



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107343265 B

(45) 授权公告日 2023. 07. 18

(21) 申请号 201710699977.0

G01S 5/16 (2006.01)

(22) 申请日 2017.08.16

H04B 10/116 (2013.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 107343265 A

(56) 对比文件

CN 207219046 U, 2018.04.10

CN 105425210 A, 2016.03.23

CN 205670775 U, 2016.11.02

CN 105471777 A, 2016.04.06

CN 106656889 A, 2017.05.10

(43) 申请公布日 2017.11.10

(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

曹学斌等. 基于到达时差法的目标定位系统.《指挥控制与仿真》.2006, (第03期),

吴楠等. 可见光定位关键技术的研究与展望.《南京信息工程大学学报(自然科学版)》

.2017, (第02期),

(72) 发明人 关伟鹏 彭淇 吴玉香 谢灿宇

审查员 陈莹

(74) 专利代理机构 广州市华学知识产权代理有限公司 44245

专利代理师 李斌

(51) Int. Cl.

H04W 4/02 (2018.01)

H04W 4/33 (2018.01)

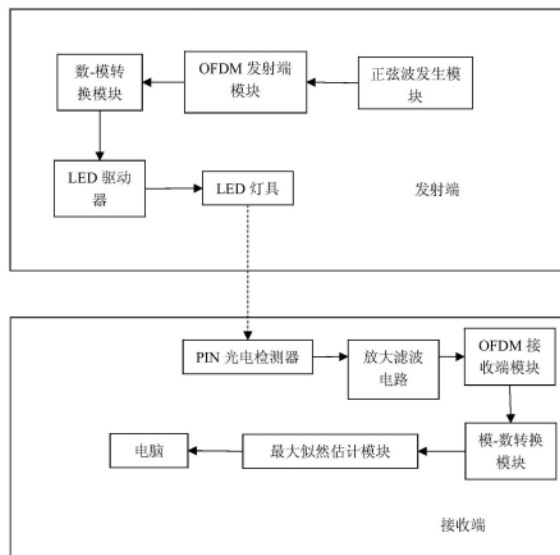
权利要求书4页 说明书7页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于最大似然估计的可见光定位系统及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于最大似然估计的可见光定位系统及方法,所述系统包括三个发射端、信道和接收端,所述每个发射端包括正弦波发生模块、OFDM发射端模块、数-模转换模块、LED驱动器和一盏LED灯具;所述信道为室内光信道,每盏LED灯具发射的光信号通过信道传输到接收端的PIN光电检测器;所述接收端包括PIN光电检测器、放大滤波电路、OFDM接收端模块、模-数转换模块和最大似然估计模块;所述正弦波发生模块、OFDM发射端模块、数-模转换模块、LED驱动器和LED灯具依次连接;所述PIN光电检测器、放大滤波电路、OFDM接收端模块、模-数转换模块和最大似然估计模块依次连接。本发明能够更加精确地测量发射端和接收端的距离,达到了精确定位的效果。



1. 一种基于最大似然估计的可见光定位系统,其特征在于:所述系统包括三个发射端、信道和接收端,所述每个发射端包括正弦波发生模块、OFDM发射端模块、数-模转换模块、LED驱动器和一盏LED灯具;所述信道为室内光信道,每盏LED灯具发射的光信号通过信道传输到接收端的PIN光电检测器;所述接收端包括PIN光电检测器、放大滤波电路、OFDM接收端模块、模-数转换模块和最大似然估计模块;所述正弦波发生模块、OFDM发射端模块、数-模转换模块、LED驱动器和LED灯具依次连接;所述PIN光电检测器、放大滤波电路、OFDM接收端模块、模-数转换模块和最大似然估计模块依次连接;

所述OFDM发射端模块包括串并变换模块、预均衡模块、IFFT模块、加循环前缀模块和并串转换模块,所述串并转换模块、预均衡模块、IFFT模块、加循环前缀模块和并串转换模块依次相连;

所述OFDM接收端模块包括串并转换模块、移除循环前缀模块、FFT模块、后均衡模块、并串转换模块,所述串并转换模块、移除循环前缀模块、FFT模块、后均衡模块和并串转换模块依次相连;

所述正弦波发生模块产生不同频率的正弦波数据传输给OFDM发射端模块,OFDM发射端模块中,串并转换模块先将单路串行数据流变换成多路并行子数据流,在信道的正交子信道中传输,预均衡模块对子数据流进行预均衡,然后IFFT模块基于IFFT算法对数据流进行调制,由加循环前缀模块使子数据流保持良好的正交性,最后由并串转换模块将多路并行子数据流转换回单路串行数据流后,经过数-模转换模块将数字信号转换为模拟信号,模拟信号传输给LED驱动器,从而驱动LED灯具发射出光信号;

所述PIN光电检测器同时检测三盏LED的光信号,并将其转化为电信号,对每盏LED的光信号分别处理;放大滤波电路分别对电信号进行放大滤波;所述OFDM接收端模块中,串并转换模块先将单路串行数据流变换成多路并行子数据流,移除循环前缀模块对子数据流进行移除循环前缀,然后FFT模块基于FFT算法对数据流进行正交解调,解调后通过后均衡模块,对数据流后均衡处理,最后由并串转换模块将多路并行子数据流变换回单路串行数据流,输出数据流给模-数转换模块,将模拟信号转换为数字信号,将数字信号传输给最大似然估计模块,最大似然估计模块先由PIN光电检测器得到每盏LED的光从发射端到接收端所用的时间,再利用渐进最优的最大似然估计得到每盏LED到接收端的距离d,通过TDOA算法,利用三盏LED得到最终定位坐标;

所述利用三盏LED得到最终定位坐标的具体过程为:

步骤2.1、考虑直射信道,发射端每盏LED的光功率和接收端光功率有如下关系:

$$P_r = \frac{(m+1)S}{2\pi d^2} \cos^m(\phi) \cos(\varphi) P_t, 0 \leq \varphi \leq \varphi_c$$

其中, p_r 表示接收端光功率, P_t 表示发射端光功率, ϕ 表示LED发出光信号的入射角, φ 表示PIN光电检测器接收光信号的接收角,m表示朗伯发射顺序,S是PIN光电检测器的有效面积,d表示发射端和接收端之间的距离,参数 φ_c 是接收端的视场角;

接收端的PIN光电检测器通过光信号从发射端每盏LED到接收端经历的时间 τ 来计算发射端每盏LED和接收端之间的距离d,其中 $d=c\tau$,c为光速;

