



## (12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110233667 B

(45) 授权公告日 2024. 09. 03

(21) 申请号 201910485565.6

G01C 21/20 (2006.01)

(22) 申请日 2019.06.05

H04N 7/18 (2006.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 110233667 A

(56) 对比文件

CN 101324956 A, 2008.12.17

CN 108279008 A, 2018.07.13

CN 109186601 A, 2019.01.11

CN 209949108 U, 2020.01.14

(43) 申请公布日 2019.09.13

(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

审查员 谢丽莹

(72) 发明人 文尚胜 董芝强 关伟鹏 谢泽堃  
陈邦栋(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 向玉芳

(51) Int. Cl.

H04B 10/116 (2013.01)

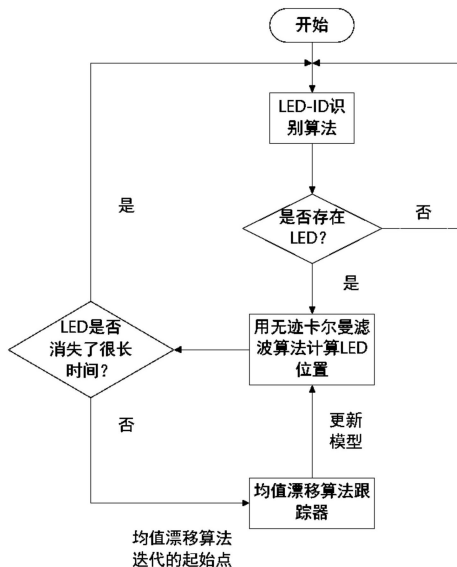
权利要求书3页 说明书9页 附图4页

## (54) 发明名称

基于均值漂移与无迹卡尔曼滤波的VLC动态  
定位方法及系统

## (57) 摘要

本发明公开了一种基于均值漂移与无迹卡尔曼滤波的VLC动态定位方法及系统,该方法包括以下步骤:首先,由LED驱动电路控制LED灯高频亮灭,通过LED-ID识别找到LED存在的区域、识别出LED的ID,并获得定位终端的初始位置。其次,均值移位算法和无迹卡尔曼滤波动态跟踪图像序列中的LED,计算当前帧LED与初始帧LED像素坐标的相对位置。然后,结合定位终端的初始位置与其在后续帧中的相对位置关系,获得定位终端在现实世界中的位置,实现实时性定位。本发明具有跟踪高速目标的能力,提高了LED被遮挡时的定位精度,即使一半的LED是屏蔽的,精度也可以保持。此外还具有良好的鲁棒性和实时性,在室内定位领域具有广阔的应用前景。



1.一种基于均值漂移与无迹卡尔曼滤波的VLC动态定位方法,其特征在于,所述的VLC动态定位方法包括以下步骤;

S1、通过LED驱动电路控制LED灯高频亮灭,通过LED-ID识别找到LED存在的区域、识别出LED的ID,并获得定位终端的初始位置;

S2、用均值移位算法和无迹卡尔曼滤波动态跟踪图像序列中的LED灯并计算出当前帧与初始帧LED灯像素坐标的相对位置关系;

所述的步骤S2包括以下步骤:

S201、采用Epanechnikov核函数描述跟踪目标的模型,假设当前帧图像跟踪目标的初始位置首先定位于目标在上一帧图像位置的中心点 $b_0$ ,对目标区域在当前图像帧的概率密度进行估计,计算中心点 $b_0$ 的Bhattacharyya系数 $\rho(b_0)$ 与其他点的Bhattacharyya系数 $\rho(b)$ ,如果 $\rho(b) > \rho(b_0)$ ,则将搜索区域的中心转移到点 $b$ ,如果点 $b$ 与中心点 $b_0$ 距离小于任意小常数 $\epsilon$ ,则结束本次循环,点 $b$ 就是当前帧图像中的跟踪目标区域的中心点,否则重复上述计算;

所述的步骤S201中进行概率密度的估计过程如下:

在第 $k$ 帧图像中,假设有 $n_k$ 个像素 $\{a_i\}_{i=1, \dots, n_k}$ 在目标区域,核函数带宽为 $h$ ,将特征空间均匀划分为 $m$ 个子区间,则目标模型特征值 $u=1, \dots, m$ 的概率密度估计为:

$$\hat{p}_u(b) = C \sum_{i=1}^n k\left(\left\|\frac{b_0 - a_i}{h}\right\|^2\right) \delta(t(a_i) - u)$$

其中  $C = \frac{1}{\sum_{i=1}^n k\left(\left\|\frac{b_0 - a_i}{h}\right\|^2\right)}$ , 为归一化常数,函数 $k(\cdot)$ 为核函数的轮廓函数,通过距离中心点 $b_0$

的距离来度量每个像素的权值, $t(a_i)$ 为点 $a_i$ 处的特征值, $\delta(t(a_i) - u)$ 的作用是判断像素的特征值是否属于第 $u$ 个区间,初始帧中心点为 $a_0$ ,其概率密度估计为

$$\hat{q}_u = C \sum_{i=1}^n k\left(\left\|\frac{a_0 - a_i}{h}\right\|^2\right) \delta(t(a_i) - u) ;$$

S202、设 $X_k = (x, y, \dot{x}, \dot{y}, h_{k|k-1})_k$ 为 $k$ 时刻目标的状态向量,其中 $x$ 和 $y$ 表示目标中心点的坐标; $\dot{x}$ 和 $\dot{y}$ 分别表示 $x$ 和 $y$ 的导数,即目标的速度; $h_{k|k-1}$ 表示目标从 $k-1$ 时刻到 $k$ 时刻的核函数带宽变化, $Y_k$ 为 $k$ 时刻目标的观测变量,对无迹卡尔曼滤波初始化:

$$\hat{X}_0 = E[X_0]$$

$$P_0 = E[(X_0 - \hat{X}_0)(X_0 - \hat{X}_0)^T]$$

$\hat{X}_k$ 为状态向量 $X_k$ 的均值, $P_k$ 为状态向量 $X_k$ 的方差;

设目标的状态向量在 $k-1$ 时刻对应的第 $i$ 个Sigma点为 $\chi_{k-1}^i$ ,Sigma点的数量为 $2n+1$ 个;

计算Sigma点:

$$\chi_{k-1}^0 = \hat{X}_{k-1}$$

$$\chi_{k-1}^i = \hat{X}_{k-1} + \left(\sqrt{(n+\lambda)P_{k-1}}\right)_i, i = 1, \dots, n$$

$$\chi_{k-1}^i = \hat{X}_{k-1} - \left(\sqrt{(n+\lambda)P_{k-1}}\right)_i, i = n+1, \dots, 2n$$

式中 $\lambda = \alpha^2(n + \varphi) - n$ ,  $\varphi = 3 - n$ ,  $\alpha$ 为待选参数,  $0 < \alpha \leq 10^{-4}$ ;

