CDMA解扩模块最终获得ID信息以及空间传播时信号的衰减;根据所述ID信息,可以初步判断所在位置的区域,并根据信号的衰减大小,实现精确的位置定位。所述CDMA扩频与解扩原理如图3所示,其中本实施案例中采用直接序列扩频技术。

[0048] 如图4所示,为本发明中,实现基于CDMA调制的VLC定位系统原理框图。三个LED灯具分布输入不同的ID信息,经过相应的CDMA扩频处理后,实现了基于CDMA的VLC三角定位算法。Data1包括每个LED独特的ID信息和需要传播的信号。每个LED的Data1通过与特定的扩频码相乘。本实施案例中使用的扩频码为Walsh码。一个长度为 $2n$ 、具有 $2n$ 个元素的Walsh码可以通过哈达玛矩阵(Hadamard matrix)产生,如公式

$$[0049] \quad H_n = \begin{bmatrix} H_{n-1} & H_{n-1} \\ H_{n-1} & H_{n-1} \end{bmatrix} \quad (4)$$

[0050] 经过DS-CDMA编码后的信号,通过LED驱动电路,控制LED的发光亮度,以同一个通信信道传输到光电二极管上,接收到的混合信号如式所示。

$$[0051] \quad r(t) = \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{k=1}^K A_k b_k(i) S_k(t - iT_b) + \delta n(t) \quad t \in [iT_b, (i+1)T_b] \quad (5)$$

[0052] 其中, $A_k$ 表示第k个LED的信号强度, $b_k(i)$ 为第k个LED传输的信号序列, $T_b$ 为信息符号间隔, $S_k(t)$ 是归一化特征波形。第i个信息符号间隔内第k个自适应滤波器的输出为:

$$[0053] \quad y_k(i) = A_k b_k(i) + \sum A_j b_j(i) \rho_{jk+n_k} \quad (6)$$

[0054] 其中, $\rho_{jk}$ 是第k个和第j个用户特征波形的互相关,定义为:

$$[0055] \quad \rho_{jk} = \int_0^{T_b} S_k(t)S_j(t)dt \quad (7)$$

[0056] 由于Walsh码的完全正交性,即 $\rho_{jk}=0$ ,每个LED的信息经过对应的匹配滤波器后,得到对应的ID信息和空间传播时,信号的衰减。根据ID信息,可以初步判断所在位置的区域,并根据信号的衰减大小 $H(0)$ ,精确定位出位置。

[0057] 如图5所示,为RSS三角定位算法的原理示意图。ID信息确定定位的位置区域,即定位单元;根据接收光信号的衰减可以获得光电二极管与每个LED灯具之间的距离,进而实现精确的位置定位。

[0058] 一般商用的白光LED为荧光粉LED,由于荧光粉的响应延迟从而导致器件带宽一般只有几MHZ。当系统数据传输速率比较高时,LED带宽的限制增加,进而使对一个信号的影响扩展到相邻信号上,即产生码间干扰,从而导致系统误码率大大提升,故此VLC数据传输速率受到了大大的限制,可以通过信道的均衡处理来提高系统的带宽;与此同时,信道的随机性和随机性以及系统中电路噪声、相移等也会大大影响定位的质量以及精度;进一步地,在多址接入系统中,由于多径衰落导致各用户地址码的不完全正交性从而产生多用户的干扰(即多址干扰),可以通过后均衡处理技术来解决。因此,本项目拟通过使用DSP信号处理技术实现自适应滤波器算法,进而实现均衡信道,抵消回波,增强谱线,抑制信道噪声等功能。如图6所示,拟采用FIR横向型滤波器。通过最小均方误差(Least Mean Square,LMS)算法来调整滤波器系数从而实现根据信号的变化来时刻调节滤波器参数。从而解决了器件带宽以及多用户干扰等对定位精度影响的问题。

[0059] 上述实施例仅为本发明的一种实施方式,但本发明的实施方式并不受上述实施例的限制,其他任何未背离本发明的精神实质与原理下所作的改变、修饰、替代、组合、简化均应为等效的置换方式,都包含在本发明的保护范围之。