接收端接收到的光信号x(t)为:

$$x(t) = R_p \frac{(m+1)S}{2\pi d^2} \cos^m(\phi) \cos(\varphi) s(t-\tau) + \omega(t)$$

其中, R_p 表示PIN光电检测器的响应,指每单位入射光产生的光电流; $s(t-\tau)$ 表示 $s(t)$ 延迟时间 τ 后的信号; $\omega(t) = (1 + \cos(\frac{2\pi}{T}t))$, 表示时间, T 表示信号 $\cos(t0)$ 的周期;

通过在信号带宽 B 内滤除连续波形,得到带限的热噪声方差 $\sigma^2 = N_0 B$, 其中 N_0 是噪声的功率谱密度, $N_0 = 2qR_p p_n S \Delta$, q 表示电子电荷, p_n 是指光谱辐照度, Δ 是光滤波器带宽;

在室内模型中, $\cos\phi = \cos\varphi = \frac{h}{d}$, h 为房间的高度, 经过采样后, 接收信号的离散时间形式为 $1, 2, 3, \dots, N-1$, 其中 N 是样本总数, 能够表示为:

$$x[n] = \frac{a}{(c\tau)^{m+3}} s[n-\tau] + \omega[n]$$

其中, $a = R_p S \frac{m+1}{2\pi} h^{m+1}$, $x[n]$ 表示信号 $x(t)$ 的离散形式, $s[n-\tau]$ 表示信号 $s(t-\tau)$ 的离散形式, $\omega[n]$ 表示 $\omega(t)$ 的离散形式, n 表示时间 t 的离散形式;

步骤2.2、令 $\delta = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{\frac{N}{2}}}$, 其中 σ 表示带限的热噪声方差 σ^2 开方后的值, 似然函数 $p(n-\tau)$ 表达为:

$$p(n-\tau) = \delta \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{n=0}^{N-1} \left(x[n] - \frac{a}{(c\tau)^{m+3}} s[n-\tau] \right)^2 \right\}$$

为了得到从发射端每盏LED到接收端经历的时间 τ 的最佳估计值, 需要得到 n_0 , M 是采样信号长度, $n_0 = \frac{\tau}{\Delta}$ 是采样延时, 因 Δ 很小, 所以 $\frac{\tau}{\Delta}$ 为整数的近似值, 因此似然函数能简化为:

$$p(n-n_0) = \delta \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{n=n_0}^{n_0+M-1} \left(x[n] - \frac{a}{(c\Delta n_0)^{m+3}} s[n-n_0] \right)^2 \right\}$$

对于采样信号长度 M 足够大, 利用积分近似求和, $\frac{\partial s(t-\tau)}{\partial \tau}$ 忽略不计, 式子左边部分对 τ 求导, 右边部分对 τ 求导后再对 t 积分, 当 τ 很小时, $s(t-\tau)$ 近似等于 $s(t)$, 由

$$\int_0^{T_s} \left[x(t) \cdot s(t-\tau) - \frac{a}{(c\tau)^{m+3}} s^2(t-\tau) \right] dt = 0$$

T_s 为信号 $x(t)$ 的最小正周期, 且 $d = c\tau$, 得到距离 d 的最大似然估计:

$$d_{ML} = \left(\frac{a \sum_{n=0}^{M-1} s^2[n]}{\sum_{n=n_0}^{n_0+M-1} (x[n] \cdot s[n-n_0])} \right)^{\frac{1}{m+3}}$$

利用最大似然得到的第一盏LED、第二盏LED、第三盏LED与接收端的距离 d_1 、 d_2 、 d_3 , 结合已知的TDOA算法, 由 d_1 和 d_2 之差、 d_3 和 d_2 之差画出两条双曲线, 双曲线的交点即是最终定位坐标。

2. 根据权利要求1所述的一种基于最大似然估计的可见光定位系统, 其特征在于: 所述最大似然估计模块包括RS232串口、时钟系统和寄存器, 所述RS232串口与寄存器相连; 所述

时钟系统与寄存器相连;所述最大似然估计模块将最终的定位坐标传输给电脑。

3.一种基于最大似然估计的可见光定位方法,其特征在于,所述方法包括以下步骤:

步骤1、在发射端,正弦波发生模块产生不同频率的正弦波信号,作为每盏LED的ID信息,经过OFDM发射端模块调制后经过数-模转换模块,驱动LED发出光信号,所述光信号为原始正弦波信号经过调制变换后的信号;

所述步骤1具体包括以下步骤:

步骤1.1、发射端的正弦波发生模块产生不同频率的正弦波信号作为不同LED灯具的ID信息;

步骤1.2、在OFDM发射端模块中,由串并变换模块串并转换后将单路串行的正弦波信号转换成多路的并行信号,经预均衡模块预均衡后进入子信道的数据流经过IFFT模块,变成各子信道子载波的集合,经加循环前缀模块加入循环前缀,最后由并串转换模块将多路并行子数据流转换回单路串行数据流后,经过数-模转换模块将数字信号转换为模拟信号,模拟信号传输给LED驱动器,从而驱动LED灯具发射出光信号;

步骤2、接收端经过PIN光电检测器将光信号按照转化效率转化为一定大小的电信号,经过放大滤波电路、OFDM接收端模块和模-数转换模块还原出原始的正弦波信号,并根据得到前面得到的电信号计算得到衰减后的光功率;同时将得到的原始的正弦波信号输入最大似然估计模块,得到每盏LED到接收端的距离,最终利用三盏LED到接收端的距离计算出最终的定位坐标;

所述步骤2具体包括以下步骤:接收端的PIN光电检测器同时检测三盏LED的光信号,并将其转化为电信号,对每盏LED的光信号分别处理;放大滤波电路分别对电信号进行放大滤波后传输给OFDM接收端模块;OFDM接收端模块中的串并转换模块先将单路串行数据流变换成多路并行子数据流,移除循环前缀模块对子数据流进行移除循环前缀,然后FFT模块基于FFT算法对数据流进行正交解调,解调后通过后均衡模块,对数据流后均衡处理,最后由并串转换模块将多路并行子数据流变换回单路串行数据流,输出数据流给模-数转换模块,将模拟信号转换为数字信号,将数字信号传输给最大似然估计模块,最大似然估计模块先由PIN光电检测器得到每盏LED的光从发射端到接收端所用的时间,再利用渐进最优的最大似然估计得到每盏LED到接收端的距离 d ,通过TDOA算法,利用三盏LED得到最终定位坐标;