用 $\gamma_k^i$ 表示在k时刻第i个Sigma点对目标中心处的观测值,将Sigma点带入以下状态转换方程F和观测方程H:

$$x_k^i = F(x_{k-1}^i)$$

$$\gamma_k^i = H(x_k^i)$$

计算此时刻状态向量和观测变量更新前的平均值:

$$\hat{x}_k^- = \sum_{i=0}^{2n} w_i^{(m)} x_k^i$$

$$\hat{y}_k^- = \sum_{i=0}^{2n} w_i^{(m)} \gamma_k^i$$

$\hat{y}_k$ 为观测变量 $y_k$ 的平均值,  $w_i^{(m)}$ 为均值的权重系数,  $w_0^{(m)} = \frac{\lambda}{n} + \lambda$ ,  $w_i^{(m)} = 1/[2(n + \lambda)]$ ,  $i = 1, \dots, 2n$ ;

计算卡尔曼增益K:

$$K = P_{xy,k} P_{y,k}^{-1}$$

式中 $P_{y,k}^{-1} = \sum_{i=0}^{2n} w_i^{(c)} [\gamma_k^i - \hat{y}_k^-][\gamma_k^i - \hat{y}_k^-]^T$ ;  $P_{xy,k} = \sum_{i=0}^{2n} w_i^{(c)} [x_k^i - \hat{x}_k^-][\gamma_k^i - \hat{y}_k^-]^T$ ;  $w_0^{(c)} = \lambda/(n + \lambda) + (1 - \alpha^2 + \beta)$ ;  $w_i^{(c)} = w_i^{(m)}$ ,  $i = 1, \dots, 2n$ ,  $\beta \geq 0$ 且在这里值为零;

并带入以下两式中更新状态向量的均值和方差:

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K(\gamma_k - \hat{y}_k^-)$$

$$P_k = P_{y,k}^{-1} - K P_{y,k} K^T$$

S203、利用无迹卡尔曼滤波预测当前帧目标最可能的位置,再将其作为均值移位算法的先验信息,让均值移位算法搜索该区域,当LED灯被遮挡时,将均值漂移算法对目标的跟踪结果作为无迹卡尔曼滤波的观测模型,结合噪声矩阵得到最终的输出;

S3、将所述的定位终端的初始位置与相对位置关系结合,得到定位终端在世界坐标系中的当前位置。

2. 根据权利要求1所述的基于均值漂移与无迹卡尔曼滤波的VLC动态定位方法,其特征在于,所述的步骤S1过程如下:

S101、通过LED驱动电路控制输出电流的通断,使LED灯按照指定的频率闪烁;

S102、使用摄像机拍摄LED灯,将LED灯亮灭的频率转化为相机拍摄到图像上的LED灯条纹数量信息;

S103、摄像头通过USB连接线将图像传输到定位终端,再通过局域网传输到服务器端,服务器端将LED图像转换成灰度图,然后进行高斯滤波和二值化处理,得到二值化LED条纹图像,再对二值化LED条纹图像进行特征提取和特征检测,获得LED灯的ID;

S104、利用多个LED灯的世界坐标和世界坐标系中的几何关系计算出定位终端即机器人的实际初始位置。

3. 根据权利要求1所述的基于均值漂移与无迹卡尔曼滤波的VLC动态定位方法,其特征在于,所述的步骤S3利用当前帧LED灯与初始帧LED灯像素坐标的相对位置关系,通过不同

的坐标系之间的坐标变换建立从像素坐标到世界坐标的线性映射,然后利用LED灯与定位终端之间的几何位置关系,由相似三角形计算出当前帧与初始帧定位终端的像素坐标的相对位置关系,再结合定位终端的初始位置,计算得到定位终端在世界坐标系中的位置。

4.根据权利要求1所述的基于均值漂移与无迹卡尔曼滤波的VLC动态定位方法,其特征在于,所述的Bhattacharyya系数的计算方程如下:

$$\rho(b_0) = \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(b_0)\hat{q}_u}$$

$$\rho(b) = \rho(\hat{p}(b), \hat{q}) = \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(b)\hat{q}_u} = \frac{1}{2} \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(b_0)\hat{q}_u} + \frac{C}{2} \sum_{i=1}^{n_k} w_{ik} \left( \left\| \frac{b - a_i}{h} \right\|^2 \right)$$

其中 $w_i = \sum_{u=1}^m \sqrt{\frac{\hat{q}_u}{\hat{p}_u(a_0)}} \delta(t(a_i) - u)$ 为第i点的权重。

5.根据权利要求1所述的基于均值漂移与无迹卡尔曼滤波的VLC动态定位方法,其特征在于,所述的状态转换方程F和观测方程H的高斯白噪声矩阵 $W_k$ 和 $V_k$ 的满足以下统计特性:

$$W_k \sim N(0, Q_k) \quad V_k \sim N(0, R_k)$$

其中, $Q_k$ 和 $R_k$ 分别为两个噪声矩阵的协方差矩阵。

6.一种根据权利要求1至5任一所述的基于均值漂移与无迹卡尔曼滤波的VLC动态定位方法的VLC动态定位系统,其特征在于,所述的VLC动态定位系统包括VLC发射端、VLC接收端和服务器端;

其中,所述的VLC发射端包括28V恒压源、LED驱动电路、LED灯和电源适配器;其中,所述的LED灯由28V恒压源供电;所述的LED驱动电路控制LED灯产生高频亮灭;所述的电源适配器将输入的电压转化为5V电压后向LED驱动电路单独供电;

所述的VLC接收端包括定位终端和摄像头子系统;其中,所述的摄像头子系统包括CMOS摄像头、CMOS摄像头参数设置模块;所述的CMOS摄像头用于持续拍摄LED灯的实时图像;所述的CMOS摄像头与定位终端相连,将获得的图像传输到定位终端;所述的定位终端包括WIFI模块与液晶显示屏,所述的WIFI模块将图像传输到服务器端;

所述的服务器端包括图像处理子系统、图像跟踪模块和无迹卡尔曼滤波器;所述的图像处理子系统包括彩色图像转换灰度图像模块、图像滤波模块、图像二值化模块与LED灯识别模块,各模块依次相连接接收并处理图像实现LED灯识别,将图像与LED灯的ID传输到无迹卡尔曼滤波器和图像跟踪模块;所述的无迹卡尔曼滤波器包括LED灯位置预测模块、LED灯位置优化模块、卡尔曼滤波参数更新模块,将当前LED预测结果传输到图像跟踪模块;所述的图像跟踪模块对目标实时跟踪及定位,将定位信息通过WIFI模块传输到定位终端,最终通过对定位终端的液晶显示屏施加控制电压显示定位信息。

7.根据权利要求6所述的基于均值漂移与无迹卡尔曼滤波的VLC动态定位系统,其特征在于,所述的LED驱动电路采用一块STM32系统板作为芯片,同时采用DD311高频开关控制LED灯的电流的通断,使LED灯产生高频亮灭。

8.根据权利要求6所述的基于均值漂移与无迹卡尔曼滤波的VLC动态定位系统,其特征在于,所述的CMOS摄像头参数设置模块用于设置CMOS摄像头的焦距、曝光时长、曝光补偿、感光度,从而使CMOS摄像头能够清晰的捕获到LED图像。

## 基于均值漂移与无迹卡尔曼滤波的VLC动态定位方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及可见光通信技术领域,具体涉及一种基于均值漂移与无迹卡尔曼滤波的VLC动态定位方法及系统。