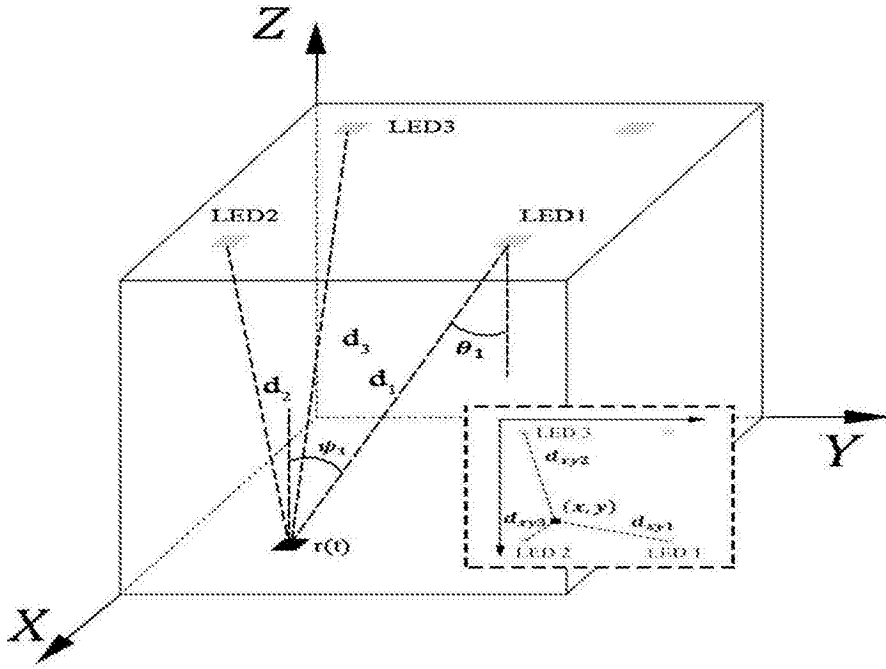


图1

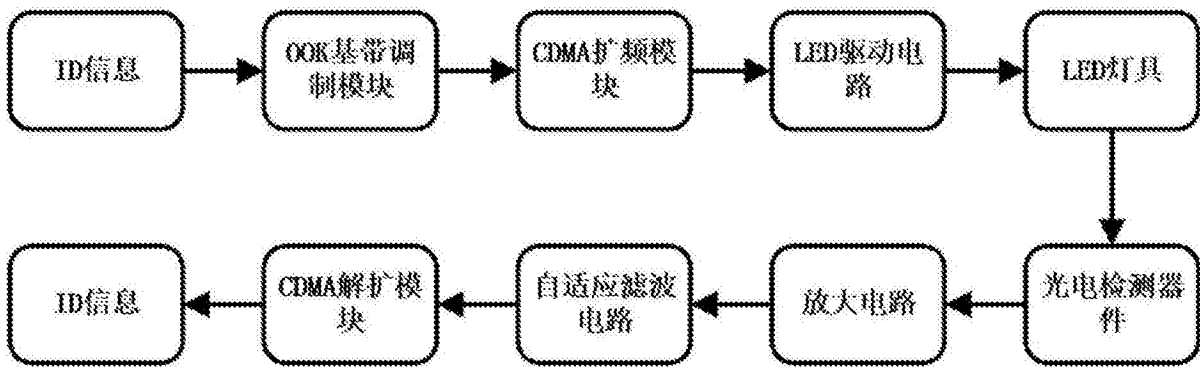


图2

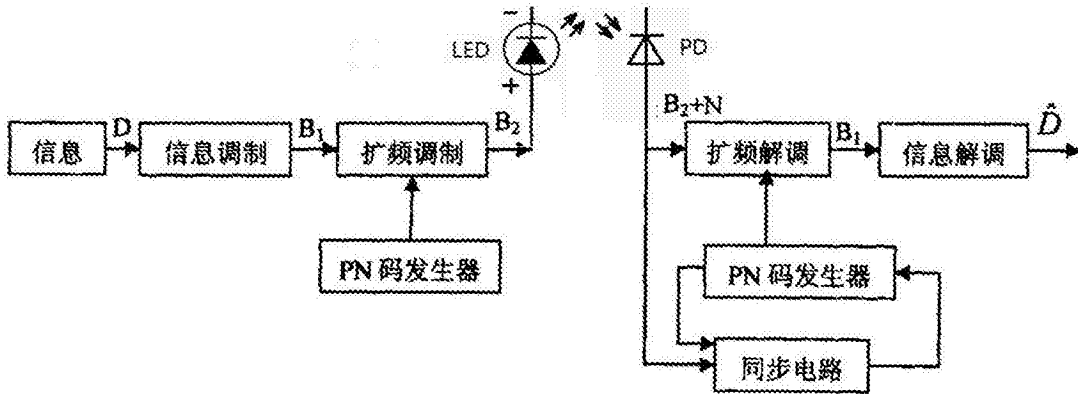


图3