所述利用三盏LED得到最终定位坐标的具体过程为:

步骤2.1、考虑直射信道,发射端每盏LED的光功率和接收端光功率有如下关系:

$$P_r = \frac{(m+1)S}{2\pi d^2} \cos^m(\phi) \cos(\varphi) P_t, 0 \leq \varphi \leq \varphi_c$$

其中, P_r 表示接收端光功率, P_t 表示发射端光功率, ϕ 表示LED发出光信号的入射角, φ 表示PIN光电检测器接收光信号的接收角, m 表示朗伯发射顺序, S 是PIN光电检测器的有效面积, d 表示发射端和接收端之间的距离,参数 φ_c 是接收端的视场角;

接收端的PIN光电检测器通过光信号从发射端每盏LED到接收端经历的时间 τ 来计算发射端每盏LED和接收端之间的距离 d ,其中 $d=c\tau$, c 为光速;

接收端接收到的光信号 $x(t)$ 为:

$$x(t) = R_p \frac{(m+1)S}{2\pi d^2} \cos^m(\phi) \cos(\varphi) s(t-\tau) + \omega(t)$$

其中, R_p 表示PIN光电检测器的响应,指每单位入射光产生的光电流; $s(t-\tau)$ 表示 $s(t)$ 延迟时间 τ 后的信号; $\omega(t) = (1 + \cos(\frac{2\pi}{T}t))$,表示时间, T 表示信号 $\cos(t)$ 的周期;

通过在信号带宽 B 内滤除连续波形,得到带限的热噪声方差 $\sigma^2 = N_0 B$,其中 N_0 是噪声的功率谱密度, $N_0 = 2qR_p p_n S \Delta$, q 表示电子电荷, p_n 是指光谱辐照度, Δ 是光滤波器带宽;

在室内模型中, $\cos\phi = \cos\varphi = \frac{h}{d}$, h 为房间的高度,经过采样后,接收信号的离散时间形式为 $1, 2, 3, \dots, N-1$,其中 N 是样本总数,能够表示为:

$$x[n] = \frac{a}{(c\tau)^{m+3}} s[n-\tau] + \omega[n]$$

其中, $a = R_p S \frac{m+1}{2\pi} h^{m+1}$, $x[n]$ 表示信号 $x(t)$ 的离散形式, $s[n-\tau]$ 表示信号 $s(t\tau)$ 的离散形式, $\omega[n]$ 表示 $\omega(t)$ 的离散形式, n 表示时间 t 的离散形式;

步骤2.2、令 $\delta = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{\frac{N}{2}}}$,其中 σ 表示带限的热噪声方差 σ^2 开方后的值,似然函数 $p(n-\tau)$ 表达为:

$$p(n-\tau) = \delta \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{n=0}^{N-1} \left(x[n] - \frac{a}{(c\tau)^{m+3}} s[n-\tau] \right)^2 \right\}$$

为了得到从发射端每盏LED到接收端经历的时间 τ 的最佳估计值,需要得到 n_0 , M 是采样信号长度, $n_0 = \frac{\tau}{\Delta}$ 是采样延时,因 Δ 很小,所以 $\frac{\tau}{\Delta}$ 为整数的近似值,因此似然函数能简化为:

$$p(n-n_0) = \delta \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{n=n_0}^{n_0+M-1} \left(x[n] - \frac{a}{(c\Delta n_0)^{m+3}} s[n-n_0] \right)^2 \right\}$$

对于采样信号长度 M 足够大,利用积分近似求和, $\frac{\partial s(t-\tau)}{\partial \tau}$ 忽略不计,式子左边部分对 τ 求导,右边部分对 τ 求导后再对 t 积分,当 τ 很小时, $s(t-\tau)$ 近似等于 $s(t)$,由

$$\int_0^{T_s} \left[x(t) \cdot s(t-\tau) - \frac{a}{(c\tau)^{m+3}} s^2(t-\tau) \right] dt = 0$$

T_s 为信号 $x(t)$ 的最小正周期,且 $d = c\tau$,得到距离 d 的最大似然估计:

$$d_{ML} = \left(\frac{a \sum_{n=0}^{M-1} s^2[n]}{\sum_{n=n_0}^{n_0+M-1} (x[n] \cdot s[n-n_0])} \right)^{\frac{1}{m+3}}$$

利用最大似然得到的第一盏LED、第二盏LED、第三盏LED与接收端的距离 d_1 、 d_2 、 d_3 ,结合已知的TDOA算法,由 d_1 和 d_2 之差、 d_3 和 d_2 之差画出两条双曲线,双曲线的交点即是最终定位坐标。

一种基于最大似然估计的可见光定位系统及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及可见光通信技术领域,具体涉及一种基于最大似然估计的可见光定位系统及方法。

背景技术

[0002] 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。

[0003] 近年来,光源的飞速发展促进了人们对于可见光通信技术的研究。不同于传统的射频无线通信方式,可见光通信可以充分利用大量的光信道资源并缓解当前频谱资源稀缺的问题,为室内通信提供了一种新选择。同时能够满足用户对通信链路安全、稳定、快速等方面的要求。用可见光代替射频波,波长是一个很重要的参数,可见光的波长比射频波长小得多,典型射频室内链路只考虑小规模衰落影响的信道模型,在可见光信道中不再适用,在可见光信道中,需要考虑到大尺度衰落效应和小尺度衰落效应的影响,因此需要建立更加准确的信道模型。另一方面,现有的VLC室内定位大部分都是基于发射端与接收端距离的定位,目前最大的挑战就是需要在接收端运动的情况下得到发射端和接收端的实时距离,距离估计成为解决这一问题的有效方法。

发明内容

[0004] 本发明的目的是针对上述现有技术的不足,提供了一种基于最大似然估计的可见光定位系统。

[0005] 本发明的另一目的在于提供一种基于最大似然估计的可见光定位方法,所述方法在接收端传感器得到光从发射端到接收端所用时间的基础上,利用渐进最优的极大似然估计,得到发射端与接收端的距离,最终计算得到接收端的位置坐标,达到定位的效果。

[0006] 本发明的目的可以通过如下技术方案实现:

[0007] 一种基于最大似然估计的可见光定位系统,包括三个发射端、信道和接收端,所述每个发射端包括正弦波发生模块、OFDM发射端模块、数-模转换模块、LED驱动器和一盏LED灯具;所述信道为室内光信道,每盏LED灯具发射的光信号通过信道传输到接收端的PIN光电检测器;所述接收端包括PIN光电检测器、放大滤波电路、OFDM接收端模块、模-数转换模块和最大似然估计模块;所述正弦波发生模块、OFDM发射端模块、数-模转换模块、LED驱动器和LED灯具依次连接;所述PIN光电检测器、放大滤波电路、OFDM接收端模块、模-数转换模块和最大似然估计模块依次连接;

[0008] 所述正弦波发生模块产生不同频率的正弦波数据传输给OFDM发射端模块,OFDM发射端模块中,串并转换模块先将单路串行数据流变换成多路并行子数据流,在信道的正交子信道中传输,预均衡模块对子数据流进行预均衡,然后IFFT模块基于IFFT算法对数据流

进行调制,由加循环前缀模块使子数据流保持良好的正交性,最后由并串转换模块将多路并行子数据流转换回单路串行数据流后,经过数-模转换模块将数字信号转换为模拟信号,模拟信号传输给LED驱动器,从而驱动LED灯具发射出光信号;

[0009] 所述PIN光电检测器同时检测三盏LED的光信号,并将其转化为电信号,对每盏LED的光信号分别处理;放大滤波电路分别对电信号进行放大滤波;所述OFDM接收端模块中,串并转换模块先将单路串行数据流变换成多路并行子数据流,移除循环前缀模块对子数据流进行移除循环前缀,然后FFT模块基于FFT算法对数据流进行正交解调,解调后通过后均衡模块,对数据流后均衡处理,最后由并串转换模块将多路并行子数据流变换回单路串行数据流,输出数据流给模-数转换模块,将模拟信号转换为数字信号,将数字信号传输给最大似然估计模块,最大似然估计模块先由PIN光电检测器得到每盏LED的光从发射端到接收端所用的时间,再利用渐进最优的最大似然估计得到每盏LED到接收端的距离 d ,通过TDOA算法,利用三盏LED得到最终定位坐标。

[0010] 进一步地,所述OFDM发射端模块包括串并变换模块、预均衡模块、IFFT模块、加循环前缀模块和并串转换模块,所述串并变换模块、预均衡模块、IFFT模块、加循环前缀模块和并串转换模块依次相连。

[0011] 进一步地,所述OFDM接收端模块包括串并转换模块、移除循环前缀模块、FFT模块、后均衡模块、并串转换模块,所述串并转换模块、移除循环前缀模块、FFT模块、后均衡模块和并串转换模块依次相连。

[0012] 进一步地,所述最大似然估计模块包括RS232串口、时钟系统和寄存器,所述RS232串口与寄存器相连;所述时钟系统与寄存器相连;所述最大似然估计模块将最终的定位坐标传输给电脑。

[0013] 本发明的另一目的可以通过如下技术方案实现:

[0014] 一种基于最大似然估计的可见光定位方法,所述方法包括以下步骤:

[0015] 步骤1、在发射端,正弦波发生模块产生不同频率的正弦波信号,作为每盏LED的ID信息,经过OFDM发射端模块调制后经过数-模转换模块,驱动LED发出光信号,所述光信号为原始正弦波信号经过调制变换后的信号;

[0016] 步骤2、接收端经过PIN光电检测器将光信号按照转化效率转化为一定大小的电信号,经过放大滤波电路、OFDM接收端模块和模-数转换模块还原出原始的正弦波信号,并根据得到前面得到的电信号计算得到衰减后的光功率;同时将得到的原始的正弦波信号输入最大似然估计模块,得到每盏LED到接收端的距离,最终利用三盏LED到接收端的距离计算出最终的定位坐标。

[0017] 进一步地,所述步骤1具体包括以下步骤:

[0018] 步骤1.1、发射端的正弦波发生模块产生不同频率的正弦波信号作为不同LED灯具的ID信息;

[0019] 步骤1.2、在OFDM发射端模块中,由串并变换模块串并转换后将单路串行的正弦波信号转换成多路的并行信号,经预均衡模块预均衡后进入子信道的数据流经过IFFT模块,变成各子信道子载波的集合,经加循环前缀模块加入循环前缀,最后由并串转换模块将多路并行子数据流转换回单路串行数据流后,经过数-模转换模块将数字信号转换为模拟信号,模拟信号传输给LED驱动器,从而驱动LED灯具发射出光信号。

[0020] 进一步地,所述步骤2具体包括以下步骤:

[0021] 接收端的PIN光电检测器同时检测三盏LED的光信号,并将其转化为电信号,对每盏LED的光信号分别处理;放大滤波电路分别对电信号进行放大滤波后传输给OFDM接收端模块;OFDM接收端模块中的串并转换模块先将单路串行数据流变换成多路并行子数据流,移除循环前缀模块对子数据流进行移除循环前缀,然后FFT模块基于FFT算法对数据流进行正交解调,解调后通过后均衡模块,对数据流后均衡处理,最后由并串转换模块将多路并行子数据流变换回单路串行数据流,输出数据流给模-数转换模块,将模拟信号转换为数字信号,将数字信号传输给最大似然估计模块,最大似然估计模块先由PIN光电检测器得到每盏LED的光从发射端到接收端所用的时间,再利用渐进最优的最大似然估计得到每盏LED到接收端的距离d,通过TDOA算法,利用三盏LED得到最终定位坐标。

[0022] 进一步地,所述步骤2中通过原始的正弦波信号计算得到最终定位坐标的具体过程为:

[0023] 步骤2.1、考虑直射信道,发射端每盏LED的光功率和接收端光功率有如下关系:

$$[0024] \quad P_r = \frac{(m+1)S}{2\pi d^2} \cos^m(\phi) \cos(\varphi) P_t, 0 \leq \varphi \leq \varphi_c$$

[0025] 其中, P_r 表示接收端光功率, P_t 表示发射端光功率, ϕ 表示LED发出光信号的入射角, φ 表示PIN光电检测器接收光信号的接收角,m表示朗伯发射顺序,S是PIN光电检测器的有效面积,d表示发射端和接收端之间的距离,参数 φ_c 是接收端的视场角;

[0026] 接收端的PIN光电检测器通过光信号从发射端每盏LED到接收端经历的时间 τ 来计算发射端每盏LED和接收端之间的距离d,其中 $d=c\tau$,c为光速;

[0027] 接收端接收到的光信号 $x(t)$ 为:

$$[0028] \quad x(t) = R_p \frac{(m+1)S}{2\pi d^2} \cos^m(\phi) \cos(\varphi) s(t-\tau) + \omega(t)$$