### 背景技术

[0002] 在商业中心、大型公共建筑(地铁、机场、图书馆等)、高风险工业园区、医院、养老院等GPS辅助作用不大、迫切需要导航定位服务的室内场所,室内定位技术具有广阔的应用前景。

[0003] 常用的室内定位技术有红外线(IR)、超声波、射频识别(RFID)、无线局域网(WLAN)、蓝牙和超宽带(UWB)等。基于这些技术,开发了不同的实现方案。但是,考虑到定位精度或抗电磁干扰的能力,或者硬件设备成本高,这些都存在明显的缺点,难以推广。

[0004] 与上述室内定位技术相比,可见光定位(VLP)技术具有带宽资源丰富、抗电磁干扰能力强、定位精度高、光照能力强等突出优势。此外,支持VLP系统的硬件设备成本相对较小,因为不需要进行精确测量的复杂设备。因此,VLP技术在室内定位领域具有广阔的应用前景。

[0005] 基于VLP的室内定位系统存在两种模式:基于光电二极管(PD)的定位和基于图像传感器(IS)的定位。而由于光电二极管对光束方向的敏感性,定位终端的移动性受到了严重的限制,它还存在另一个显著缺点,即鲁棒性较差。即使在同一位置,重复测量也会产生光强的波动值。此外,基于PD的VLP系统容易受到环境光和反射光的干扰。同时,需要对接收到的角度和信号强度进行精确测量。否则定位结果会有明显的误差。

[0006] 从理论上讲,IS在VLP领域的性能优于PD,但是现有的研究在定位精度、实时性和鲁棒性方面都没有取得令人满意的结果。当目标以较快的速度移动时,LED的图像会变得模糊,这可能会导致定位失败。另外当LED与定位终端之间的光路被阻塞时,因为大多数定位算法都是基于两个或多个LED,图像中缺少一个LED的情况下,算法很有可能会失败。另外,屏蔽效应是VLP领域中的一个致命问题,如使用光流法解决该问题又会使计算量变得很大。

[0007] 另一方面,目前智能手机已经配备了高分辨率互补金属氧化物半导体(CMOS)传感器摄像头,可以很容易地与基于IS的VLP方法相结合,具有巨大的商业价值。

### 发明内容

[0008] 本发明的目的是为了针对现有方法与VLP系统的性能的不足,以及迎合当前对室内定位技术的要求,提供一种基于均值漂移与无迹卡尔曼滤波的VLC动态定位方法及系统。

[0009] 本发明的第一个技术目的可以通过采取如下技术方案达到:

[0010] 一种基于均值漂移与无迹卡尔曼滤波的VLC动态定位方法,所述的VLC动态定位方法包括以下步骤;

[0011] S1、通过LED驱动电路控制LED灯高频亮灭,通过LED-ID识别找到LED存在的区域、识别出LED的ID,并获得定位终端的初始位置;

[0012] S2、用均值移位算法和无迹卡尔曼滤波动态跟踪图像序列中的LED灯并计算出当前帧与初始帧LED灯像素坐标的相对位置关系；

[0013] S3、将所述的定位终端的初始位置与相对位置关系结合，得到定位终端在世界坐标系中的当前位置。

[0014] 进一步地，所述的步骤S1过程如下：

[0015] S101、通过LED驱动电路控制输出电流的通断，使LED灯按照指定的频率闪烁；

[0016] S102、使用摄像机拍摄LED灯，将LED灯亮灭的频率转化为相机拍摄到图像上的LED灯条纹数量信息；

[0017] S103、摄像头通过USB连接线将图像传输到定位终端，再通过局域网传输到服务器端，服务器端将LED图像转换成灰度图，然后进行高斯滤波和二值化处理，得到二值化LED条纹图像，再对二值化LED条纹图像进行特征提取和特征检测，获得LED灯的ID；

[0018] S104、利用多个LED灯的世界坐标和世界坐标系中的几何关系计算出定位终端即机器人的实际初始位置。

[0019] 进一步地，所述的步骤S2包括以下步骤：

[0020] S201、采用Epanechnikov核函数描述跟踪目标的模型，假设当前帧图像跟踪目标的初始位置首先定位于目标在上一帧图像位置的中心点 $b_0$ ，对目标区域在当前图像帧的概率密度进行估计，计算中心点 $b_0$ 的Bhattacharyya系数 $\rho(b_0)$ 与其他点的Bhattacharyya系数 $\rho(b)$ ，如果 $\rho(b) > \rho(b_0)$ ，则将搜索区域的中心转移到点 $b$ ，如果点 $b$ 与中心点 $b_0$ 距离小于任意小常数 $\epsilon$ ，则结束本次循环，点 $b$ 就是当前帧图像中的跟踪目标区域的中心点，否则重复上述计算；

[0021] 以上即为均值移位算法的过程；

[0022] S202、引入无迹卡尔曼滤波优化算法，设 $X_k = (x, y, \dot{x}, \dot{y}, h_{k|k-1})_k$ 为目标的状态向量，其中 $x$ 和 $y$ 表示目标中心点的坐标； $\dot{x}$ 和 $\dot{y}$ 分别表示 $x$ 和 $y$ 的导数，即目标的速度； $h_{k|k-1}$ 表示目标从 $k-1$ 时刻到 $k$ 时刻的核函数带宽变化， $Y_k$ 为目标的观测变量，对无迹卡尔曼滤波初始化：

[0023]  $\hat{X}_0 = E[X_0]$

[0024]  $P_0 = E[(X_0 - \hat{X}_0)(X_0 - \hat{X}_0)^T]$

[0025]  $\hat{X}_k$ 为状态向量 $X_k$ 的均值， $P_k$ 为状态向量 $X_k$ 的方差；

[0026] 设目标的状态向量在 $k-1$ 时刻对应的第 $i$ 个Sigma点为 $\chi_{k-1}^i$ ，Sigma点的数量为 $2n+1$ 个。

[0027] 计算Sigma点：

[0028]  $\chi_{k-1}^0 = \hat{X}_{k-1}$

[0029]  $\chi_{k-1}^i = \hat{X}_{k-1} + \left( \sqrt{(n+\lambda)P_{k-1}} \right)_i, i = 1, \dots, n$

[0030]  $\chi_{k-1}^i = \hat{X}_{k-1} - \left( \sqrt{(n+\lambda)P_{k-1}} \right)_i, i = n+1, \dots, 2n$

[0031] 式中 $\lambda = \alpha^2(n + \varphi) - n$ ， $\varphi = 3 - n$ ， $\alpha$ 为待选参数， $0 < \alpha \leq 10^{-4}$ ；

[0032] 用  $\gamma_k^i$  表示在k时刻第i个Sigma点对目标中心处的观测值,将Sigma点带入以下状态转换方程F和观测方程H:

$$[0033] \quad \chi_k^i = F(\chi_{k-1}^i)$$

$$[0034] \quad \gamma_k^i = H(\chi_k^i)$$

[0035] 计算此时刻状态向量和观测变量更新前的平均值:

$$[0036] \quad \hat{X}_k^- = \sum_{i=0}^{2n} W_i^{(m)} \chi_k^i$$

$$[0037] \quad \hat{Y}_k^- = \sum_{i=0}^{2n} W_i^{(m)} \gamma_k^i$$

[0038]  $\hat{Y}_k^-$  为观测变量  $Y_k$  的平均值,  $w_i^{(m)}$  为均值的权重系数,  $w_0^{(m)} = \frac{\lambda}{n} + \lambda$ ,  $w_i^{(m)} = 1/[2(n + \lambda)]$ ,  $i=1, \dots, 2n$ 。