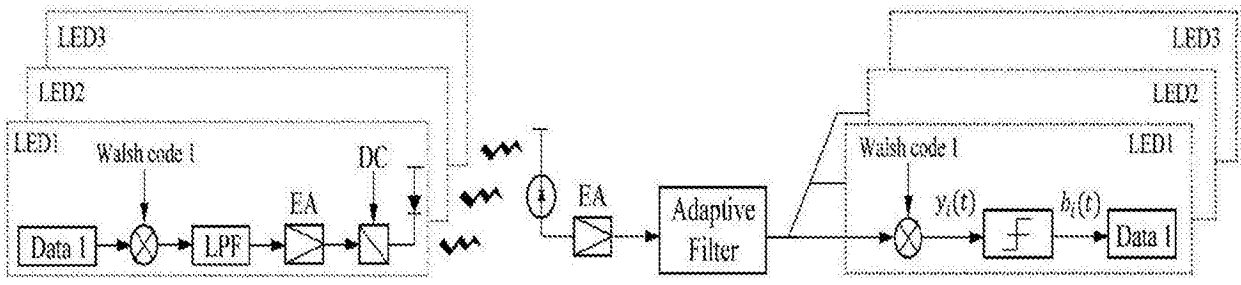


图4

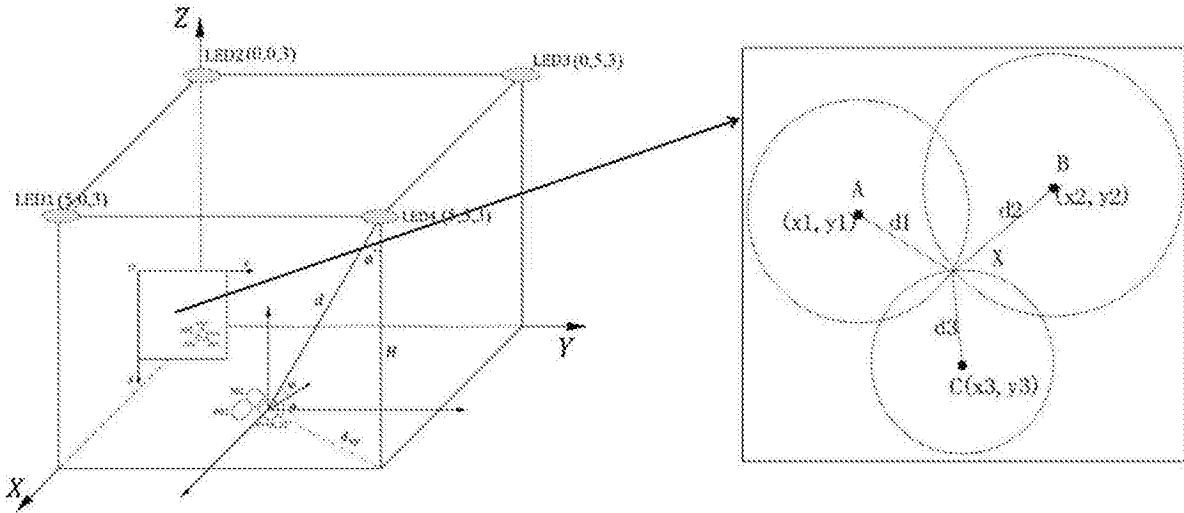


图5

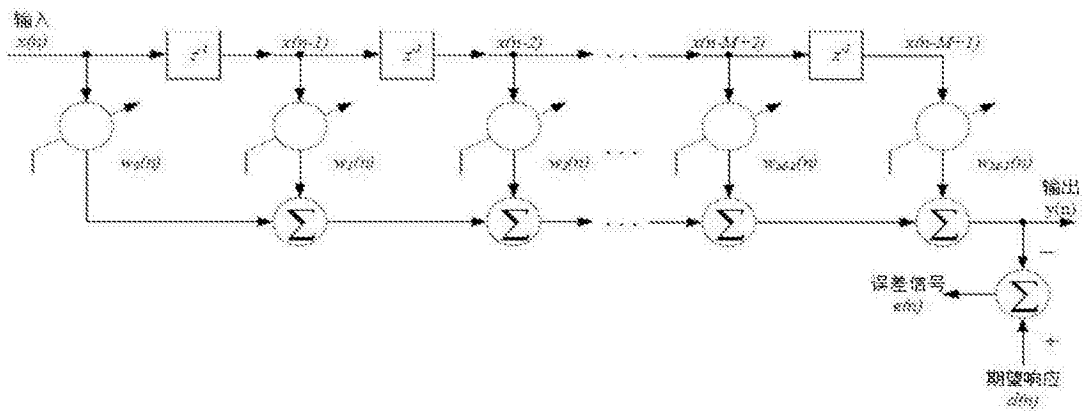


图6