[0029] 其中, R_p 表示PIN光电检测器的响应,指每单位入射光产生的光电流; $s(t-\tau)$ 表示 $s(t)$ 延迟时间 τ 后的信号; $\omega(t) = (1 + \cos(\frac{2\pi}{T}t))$,t表示时间,T表示信号 $\cos(t)$ 的周期;

[0030] 通过在信号带宽B内滤除连续波形,得到带限的热噪声方差 $\sigma^2 = N_0 B$,其中 N_0 是噪声的功率谱密度, $N_0 = 2qR_p p_n S \Delta$,q表示电子电荷, p_n 是指光谱辐照度, Δ 是光滤波器带宽;

[0031] 在室内模型中, $\cos\phi = \cos\varphi = \frac{h}{d}$,h为房间的高度,经过采样后,接收信号的离散时间形式为 $1, 2, 3, \dots, N-1$,其中N是样本总数,能够表示为:

$$[0032] \quad x[n] = \frac{a}{(c\tau)^{m+3}} s[n-\tau] + \omega[n]$$

[0033] 其中, $a = R_p S \frac{m+1}{2\pi} h^{m+1}$, $x[n]$ 表示信号 $x(t)$ 的离散形式, $s[n-\tau]$ 表示信号 $s(t-\tau)$ 的离散形式, $\omega[n]$ 表示 $\omega(t)$ 的离散形式,n表示时间t的离散形式;

[0034] 步骤2.2、令 $\tilde{\sigma} = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{\frac{N}{2}}}$,其中 σ 表示带限的热噪声方差 σ^2 开方后的值,似然函数 $p(n-\tau)$ 表达为:

$$[0035] \quad p(n - \tau) = \delta \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{n=0}^{N-1} \left(x[n] - \frac{a}{(c\tau)^{m+3}} s[n - \tau] \right)^2 \right\}$$

[0036] 为了得到从发射端每盏LED到接收端经历的时间 τ 的最佳估计值,需要得到 n_0 , M 是采样信号长度, $n_0 = \frac{\tau}{\Delta}$ 是采样延时,因 Δ 很小,所以 $\frac{\tau}{\Delta}$ 为整数的近似值,因此似然函数能简化为:

$$[0037] \quad p(n - n_0) = \delta \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{n=n_0}^{n_0+M-1} \left(x[n] - \frac{a}{(c\Delta n_0)^{m+3}} s[n - n_0] \right)^2 \right\}$$

[0038] 对于采样信号长度 M 足够大,利用积分近似求和, $\frac{\partial s(t-\tau)}{\partial \tau}$ 忽略不计,式子左边部分对 τ 求导,右边部分对 τ 求导后再对 t 积分,当 τ 很小时, $s(t-\tau)$ 近似等于 $s(t)$,由

$$[0039] \quad \int_0^{T_s} \left[x(t) \cdot s(t - \tau) - \frac{a}{(c\tau)^{m+3}} s^2(t - \tau) \right] dt = 0$$

[0040] T_s 为信号 $x(t)$ 的最小正周期,且 $d=c\tau$,得到距离 d 的最大似然估计:

$$[0041] \quad d_{ML} = \left(\frac{a \sum_{n=0}^{M-1} s^2[n]}{\sum_{n=n_0}^{n_0+M-1} (x[n] \cdot s[n - n_0])} \right)^{\frac{1}{m+3}}$$

[0042] 利用最大似然得到的第一盏LED、第二盏LED、第三盏LED与接收端的距离 d_1 、 d_2 、 d_3 ,结合已知的TDOA算法,由 d_1 和 d_2 之差、 d_3 和 d_2 之差画出两条双曲线,双曲线的交点即是最终定位坐标。

[0043] 本发明与现有技术相比,具有如下优点和有益效果:

[0044] 1、本发明通过采用基于最大似然估计的可见光定位技术方案,具体通过利用渐进最优的最大似然估计,准确计算出了发射端和接收端的距离,相较于传统的TOA算法,得到了更加精确的发射端和接收端的距离,达到了精确定位的效果。

[0045] 2、本发明采用基于最大似然估计的可见光定位技术方案,利用最大似然估计可以快速得到发射端和接收端的距离,达到了提高定位的实时性的效果。

附图说明

[0046] 图1为本发明实施例1一种基于最大似然估计的可见光定位系统的结构示意图。

[0047] 图2为本发明实施例1中OFDM发射端模块的结构示意图。

[0048] 图3为本发明实施例1中OFDM接收端模块的结构示意图。

[0049] 图4为本发明实施例1中最大似然估计模块的结构示意图。

[0050] 图5为本发明实施例2中通过结合TDOA算法,由双曲线的交点得到最终定位坐标的示意图。

具体实施方式

[0051] 下面结合实施例及附图对本发明作进一步详细的描述,但本发明的实施方式不限于此。

[0052] 实施例1:

[0053] 本实施例提供了一种基于最大似然估计的可见光定位系统,所述系统的结构图如图1所示,包括三个发射端、信道和接收端,所述每个发射端包括正弦波发生模块、OFDM发射端模块、数-模转换模块、LED驱动器和一盏LED灯具;所述信道为室内光信道,每盏LED灯具发射的光信号通过信道传输到接收端的PIN光电检测器;所述接收端包括PIN光电检测器、放大滤波电路、OFDM接收端模块、模-数转换模块和最大似然估计模块;所述正弦波发生模块、OFDM发射端模块、数-模转换模块、LED驱动器和LED灯具依次连接;所述PIN光电检测器、放大滤波电路、OFDM接收端模块、模-数转换模块和最大似然估计模块依次连接;

[0054] 所述正弦波发生模块产生不同频率的正弦波数据传输给OFDM发射端模块,OFDM发射端模块中,串并转换模块先将单路串行数据流变换成多路并行子数据流,在信道的正交子信道中传输,预均衡模块对子数据流进行预均衡,然后IFFT模块基于IFFT算法对数据流进行调制,由加循环前缀模块使子数据流保持良好的正交性,最后由并串转换模块将多路并行子数据流转换回单路串行数据流后,经过数-模转换模块将数字信号转换为模拟信号,模拟信号传输给LED驱动器,从而驱动LED灯具发射出光信号;