[0039] 计算卡尔曼增益K:

$$[0040] \quad K = P_{xy,k} P_{y,k}^-$$

[0041] 式中  $P_{y,k}^- = \sum_{i=0}^{2n} W_i^{(c)} [\gamma_k^i - \hat{Y}_k^-][\gamma_k^i - \hat{Y}_k^-]^T$ ,  $P_{xy,k} = \sum_{i=0}^{2n} W_i^{(c)} [\chi_k^i - \hat{X}_k^-][\gamma_k^i - \hat{Y}_k^-]^T$ ,  $w_0^{(c)} = \lambda/(n + \lambda) + (1 - \alpha^2 + \beta)$ ,  $w_i^{(c)} = W_i^{(m)}$  ( $i = 1, \dots, 2n$ ),  $\beta \geq 0$  且在这里值为零。

[0042] 并带入以下两式中更新状态向量的均值和方差;

$$[0043] \quad \hat{X}_k = \hat{X}_k^- + K(Y_k - \hat{Y}_k^-)$$

$$[0044] \quad P_k = P_{y,k}^- - K P_{y,k} K^T;$$

[0045] S203、将无迹卡尔曼滤波引入均值移位算法,利用无迹卡尔曼滤波预测当前帧目标最可能的位置,再将其作为均值移位算法的先验信息,让均值移位算法搜索该区域,当LED灯被遮挡时,将均值漂移算法对目标的跟踪结果作为无迹卡尔曼滤波的观测模型,结合噪声矩阵得到最终的输出。

[0046] 进一步地,所述的步骤S3利用当前帧LED灯与初始帧LED灯像素坐标的相对位置关系,通过不同的坐标系之间的坐标变换建立从像素坐标到世界坐标的线性映射,然后利用LED灯与定位终端之间的几何位置关系,由相似三角形计算出当前帧与初始帧定位终端的像素坐标的相对位置关系,再结合定位终端的初始位置,计算得到定位终端在世界坐标系中的位置。

[0047] 进一步地,所述的步骤S201中进行概率密度的估计过程如下:

[0048] 在第k帧图像中,假设有  $n_k$  个像素  $\{a_i\}_{i=1, \dots, n_k}$  在目标区域,核函数带宽为h,将特征空间均匀划分为m个子区间,则目标模型特征值  $u = 1, \dots, m$  的概率密度估计为:

$$[0049] \quad \hat{p}_u(b) = C \sum_{i=1}^n k \left( \left\| \frac{b_0 - a_i}{h} \right\|^2 \right) \delta(t(a_i) - u)$$

[0050] 其中  $C = \frac{1}{\sum_{i=1}^n k\left(\left\|\frac{b_0 - a_i}{h}\right\|^2\right)}$ , 为归一化常数, 函数  $k(\cdot)$  为核函数的轮廓函数, 通过距离中心点 (即式中  $a_0$ ) 的距离来度量每个像素的权值,  $t(a_i)$  为点  $a_i$  处的特征值,  $\delta(t(a_i) - u)$  的作用是判断像素的特征值是否属于第  $u$  个区间, 初始帧中心点为  $a_0$ , 其概率密度估计为

$$[0051] \quad \hat{q}_u = C \sum_{i=1}^n k\left(\left\|\frac{a_0 - a_i}{h}\right\|^2\right) \delta(t(a_i) - u)。$$

[0052] 进一步地, 所述的Bhattacharyya系数的计算方程如下:

$$[0053] \quad \rho(b_0) = \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(b_0) \hat{q}_u}$$

$$[0054] \quad \rho(b) = \rho(\hat{p}(b), \hat{q}) = \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(b) \hat{q}_u} = \frac{1}{2} \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(b_0) \hat{q}_u} + \frac{C}{2} \sum_{i=1}^{n_k} w_i k\left(\left\|\frac{b - a_i}{h}\right\|^2\right)$$

[0055] 其中  $w_i = \sum_{u=1}^m \sqrt{\frac{\hat{q}_u}{\hat{p}_u(a_0)}} \delta(b(a_i) - u)$  为第  $i$  点的权重。

[0056] 进一步地, 所述的状态转换方程  $F$  和观测方程  $H$  的高斯白噪声矩阵  $W_k$  和  $V_k$  的满足以下统计特性:

$$[0057] \quad W_k \sim N(0, Q_k) \quad V_k \sim N(0, R_k)$$

[0058] 其中,  $Q_k$  和  $R_k$  分别为两个噪声矩阵的协方差矩阵。

[0059] 本发明的另一个技术目的可以通过采取如下技术方案达到:

[0060] 一种基于均值漂移与无迹卡尔曼滤波的VLC动态定位系统, 所述的VLC动态定位系统包括VLC发射端、VLC接收端和服务端;

[0061] 其中, 所述的VLC发射端包括28V恒压源、LED驱动电路、LED灯和电源适配器; 其中, 所述的LED灯由28V恒压源供电; 所述的LED驱动电路控制LED灯产生高频亮灭; 所述的电源适配器将输入的电压转化为5V电压后向LED驱动电路单独供电;

[0062] 所述的VLC接收端包括定位终端和摄像头子系统; 其中, 所述的摄像头子系统包括CMOS摄像头、CMOS摄像头参数设置模块; 所述的CMOS摄像头用于持续拍摄LED灯的实时图像; 所述的CMOS摄像头与定位终端相连, 将获得的图像传输到定位终端; 所述的定位终端包括WIFI模块与液晶显示屏, 所述的WIFI模块将图像传输到服务端;

[0063] 所述的服务端包括图像处理子系统、图像跟踪模块和无迹卡尔曼滤波器; 所述的图像处理子系统包括彩色图像转换灰度图像模块、图像滤波模块、图像二值化模块与LED灯识别模块, 各模块依次相连接接收并处理图像实现LED灯识别, 将图像与LED灯的ID传输到无迹卡尔曼滤波器和图像跟踪模块; 所述的无迹卡尔曼滤波器包括LED灯位置预测模块、LED灯位置优化模块、卡尔曼滤波参数更新模块, 将当前LED预测结果传输到图像跟踪模块; 所述的图像跟踪模块对目标实时跟踪及定位, 将定位信息通过WIFI模块传输到定位终端, 最终通过对定位终端的液晶显示屏施加控制电压显示定位信息。

[0064] 进一步地, 所述的LED驱动电路采用一块STM32系统板作为芯片, 同时采用DD311高频开关控制LED灯的电流的通断, 使LED灯产生高频亮灭。

[0065] 进一步地, 所述的CMOS摄像头参数设置模块用于设置CMOS摄像头的焦距、曝光时



长、曝光补偿、感光度,从而使CMOS摄像头能够清晰的捕获到LED图像。

[0066] 本发明相对于现有技术具有如下的优点及效果:

[0067] 1、本发明使用的方法只需要知道LED的初始位置和与定位终端的相对位置关系,避免了重复复杂的VLP定位算法。

[0068] 2、本发明采用均值移位算法对图像传感器中的运动LED进行跟踪,解决了模糊效果问题,保证了实时性。

[0069] 3、本发明采用无迹卡尔曼滤波,提高了定位终端的最大允许运动速度,减少了算法的运行时间。

[0070] 4、本发明采取具有良好的鲁棒性的均值移位算法,在简单背景下,即使图像中大部分LED都被遮挡,VLP方法也不会失效。

[0071] 5、本发明将可见光定位方法的结果与无迹卡尔曼滤波的噪声矩阵相结合,得到了LED被遮挡时的输出,降低了定位结果的误差。

## 附图说明

[0072] 图1是本发明中公开的基于均值漂移与无迹卡尔曼滤波的VLC动态定位方法的示意图;

[0073] 图2是本发明实施例中工业相机卷帘门效应工作原理示意图;

[0074] 图3是本发明中无迹转化过程示意图;

[0075] 图4是本发明中世界坐标系、图像坐标系和相机坐标系的示意图;

[0076] 图5是本发明实施例中LED与图像传感器几何关系的示意图;

[0077] 图6是本发明中公开的基于均值漂移与无迹卡尔曼滤波的VLC动态定位系统的设备组成结构图。

## 具体实施方式

[0078] 为使本发明实施例的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0079] 实施例一

[0080] 如附图1所示,本实施例公开了一种基于均值漂移与无迹卡尔曼滤波的VLC动态定位方法,包括下列步骤:

[0081] S1、控制各LED灯以不同的频率高频亮灭。当动态可见光定位算法启动时,通过LED-ID识别算法找到LED灯所在的区域,然后识别出各LED的ID,并获得定位终端的初始位置;

[0082] 具体实施例中,该步骤S1包括以下子步骤:

[0083] S101、通过对单片机编程,使其不同管脚输出不同频率的脉冲序列,将不同频率的脉冲序列输入到LED驱动电路,LED驱动电路控制输出电流的通断,从而使LED按照指定的频率闪烁;

[0084] S102、如附图2所示,使用具有互补金属氧化物半导体(CMOS)图像传感器的滚动快

门机构的摄像机拍摄LED灯,利用其逐行曝光、逐行读出数据的特性,将LED灯亮灭的频率转化为相机拍摄到图像上的LED灯条纹数量信息;

[0085] S103、摄像头通过USB连接线将图像传输到定位终端,再通过局域网传输到服务器端,服务器端将LED图像转换成灰度图,然后进行高斯滤波和二值化处理,得到二值化LED条纹图像,再对二值化图像进行特征提取和特征检测,从而获得LED灯的ID;

[0086] S104、获得各LED的ID即可获得各LED的世界坐标,利用多个LED灯的世界坐标和世界坐标系中的几何关系即可计算出定位终端即机器人的实际初始位置;

[0087] S2、用均值移位算法和无迹卡尔曼滤波动态跟踪图像序列中的LED灯,通过该算法计算当前帧与初始帧LED灯像素坐标的相对位置关系;

[0088] 具体实施例中,该步骤S2包括以下子步骤:

[0089] S201、采用Epanechnikov核函数描述跟踪目标的模型,在第k帧图像中,假设有 $n_k$ 个像素 $\{a_i\}_{i=1,\dots,n_k}$ 在目标区域,假设当前帧图像跟踪目标的初始位置首先定位于目标在上一帧图像位置的中心点 $b_0$ ,核函数带宽为 $h$ ,将特征空间均匀划分为 $m$ 个子区间,则目标模型特征值 $u=1,\dots,m$ 的概率密度估计为:

$$[0090] \quad \hat{p}_u(b) = C \sum_{i=1}^n k\left(\left\|\frac{b_0 - a_i}{h}\right\|^2\right) \delta(t(a_i) - u)$$

[0091] 其中  $C = \frac{1}{\sum_{i=1}^n k\left(\left\|\frac{b_0 - a_i}{h}\right\|^2\right)}$ , 为归一化常数,函数 $k(\cdot)$ 为核函数的轮廓函数,通过距离中心点(即式中 $a_0$ )的距离来度量每个像素的权值, $t(a_i)$ 为点 $a_i$ 处的特征值, $\delta(t(a_i) - u)$ 的作用是判断像素的特征值是否属于第 $u$ 个区间。初始帧中心点为 $a_0$ ,其概率密度估计为

$$[0092] \quad \hat{q}_u = C \sum_{i=1}^n k\left(\left\|\frac{a_0 - a_i}{h}\right\|^2\right) \delta(t(a_i) - u)。$$

[0093] 使用核密度估计,使每个样本点的权值与它们到中心点的距离有关,能够保证均值漂移过程使核函数收敛于估计密度为零的点附近。

[0094] 再利用如下方程计算 $b_0$ 的Bhattacharyya系数 $\rho(b_0)$ :

$$[0095] \quad \rho(b_0) = \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(b_0) \hat{q}_u}$$

[0096] 然后利用下式计算每个点的Bhattacharyya系数 $\rho(b)$ :

$$[0097] \quad \rho(b) = \rho(\hat{p}(b), \hat{q}) = \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(b) \hat{q}_u} = \frac{1}{2} \sum_{u=1}^m \sqrt{\hat{p}_u(b_0) \hat{q}_u} + \frac{C}{2} \sum_{i=1}^{n_k} w_i k\left(\left\|\frac{b - a_i}{h}\right\|^2\right)$$

[0098] 其中  $w_i = \sum_{u=1}^m \sqrt{\frac{\hat{q}_u}{\hat{p}_u(a_0)}} \delta(b(a_i) - u)$  为每个点的权重。

[0099] Bhattacharyya系数与均值移位算法具有良好的拟合性,因此选择Bhattacharyya系数来度量目标模型与候选模型之间的相似性。

[0100] 如果 $\rho(b) > \rho(b_0)$ ,则将搜索区域的中心转移到 $b$ 点,如果 $b$ 与 $b_0$ 距离小于任意小常数 $\epsilon$ ,则结束本次循环,点 $b$ 就是当前帧图像中的跟踪目标区域的中心点,否则重复上述计算。

[0101] S202、引入无迹卡尔曼滤波优化算法,设 $X_k = (x, y, \dot{x}, \dot{y}, h_{k|k-1})_k$ 为目标的状态向量,其中 $x$ 和 $y$ 表示目标中心点的坐标; $\dot{x}$ 和 $\dot{y}$ 分别表示 $x$ 和 $y$ 的导数,即目标的速度; $h_{k|k-1}$ 表示目标从 $k-1$ 时刻到 $k$ 时刻的核函数带宽变化。 $Y_k$ 为目标的观测变量。先对无迹卡尔曼滤波初始化:

$$[0102] \quad \hat{X}_0 = E[X_0]$$

$$[0103] \quad P_0 = E[(X_0 - \hat{X}_0)(X_0 - \hat{X}_0)^T]$$

[0104]  $\hat{X}_k$ 为状态向量 $X_k$ 的均值, $P_k$ 为状态向量 $X_k$ 的方差;

