



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 110363113 B

(45) 授权公告日 2021.09.21

(21) 申请号 201910572729.9

(22) 申请日 2019.06.28

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 110363113 A

(43) 申请公布日 2019.10.22

(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

(72) 发明人 文尚胜 黄谋潇 范智博 关伟鹏
邓树乐 陈增鸿

(74) 专利代理机构 广州市华学知识产权代理有
限公司 44245
代理人 蒋剑明

(51) Int. Cl.
G06K 9/00 (2006.01)
G06K 9/62 (2006.01)
H04B 10/116 (2013.01)

(56) 对比文件

CN 208386714 U, 2019.01.15

CN 109001677 A, 2018.12.14

CN 108320300 A, 2018.07.24

CN 207039599 U, 2018.02.23

US 2017153110 A1, 2017.06.01

US 2018352238 A1, 2018.12.06

王冬 等. 基于无线传感网的运动车辆定位
技术研究.《物联网技术》.2016, 第59-61页.

Weipeng Guan 等. Visible light
positioning system based on CMOS image
sensor using particle filter tracking and
detecting algorithm.《ELSEVIER》.2019, 第9-
20页.

Ning WANG 等. A Visible Light
Communication (VLC) based Intelligent
Transportation System for Lorry Fleet.
《IEEE》.2017, 第1-3页.

审查员 张帅

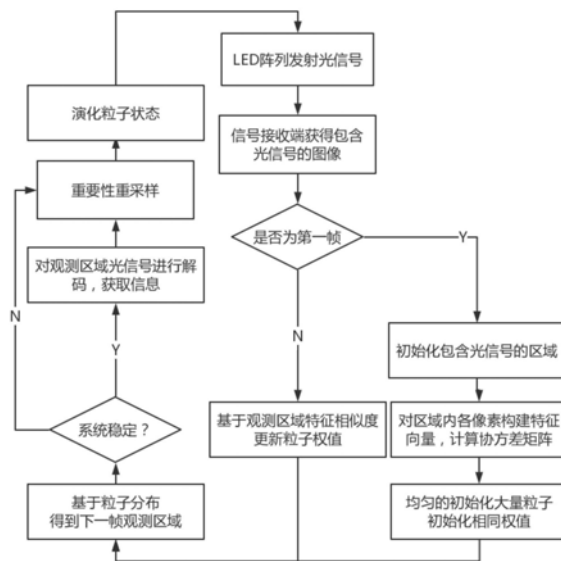
权利要求书4页 说明书9页 附图1页

(54) 发明名称

基于粒子滤波的VLC-ITS信源追踪提取方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于粒子滤波的VLC-ITS信源追踪提取方法,包括以下步骤:S1、通过信息编码形成LED阵列信息经信号源发出;S2、信号接收端接收包含光信号的图像;S3、若为视频序列第一帧图像,则对图像进行初始化后跳转步骤S5,否则执行步骤S4;S4、基于观测区域特征相似度更新权值,根据粒子加权分布得到下一帧观测区域;S5、系统稳定后对预测区域光信号解码,获取信息;S6、重要性重采样,并根据演化模型演化粒子状态。本方法针对VLC-ITS系统提出一种有效的信源追踪方案,通过重要性重采样解决粒子滤波粒子多样性匮乏的问题,提高了接收端对信源的识别和处理效率。



CN 110363113 B

1. 一种基于粒子滤波的VLC-ITS信源追踪提取方法,其特征在于,所述的信源追踪提取方法包括以下步骤:

S1、通过信息编码形成LED阵列表达信息,然后经过LED驱动电路驱动LED阵列发出携带数字通信信息的光束,其中,所述的LED阵列安装在公路上且距离地面有一定高度,或者安装在行驶在公路上的机动车上;

S2、信号接收端接收包含LED信息的图像,其中,所述的信号接收端是安装在公路上的摄像头,用于接收安装在机动车上的LED阵列发出的通信光束,或者是安装在机动车上的摄像头,用于接收安装在公路上且距离地面有一定高度的LED阵列发出的通信光束以及其他邻近机动车上安装的LED阵列发出的通信光束;