[0055] 所述PIN光电检测器同时检测三盏LED的光信号,并将其转化为电信号,对每盏LED的光信号分别处理;放大滤波电路分别对电信号进行放大滤波;所述OFDM接收端模块中,串并转换模块先将单路串行数据流变换成多路并行子数据流,移除循环前缀模块对子数据流进行移除循环前缀,然后FFT模块基于FFT算法对数据流进行正交解调,解调后通过后均衡模块,对数据流后均衡处理,最后由并串转换模块将多路并行子数据流变换回单路串行数据流,输出数据流给模-数转换模块,将模拟信号转换为数字信号,将数字信号传输给最大似然估计模块,最大似然估计模块先由PIN光电检测器得到每盏LED的光从发射端到接收端所用的时间,再利用渐进最优的最大似然估计得到每盏LED到接收端的距离 d ,通过TDOA算法,利用三盏LED得到最终定位坐标。

[0056] 其中,所述OFDM发射端模块的结构图如图2所示,包括串并变换模块、预均衡模块、IFFT模块、加循环前缀模块和并串转换模块,所述串并转换模块、预均衡模块、IFFT模块、加循环前缀模块和并串转换模块依次相连。

[0057] 其中,所述OFDM接收端模块的结构图如图3所示,包括串并转换模块、移除循环前缀模块、FFT模块、后均衡模块、并串转换模块,所述串并转换模块、移除循环前缀模块、FFT模块、后均衡模块和并串转换模块依次相连。

[0058] 其中,所述最大似然估计模块的结构如图4所示,包括RS232串口、时钟系统和寄存器,所述RS232串口与寄存器相连;所述时钟系统与寄存器相连;所述最大似然估计模块将最终的定位坐标传输给电脑。

[0059] 实施例2:

[0060] 本实施例提供了一种基于最大似然估计的可见光定位方法,所述方法包括以下步骤:

[0061] 步骤1、在发射端,正弦波发生模块产生不同频率的正弦波信号,作为每盏LED的ID信息,经过OFDM发射端模块调制后经过数-模转换模块,驱动LED发出光信号,所述光信号为原始正弦波信号经过调制变换后的信号;

[0062] 具体地,所述步骤1具体包括以下步骤:

[0063] 步骤1.1、发射端的正弦波发生模块产生不同频率的正弦波信号作为不同LED灯具的ID信息；

[0064] 步骤1.2、在OFDM发射端模块中，由串并变换模块串并转换后将单路串行的正弦波信号转换成多路的并行信号，经预均衡模块预均衡后进入子信道的数据流经过IFFT模块，变成各子信道子载波的集合，经加循环前缀模块加入循环前缀，最后由并串转换模块将多路并行子数据流转换回单路串行数据流后，经过数-模转换模块将数字信号转换为模拟信号，模拟信号传输给LED驱动器，从而驱动LED灯具发射出光信号。

[0065] 步骤2、接收端经过PIN光电检测器将光信号按照转化效率转化为一定大小的电信号，经过放大滤波电路、OFDM接收端模块和模-数转换模块还原出原始的正弦波信号，并根据得到前面得到的电信号计算得到衰减后的光功率；同时将得到的原始的正弦波信号输入最大似然估计模块，得到每盏LED到接收端的距离，最终利用三盏LED到接收端的距离计算出最终的定位坐标。

[0066] 具体地，所述步骤2具体包括以下步骤：

[0067] 接收端的PIN光电检测器同时检测三盏LED的光信号，并将其转化为电信号，对每盏LED的光信号分别处理；放大滤波电路分别对电信号进行放大滤波后传输给OFDM接收端模块；OFDM接收端模块中的串并转换模块先将单路串行数据流变换成多路并行子数据流，移除循环前缀模块对子数据流进行移除循环前缀，然后FFT模块基于FFT算法对数据流进行正交解调，解调后通过后均衡模块，对数据流后均衡处理，最后由并串转换模块将多路并行子数据流变换回单路串行数据流，输出数据流给模-数转换模块，将模拟信号转换为数字信号，将数字信号传输给最大似然估计模块，最大似然估计模块先由PIN光电检测器得到每盏LED的光从发射端到接收端所用的时间，再利用渐进最优的最大似然估计得到每盏LED到接收端的距离d，通过TDOA算法，利用三盏LED得到最终定位坐标。

[0068] 其中，所述步骤2中通过原始的正弦波信号计算得到最终定位坐标的具体过程为：

[0069] 步骤2.1、考虑直射信道，发射端每盏LED的光功率和接收端光功率有如下关系：

$$[0070] \quad P_r = \frac{(m+1)S}{2\pi d^2} \cos^m(\phi) \cos(\varphi) P_t, 0 \leq \varphi \leq \varphi_c$$

[0071] 其中， P_r 表示接收端光功率， P_t 表示发射端光功率， ϕ 表示LED发出光信号的入射角， φ 表示PIN光电检测器接收光信号的接收角，m表示朗伯发射顺序，S是PIN光电检测器的有效面积，d表示发射端和接收端之间的距离，参数 φ_c 是接收端的视场角；

[0072] 接收端的PIN光电检测器通过光信号从发射端每盏LED到接收端经历的时间 τ 来计算发射端每盏LED和接收端之间的距离d，其中 $d=c\tau$ ，c为光速；

[0073] 接收端接收到的光信号x(t)为：

$$[0074] \quad x(t) = R_p \frac{(m+1)S}{2\pi d^2} \cos^m(\phi) \cos(\varphi) s(t-\tau) + \omega(t)$$

[0075] 其中， R_p 表示PIN光电检测器的响应，指每单位入射光产生的光电流； $s(t-\tau)$ 表示s(t)延迟时间 τ 后的信号； $\omega(t) = (1 + \cos(\frac{2\pi}{T}t))$ ，t表示时间，T表示信号cos(t)的周期；

[0076] 通过在信号带宽B内滤除连续波形，得到带限的热噪声方差 $\sigma^2=N_0B$ ，其中 N_0 是噪声的功率谱密度， $N_0=2qR_p p_n S \Delta$ ，q表示电子电荷， p_n 是指光谱辐照度， Δ 是光滤波器带宽；

[0077] 在室内模型中, $\cos\phi = \cos\varphi = \frac{h}{d}$, h 为房间的高度, 经过采样后, 接收信号的离散时间形式为 $1, 2, 3, \dots, N-1$, 其中 N 是样本总数, 能够表示为:

$$[0078] \quad x[n] = \frac{a}{(c\tau)^{m+3}} s[n-\tau] + \omega[n]$$

[0079] 其中, $a = R_p S \frac{m+1}{2\pi} h^{m+1}$, $x[n]$ 表示信号 $x(t)$ 的离散形式, $s[n-\tau]$ 表示信号 $s(t-\tau)$ 的离散形式, $\omega[n]$ 表示 $\omega(t)$ 的离散形式, n 表示时间 t 的离散形式;