[0105] 设目标的状态向量在 $k-1$ 时刻对应的第 $i$ 个Sigma点为 $\chi_{k-1}^i$ ,Sigma点的数量为 $2n+1$ 个。然后如附图3所示,用以下三个方程计算Sigma点:

$$[0106] \quad \chi_{k-1}^0 = \hat{X}_{k-1}$$

$$[0107] \quad \chi_{k-1}^i = \hat{X}_{k-1} + \left( \sqrt{(n+\lambda)P_{k-1}} \right)_i, i = 1, \dots, n$$

$$[0108] \quad \chi_{k-1}^i = \hat{X}_{k-1} - \left( \sqrt{(n+\lambda)P_{k-1}} \right)_i, i = n+1, \dots, 2n$$

[0109] 式中 $\lambda = \alpha^2(n+\varphi) - n$ ,  $\varphi = 3 - n$ ,  $\alpha$ 是候选参数,  $0 < \alpha \leq 10^{-4}$ 。

[0110] 用 $\gamma_k^i$ 表示在 $k$ 时刻第 $i$ 个Sigma点对目标中心处的观测值。将Sigma点带入以下状态转换方程 $F$ 和观测方程 $H$ :

$$[0111] \quad \chi_k^i = F(\chi_{k-1}^i)$$

$$[0112] \quad \gamma_k^i = H(\chi_k^i)$$

[0113] 然后可由以下方程计算此时刻状态向量和观测变量更新前的平均值:

$$[0114] \quad \hat{X}_k^- = \sum_{i=0}^{2n} W_i^{(m)} \chi_k^i$$

$$[0115] \quad \hat{Y}_k^- = \sum_{i=0}^{2n} W_i^{(m)} \gamma_k^i$$

[0116]  $\hat{Y}_k$ 为观测变量 $Y_k$ 的平均值,  $W_i^{(m)}$ 为均值的权重系数,  $W_0^{(m)} = \frac{\lambda}{n} + \lambda$ ,  $W_i^{(m)} = 1/[2(n+\lambda)]$ ,  $i=1, \dots, 2n$ 。

[0117] 再由下式计算卡尔曼增益 $K$ :

$$[0118] \quad K = P_{xy,k} P_{y,k}^-$$

[0119] 式中 $P_{y,k}^- = \sum_{i=0}^{2n} W_i^{(c)} [\gamma_k^i - \hat{Y}_k^-][\gamma_k^i - \hat{Y}_k^-]^T$ ,  $P_{xy,k} = \sum_{i=0}^{2n} W_i^{(c)} [\chi_k^i - \hat{X}_k^-][\gamma_k^i - \hat{Y}_k^-]^T$ ,  $W_0^{(c)} = \lambda/(n+\lambda) + (1-\alpha^2 + \beta)$ ,  $W_i^{(c)} = W_i^{(m)}$  ( $i = 1, \dots, 2n$ ),  $\beta \geq 0$ 且在这里值为零。

[0120] 最后将 $K$ 带入以下两式中更新状态向量的均值和方差:

$$[0121] \quad \hat{X}_k = \hat{X}_k^- + K(Y_k - \hat{Y}_k^-)$$

[0122]  $P_k = P_{y,k} - K P_{y,k} K^T$ ;

[0123] 无迹卡尔曼滤波算法每次计算的目标位置都会与它的上一个位置进行比较,从而更新和修正了无迹卡尔曼滤波的状态模型;

[0124] S203、将无迹卡尔曼滤波引入均值移位算法,利用无迹卡尔曼滤波预测当前帧目标最可能的位置,再将其作为均值移位算法的先验信息,让均值移位算法搜索该区域。通过该方案可以有效减少迭代的数量,提高定位的实时性,并且提高了定位终端的最大允许运行速度。

[0125] 另外,状态转换方程和观测方程的高斯白噪声矩阵 $W_k$ 和 $V_k$ 的满足以下统计特性:

[0126]  $W_k \sim N(0, Q_k)$   $V_k \sim N(0, R_k)$

[0127] 其中 $Q_k$ 和 $R_k$ 分别为两个噪声矩阵的协方差矩阵。当LED被遮挡时,将均值漂移算法对目标的跟踪结果作为无迹卡尔曼滤波的观测模型,结合噪声矩阵得到最终的输出,可以有效解决LED被遮挡的情况。

[0128] 通过以上结合无迹卡尔曼滤波的均值移位算法可得到当前帧LED灯与初始帧LED灯像素坐标的相对位置关系。

[0129] S3、利用S1中获得的定位终端的初始位置和S2中获得的相对位置关系,得到定位终端在世界坐标系中的当前位置;

[0130] 具体实施例中,该步骤S3过程如下:

[0131] 利用当前帧LED灯与初始帧LED灯像素坐标的相对位置关系,如附图4所示,通过不同的坐标系之间的坐标变换建立从像素坐标到世界坐标的线性映射,然后,如附图5所示,利用LED灯与定位终端之间的几何位置关系,由相似三角形可以计算出当前帧与初始帧定位终端的像素坐标的相对位置关系,再结合定位终端的初始位置,最终计算得到定位终端在世界坐标系中的位置。

[0132] 实施例二

[0133] 如图6所示,本实施例公开了一种基于均值漂移与无迹卡尔曼滤波的VLC动态定位系统,该VLC动态定位系统包括:VLC发射端、VLC接收端和服务端。

[0134] 其中,VLC发射端包括28V恒压源、LED驱动电路、LED灯和电源适配器;

[0135] LED灯由28V恒压源供电,可使LED灯具有恒定且合适的光强;LED驱动电路由一块STM32系统板作为芯片,使用DD311高频开关控制LED灯的电流的通断,使LED灯产生人眼无法识别的高频亮灭,每个LED灯的亮灭频率不同,故上述LED可作为唯一ID的光信号发射器;电源适配器将输入的电压转化为5V左右的电压为LED驱动电路单独供电。

[0136] VLC接收端包括定位终端和摄像头子系统;

[0137] 摄像头子系统由CMOS摄像头、CMOS摄像头参数设置模块组成,CMOS摄像头参数设置模块设置CMOS摄像头的焦距、曝光时长、曝光补偿、感光度,从而使CMOS摄像头能够清晰的捕获到LED图像;CMOS摄像头持续拍摄LED灯的实时图像,因相机的卷帘门效应,即逐行曝光、逐行读出数据的特性可获得带有不同明暗条纹数目的LED灯的图像;摄像头与定位终端直接相连,将获得的图像传输到定位终端;定位终端包括WIFI模块与液晶显示屏,通过WIFI模块将图像传输到服务器端;

[0138] 服务器端包括图像处理子系统、图像跟踪模块和无迹卡尔曼滤波器;

[0139] 图像处理子系统包括彩色图像转换灰度图像模块、图像滤波模块、图像二值化模

块与LED灯识别模块,各模块依次相连接接收并处理图像实现LED识别,再将图像与LED的ID传输到无迹卡尔曼滤波器和图像跟踪模块;无迹卡尔曼滤波器包括LED灯位置预测模块、LED灯位置优化模块、卡尔曼滤波参数更新模块;无迹卡尔曼滤波器将当前LED预测结果传输到图像跟踪模块;图像跟踪模块对目标的实时跟踪及定位,将定位信息利用WIFI模块传输到定位终端,最终通过对定位终端的液晶显示屏施加控制电压显示定位信息。