S3、若该图像为视频序列第一帧图像,则初始化该图像得到包含光信号的目标跟踪窗,对区域内像素构造特征向量,由区域内像素特征向量计算协方差矩阵作为区域特征,并在图像内均匀地初始化大量粒子,并初始化相等权值,然后跳至步骤S5,否则执行S4;

S4、基于观测区域的协方差矩阵特征相似度,更新粒子权值,并基于粒子加权分布得到下一时刻预测区域;

S5、通过计算有效粒子数,判断VLC-ITS系统是否稳定,若系统稳定则对预测区域光信号进行解码,得到LED序列亮度信息,得到解码数据,将解码数据在原始调制数据集中进行相似度比较,选取相似度最大的调制数据按照规则进行通信;

S6、根据粒子的加权分布,进行重要性重采样,然后根据演化模型,演化粒子状态;

其中,所述的步骤S4包括:

S41、基于观测区域的协方差矩阵特征相似度,更新粒子权值,具体如下:

定义协方差矩阵相似度L:

$$L = \frac{1}{d(R, S) + 1}$$

$$d(R, S) = \sqrt{(\mu_R - \mu_S)^T (C_R + C_S)^{-1} (\mu_R - \mu_S)}$$

其中,R,S分别为观测区域和比照区域, μ_R, μ_S 为两区域的特征均值向量, C_R, C_S 为两区域的特征协方差矩阵;

设x为任一随时间变化的状态变量, $f(x_k)$ 是k时刻状态变量经过某种映射关系后的输出,在给定对该状态变量到k时刻为止的所有观测值 e_1, e_2, \dots, e_k 的情况下,状态变量服从关于所有时刻的状态变量和观测变量的两个分布P和Q, $f(x_k)$ 在给出到k时刻为止的观测变量的情况下,对分布P的期望的计算过程可以如下表示:

$$\begin{aligned} E[f(x_k)] &= \int f(x_k) \frac{p(x_k | e_{1:k})}{q(x_k | e_{1:k})} q(x_k | e_{1:k}) dx_k \\ &= \int f(x_k) \frac{p(e_{1:k} | x_k) p(x_k)}{p(e_{1:k}) q(x_k | e_{1:k})} q(x_k | e_{1:k}) dx_k \\ &= \int f(x_k) \frac{W_k(x_k)}{p(e_{1:k})} q(x_k | e_{1:k}) dx_k \end{aligned}$$

其中 $W_k(x_k) = \frac{p(e_{1:k}|x_k)p(x_k)}{q(x_k|e_{1:k})} \propto \frac{p(x_k|e_{1:k})}{q(x_k|e_{1:k})}$ 称为k时刻变量 x_k 的权值, \propto 表示正比于;

由于 $p(x_k) = \int p(y_{1:k}|x_k) p(x_k) dx_k$,

$$\begin{aligned} E[f(x_k)] &= \frac{1}{p(y_{1:k})} \int f(x_k) W_k(x_k) q(x_k|e_{1:k}) dx_k \\ &= \frac{\int f(x_k) W_k(x_k) q(x_k|e_{1:k}) dx_k}{\int p(e_{1:k}|x_k) p(x_k) dx_k} \\ &= \frac{\int f(x_k) W_k(x_k) q(x_k|e_{1:k}) dx_k}{\int W_k(x_k) q(x_k|e_{1:k}) dx_k} \\ &= \frac{E_{q(x_k|e_{1:k})}[W_k(x_k)f(x_k)]}{E_{q(x_k|e_{1:k})}[W_k(x_k)]} \end{aligned}$$

由上式可知,对任一未知分布P求期望都转换为通过对另一已知分布加权修正后求期望,上述求期望过程通过蒙特卡洛方法采样实现;

每次重采样只对下一时刻的粒子位置状态进行采样,固定之前时间序列的观测变量不变,另外由于权重正比于两个分布在给定到目前为止的全部观测变量情况下的概率比,因此,令 $q(x_k|e_{1:k})$ 为状态变量的先验分布时,粒子j在k时刻的权重 $W_{j,k}$ 表达式如下:

$$W_{j,k} = \frac{\hat{P}(e_{1:k}|x_k)\hat{P}(x_k)}{\hat{P}(x_k)} = \frac{\hat{P}(x_k|e_{1:k})\hat{P}(e_{1:k})}{\hat{P}(x_k)} = \hat{P}(e_{1:k}|x_k)$$