[0080] 步骤2.2、令 $\delta = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{\frac{N}{2}}}$, 其中 σ 表示带限的热噪声方差 σ^2 开方后的值, 似然函数 $p(n-\tau)$ 表达为:

$$[0081] \quad p(n-\tau) = \delta \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{n=0}^{N-1} \left(x[n] - \frac{a}{(c\tau)^{m+3}} s[n-\tau] \right)^2 \right\}$$

[0082] 为了得到从发射端每盏LED到接收端经历的时间 τ 的最佳估计值, 需要得到 n_0 , M 是采样信号长度, $n_0 = \frac{\tau}{\Delta}$ 是采样延时, 因 Δ 很小, 所以 $\frac{\tau}{\Delta}$ 为整数的近似值, 因此似然函数能简化为:

$$[0083] \quad p(n-n_0) = \delta \exp \left\{ -\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{n=n_0}^{n_0+M-1} \left(x[n] - \frac{a}{(c\Delta n_0)^{m+3}} s[n-n_0] \right)^2 \right\}$$

[0084] 对于采样信号长度 M 足够大, 利用积分近似求和, $\frac{\partial s(t-\tau)}{\partial \tau}$ 忽略不计, 式子左边部分对 τ 求导, 右边部分对 τ 求导后再对 t 积分, 当 τ 很小时, $s(t-\tau)$ 近似等于 $s(t)$, 由

$$[0085] \quad \int_0^{T_s} \left[x(t) \cdot s(t-\tau) - \frac{a}{(c\tau)^{m+3}} s^2(t-\tau) \right] dt = 0$$

[0086] T_s 为信号 $x(t)$ 的最小正周期, 且 $d=c\tau$, 得到距离 d 的最大似然估计:

$$[0087] \quad d_{ML} = \left(\frac{a \sum_{n=0}^{M-1} s^2[n]}{\sum_{n=n_0}^{n_0+M-1} (x[n] \cdot s[n-n_0])} \right)^{\frac{1}{(m+3)}}$$

[0088] 利用最大似然得到的第一盏LED、第二盏LED、第三盏LED与接收端的距离 d_1 、 d_2 、 d_3 , 结合已知的TDOA算法, 示意图如图5所示, 由 d_1 和 d_2 之差、 d_3 和 d_2 之差画出两条双曲线, 双曲线的交点即是最终定位坐标。

[0089] 以上所述, 仅为本发明专利较佳的实施例, 但本发明专利的保护范围并不局限于此, 任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明专利所公开的范围内, 根据本发明专利的技术方案及其发明专利构思加以等同替换或改变, 都属于本发明专利的保护范围。