[0140] 本发明采用无迹卡尔曼滤波器辅助图像跟踪模块进行定位,可以有效提高定位的实时性与鲁棒性,适用于移动终端设备,如智能手机、平板电脑、移动机器人等。

[0141] 上述实施例为本发明较佳的实施方式,但本发明的实施方式并不受上述实施例的限制,其他的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内。

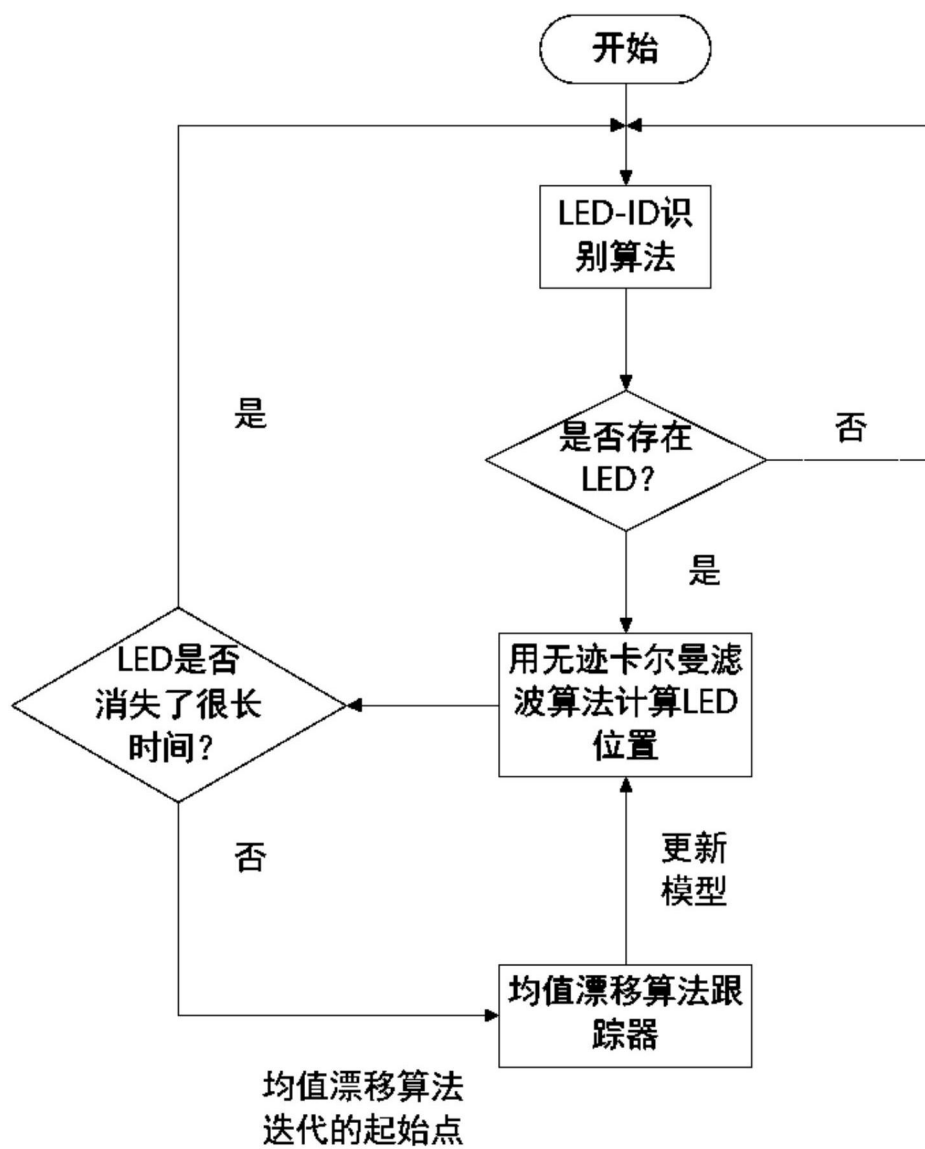


图1