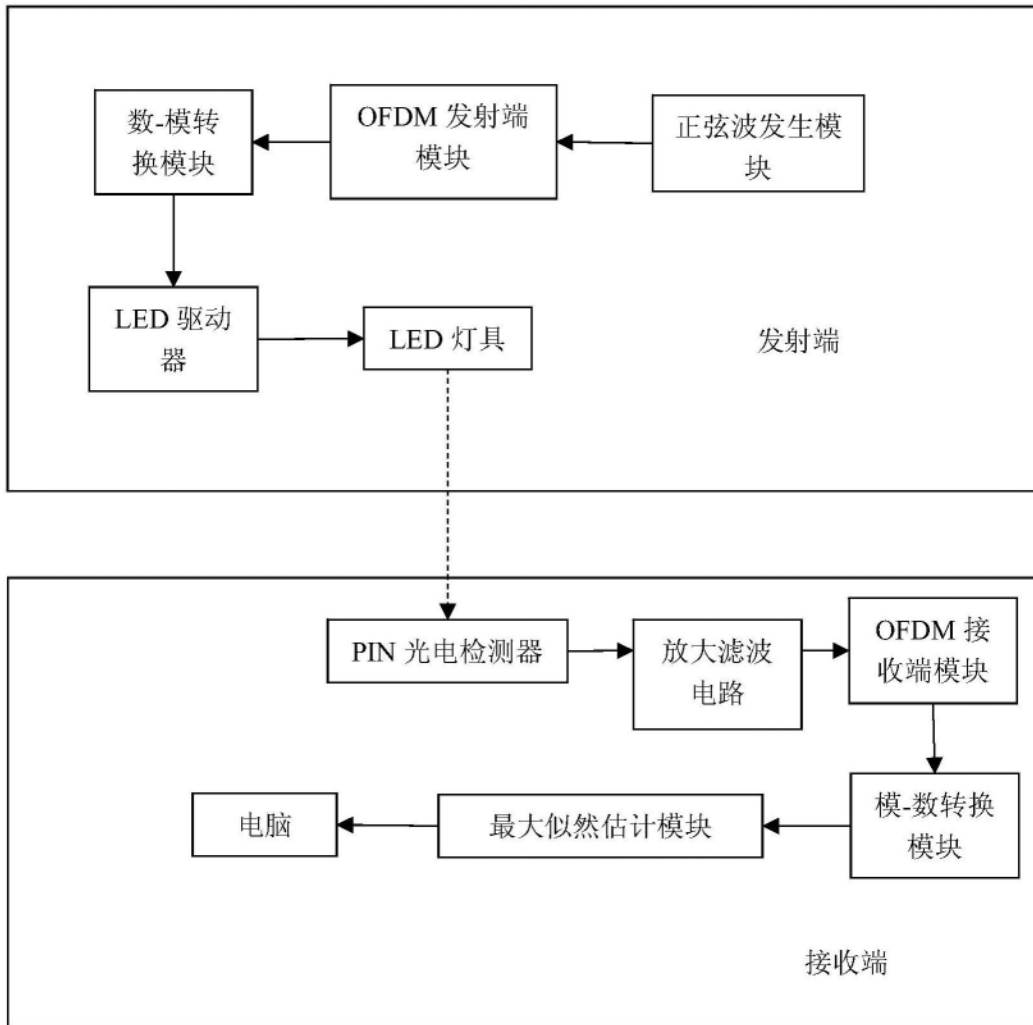


图1

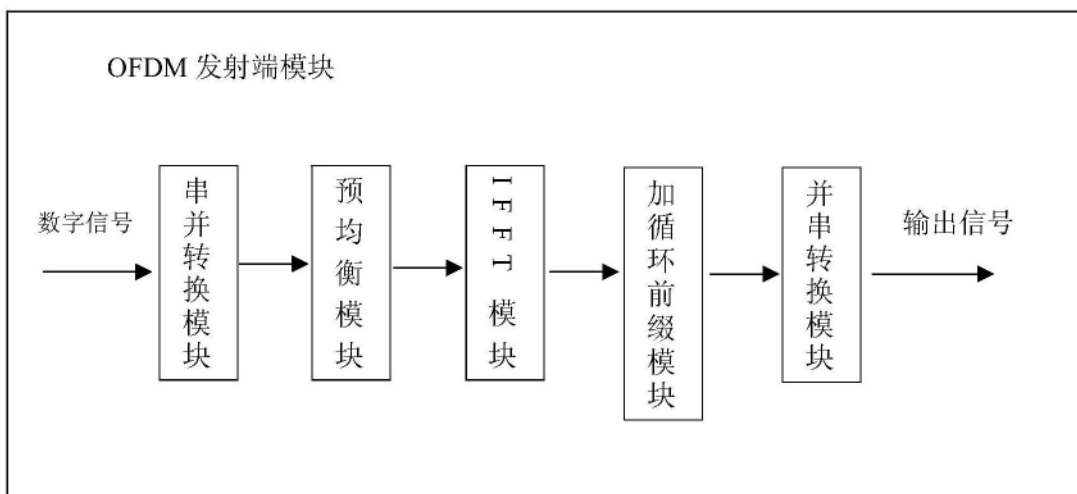


图2

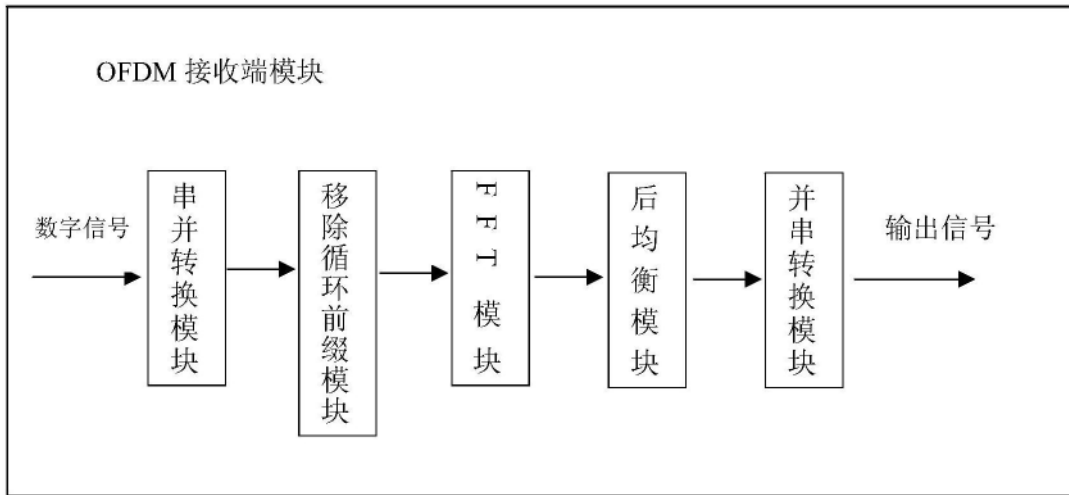


图3

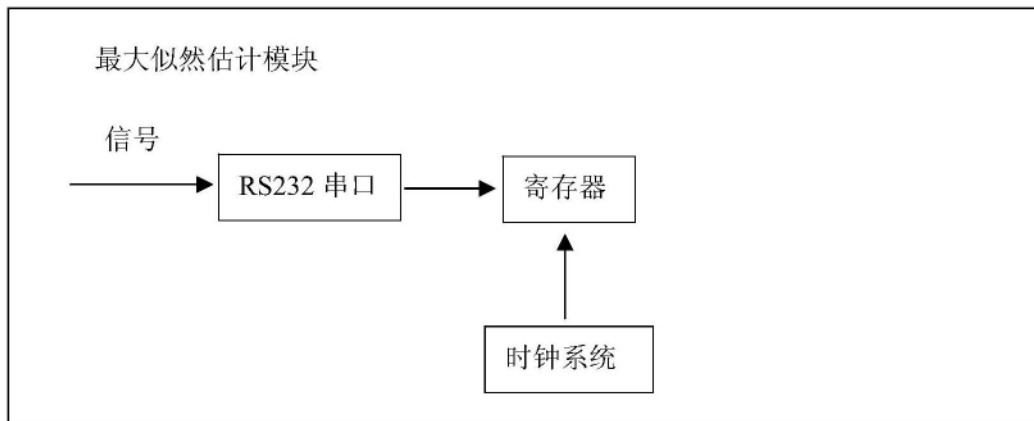


图4

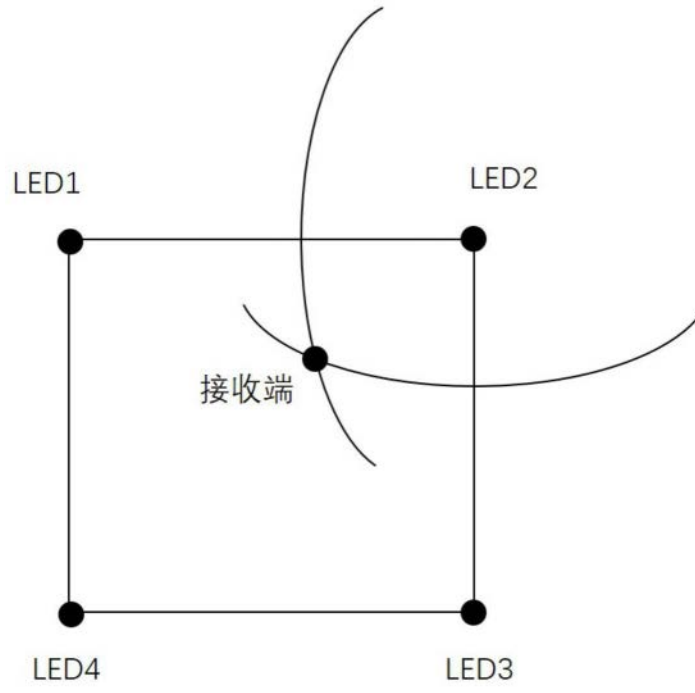


图5