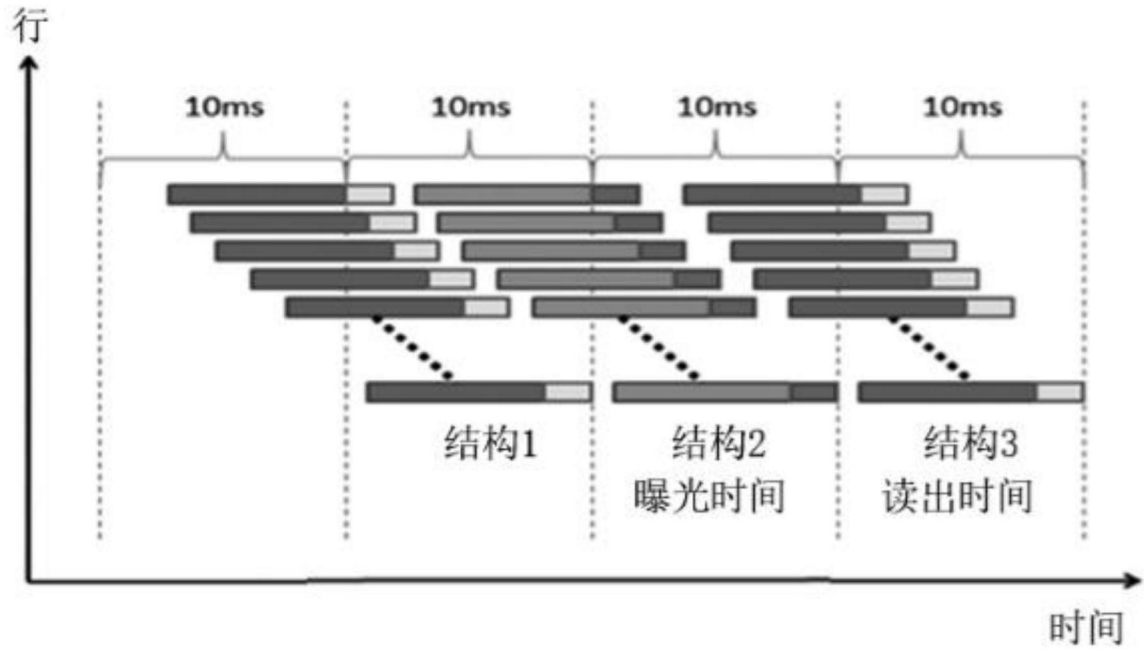


图2

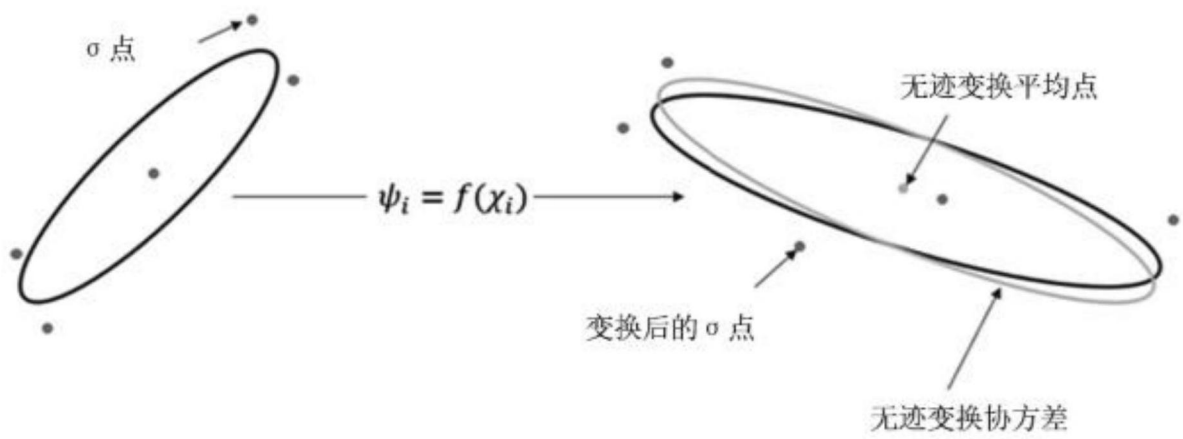


图3

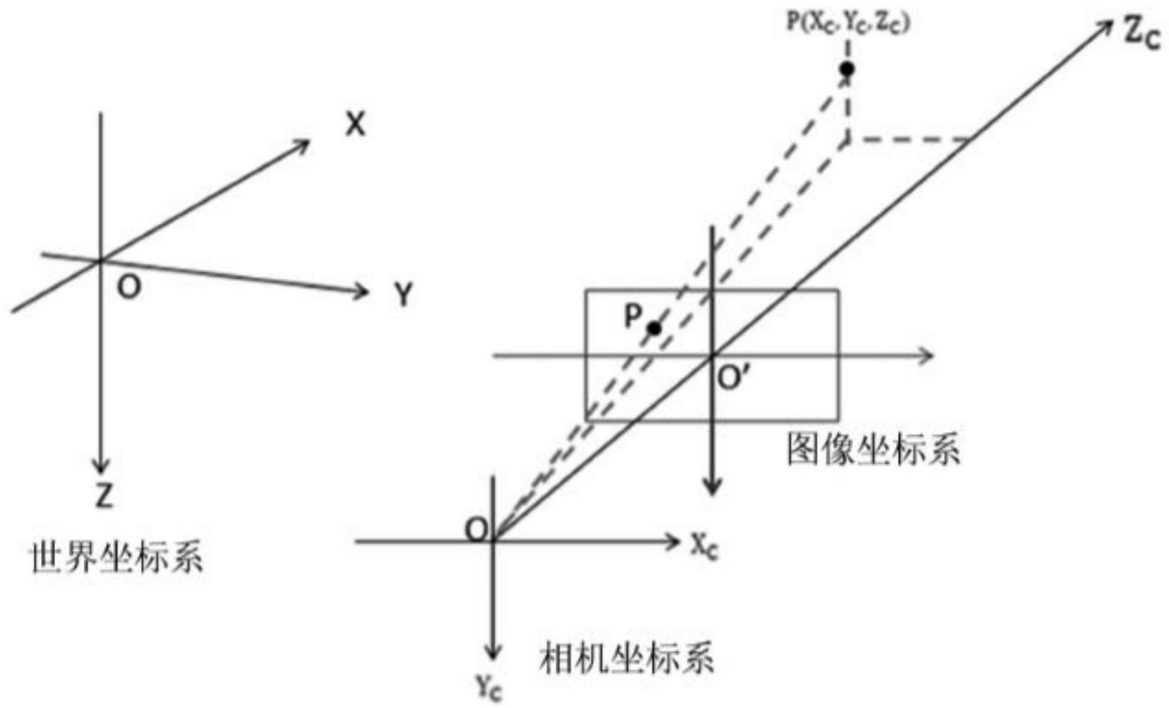


图4

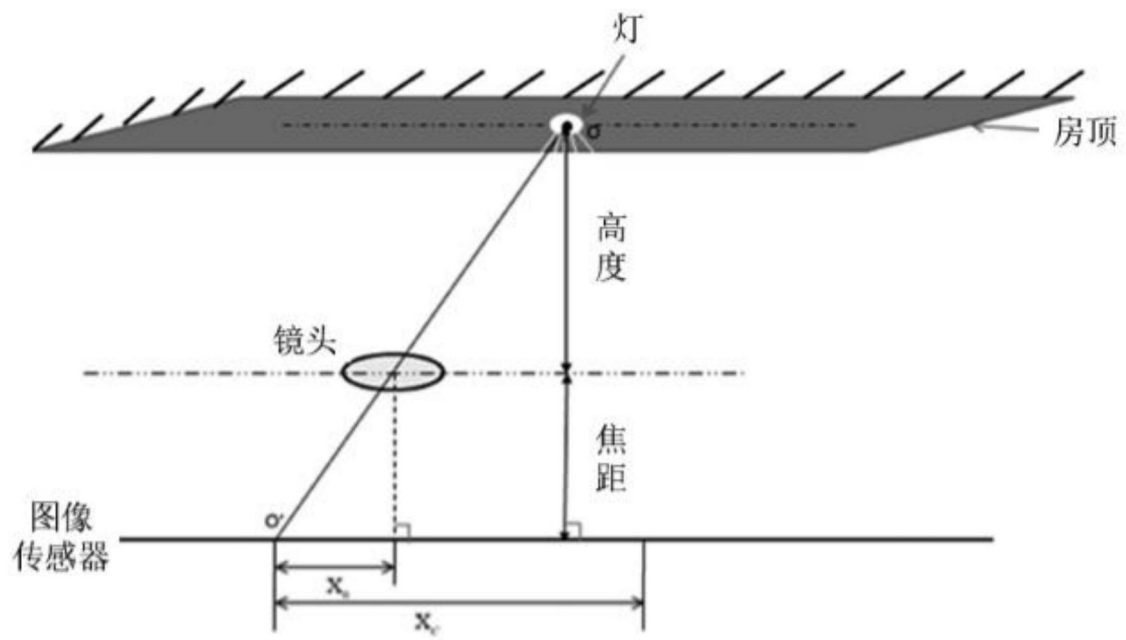


图5



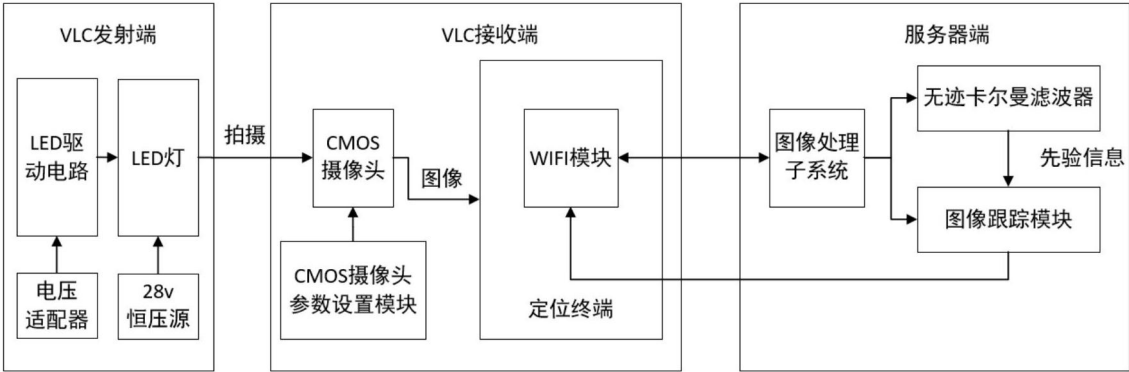


图6