其中, $\hat{P}(x_k)$ 为观测变量的先验分布,该分布为已知分布且状态变量的概率与观测变量无关;

设k时刻某粒子j对应观测区域的协方差矩阵关于比照区域的相似度为 L_j ,定义系统的观测模型 $\hat{P}(e_k|X_k) = L$,则该粒子的权值 $W_{j,k}$:

$$W_{j,k} = \hat{P}(e_{j,k}|X_k) = L_j$$

其中, $e_{j,k}$ 是该粒子j在k时刻对应观测区域特征, X_k 表示k时刻预测区域特征,通过计算观测区域和预测区域间的相似度,完成粒子权值更新;

S42、根据粒子加权分布得到下一帧预测状态 \hat{X}_{k+1} :

$$\hat{X}_{k+1} = \frac{\sum_{j=1}^N W_{j,k} P_{j,k}}{\sum_{j=1}^N W_{j,k}}$$

其中, $P_{j,k}$ 为第j个粒子k时刻经过重采样并演化计算后得到的位置坐标信息, $W_{j,k}$ 为其权重值, N 为粒子总数。

2. 根据权利要求1所述的基于粒子滤波的VLC-ITS信源追踪提取方法,其特征在于,所

述的步骤S3包括:

S31、对获得的视频序列中的第一帧进行初始化,得到包含光信号的目标跟踪窗,对区域内像素构造特征向量,由区域内像素的特征向量计算协方差矩阵作为区域特征,具体如下:

对区域内的每个像素点 i ,构造如下形式的特征向量 V_i :

$$V_i = (x_i, y_i, Ch_{1i}, Ch_{2i}, Ch_{3i}, \frac{\partial Ch_{1i}}{\partial x}, \frac{\partial Ch_{2i}}{\partial x}, \frac{\partial Ch_{3i}}{\partial x}, \frac{\partial Ch_{1i}}{\partial y}, \frac{\partial Ch_{2i}}{\partial y}, \frac{\partial Ch_{3i}}{\partial y})$$

其中, x_i, y_i 为像素 i 的 x, y 坐标, $Ch_{1i}, Ch_{2i}, Ch_{3i}$ 分别为像素 i 在某三通道颜色空间中各通道分量, $\frac{\partial Ch_{1i}}{\partial x}, \frac{\partial Ch_{2i}}{\partial x}, \frac{\partial Ch_{3i}}{\partial x}, \frac{\partial Ch_{1i}}{\partial y}, \frac{\partial Ch_{2i}}{\partial y}, \frac{\partial Ch_{3i}}{\partial y}$ 分别为三个颜色通道分别在 x 和 y 方向上的梯度分量;

定义包含 n 个像素点的区域 r 内的区域协方差矩阵 C_r 如下:

$$C_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (V_i - \mu)(V_i - \mu)^T,$$

其中, μ 为区域特征均值向量:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i;$$

S32、在图像中均匀地初始化大量粒子及其权值,根据演化模型演化粒子状态,具体如下:

定义粒子全局密度为 ρ :

$$\rho = \frac{N}{W \times H}$$

其中 N 为初始化的粒子总数, W 和 H 分别对应图像的宽度和高度,初始化粒子后粒子全局密度 $\rho \geq 1$,

设图像内粒子位置状态与某一像素 i 的位置状态重合的粒子个数为 n_i ,使得图像内粒子均匀初始化,且满足:

$$\forall i, n_i \geq 1$$

$$\forall i, \max(n_i) - \min(n_i) \leq \frac{\rho}{2}$$

粒子状态初始化后,初始化各粒子权值为 $\frac{1}{N}$ 。

3. 根据权利要求1所述的基于粒子滤波的VLC-ITS信源追踪提取方法,其特征在于,所述的步骤S5包括:

S51、通过计算有效粒子数,判断系统是否稳定,过程如下:

定义有效粒子数 N_{eff} :

$$N_{\text{eff}} = \frac{N}{1 + \text{var}(W_{j,k})} \approx \frac{1}{\sum_{j=1}^N W_{j,k}^2}$$

设 N_T 为有效粒子数阈值,当 $N_{\text{eff}} < N_T$ 时,认为系统处于不稳定状态,执行步骤S6;否则,认为系统稳定,对预测区域信号进行处理,获取信息;

S52、对预测区域光信号进行解码,得到LED序列亮度信息,得到解码数据,将解码数据在原始调制数据集中进行相似度比较,选取相似度最大的调制数据按照规则进行通信。

4. 根据权利要求1所述的基于粒子滤波的VLC-ITS信源追踪提取方法,其特征在于,所述的步骤S6包括:

S61、根据粒子的加权分布,进行重要性重采样,过程如下:

设粒子 j 在 k 时刻权值更新后的权值为 $W_{j,k}$,共有 m 个粒子与粒子 j 当前在同一位置,则重采样粒子位置出现在粒子 j 的概率为:

$$p(j) = \frac{m \times W_{j,k}}{\sum_{j=1}^N W_{j,k}}$$

其中 N 为粒子总数,重采样后,所有粒子权重初始化为 $\frac{1}{N}$;

S62、根据演化模型,演化粒子状态,过程如下:

假设观测区域的跟踪满足一阶隐马尔科夫模型,其中隐变量为观测区域的特征向量协方差矩阵,状态变量为当前目标位置状态,定义基于粒子滤波的VLC-ITS信源追踪提取方法的演化模型如下: $T(\tilde{x}_{k+1}, \tilde{x}_{1:k}) = p(\tilde{x}_{k+1} | \tilde{x}_k)$,其中, k 表示当前时间状态变量, \tilde{x}_k 表示 k 时刻目标的位置状态,基于上述演化模型演化粒子状态。

基于粒子滤波的VLC-ITS信源追踪提取方法

技术领域

[0001] 本发明涉及可见光通信和计算机视觉领域,具体涉及一种基于粒子滤波的VLC-ITS信源追踪提取方法。

背景技术

[0002] 近年来,被誉为“绿色照明”的半导体器件LED迅速发展,相比于传统的白炽灯等照明光源,LED低能耗、寿命长、绿色环保。同时LED还具有调制性能好、相应灵敏度高、无电磁干扰等优点,可将信号以人眼无法识别的高频进行传输,且LED的发光光频段不需要许可授权,可以实现低成本高宽带且传输速率高的无线通讯,催生出一门能够全新的无线通讯技术——可见光通信技术。

[0003] 可见光通信技术有很广泛的应用领域,应用大致可分为室内应用和室外应用。其中室外应用中,VLC-ITS(智能交通系统)系统具有广阔的发展空间,涉及到道路路面上机动车对机动车,机动车对路灯等基础设施之间的双向信息传递,大大提高道路交通的信息化水平,为实现智能交通提供了重要基础。

[0004] 目标跟踪是计算机视觉领域研究的热点之一,在军事制导、智能交通、安全监控、医学图像等方面均有着广阔的应用前景。该技术通过分析在各帧图像中检测出的各个独立目标的特征确定目标的运动轨迹,实现对运动目标的行为理解及实时跟踪。在室外可见光通信中,由于对通信速率和精度要求高,通过跟踪通信源目标来提升信号的处理速度显得尤为重要。

[0005] 粒子滤波是一种基于序贯蒙特卡洛方法和递推贝叶斯估计的滤波方法,该方法具有简单易行,运算效率高等特点。但标准粒子滤波算法存在着粒子退化、粒子多样性较差的问题,严重影响目标检测效率和精度。

[0006] 因此,亟待提出一种能够实现高效率高精度的可靠的目标跟踪方案在VLC-ITS系统中就显得尤为重要。

发明内容

[0007] 本发明的目的是为了解决现有技术中的上述缺陷,提供一种基于粒子滤波的VLC-ITS信源追踪提取方法。

[0008] 本发明的目的可以通过采取如下技术方案达到:

[0009] 一种基于粒子滤波的VLC-ITS信源追踪提取方法,所述的信源追踪提取方法包括以下步骤:

[0010] S1、通过信息编码形成LED阵列表达信息,然后经过LED驱动电路驱动LED阵列发出携带数字通信信息的光束,其中,所述的LED阵列安装在公路上且距离地面有一定高度,或者安装在行驶在公路上的机动车上;

[0011] S2、信号接收端接收包含LED信息的图像,其中,所述的信号接收端是安装在公路上的摄像头等装置,用于接收安装在机动车上的LED阵列发出的通信光束,或者是安装在机

动车上的摄像头等装置,用于接收安装在公路上且距离地面有一定高度的LED阵列发出的通信光束以及其他邻近机动车上安装的LED阵列发出的通信光束;

[0012] S3、若该图像为视频序列第一帧图像,则初始化该图像得到包含光信号的目标跟踪窗,对区域内像素构造特征向量,由区域内像素特征向量计算协方差矩阵作为区域特征,并在图像内均匀地初始化大量粒子,并初始化相等权值,然后跳至步骤S5,否则执行S4;

[0013] S4、基于观测区域的协方差矩阵特征相似度,更新粒子权值,并基于粒子加权分布得到下一时刻预测区域;

[0014] S5、通过计算有效粒子数,判断VLC-ITS系统是否稳定,若系统稳定则对预测区域光信号进行解码,得到LED序列亮度信息,得到解码数据,将解码数据在原始调制数据集中进行相似度比较,选取相似度最大的调制数据按照规则进行通信;

[0015] S6、根据粒子的加权分布,进行重要性重采样,然后根据演化模型,演化粒子状态。

[0016] 进一步地,所述的步骤S3包括:

[0017] S31、对获得的视频序列中的第一帧进行初始化,得到包含光信号的目标跟踪窗,对区域内像素构造特征向量,由区域内像素的特征向量计算协方差矩阵作为区域特征,具体如下:

[0018] 对区域内的每个像素点*i*,构造如下形式的特征向量 V_i :

$$[0019] \quad V_i = (x_i, y_i, Ch_{1i}, Ch_{2i}, Ch_{3i}, \frac{\partial Ch_{1i}}{\partial x}, \frac{\partial Ch_{2i}}{\partial x}, \frac{\partial Ch_{3i}}{\partial x}, \frac{\partial Ch_{1i}}{\partial y}, \frac{\partial Ch_{2i}}{\partial y}, \frac{\partial Ch_{3i}}{\partial y})$$

[0020] 其中, x_i, y_i 为像素*i*的*x, y*坐标, $Ch_{1i}, Ch_{2i}, Ch_{3i}$ 分别为像素*i*在某三通道颜色空间中各通道分量, $\frac{\partial Ch_{1i}}{\partial x}, \frac{\partial Ch_{2i}}{\partial x}, \frac{\partial Ch_{3i}}{\partial x}, \frac{\partial Ch_{1i}}{\partial y}, \frac{\partial Ch_{2i}}{\partial y}, \frac{\partial Ch_{3i}}{\partial y}$ 为三个颜色通道分别在*x*和*y*方向上的梯度分量;

[0021] 定义包含*n*个像素点的区域*r*内的区域协方差矩阵 C_r 如下:

$$[0022] \quad C_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (V_i - \mu)(V_i - \mu)^T,$$

[0023] 其中, μ 为区域特征均值向量:

$$[0024] \quad \mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i;$$

[0025] S32、在图像中均匀地初始化大量粒子及其权值,根据演化模型演化粒子状态,具体如下

[0026] 定义粒子全局密度为 ρ :

$$[0027] \quad \rho = \frac{N}{W \times H}$$

[0028] 其中*N*为初始化的粒子总数,*W*和*H*分别对应图像的宽度和高度,初始化粒子后粒子全局密度 $\rho \geq 1$,

[0029] 设图像内粒子位置状态与某一像素*i*的位置状态重合的粒子个数为 n_i ,使得图像内粒子均匀初始化,且满足:

$$[0030] \quad \forall i, n_i \geq 1$$

[0031] $\forall i, \max(n_i) - \min(n_i) \leq \frac{\rho}{2}$

[0032] 粒子状态初始化后,初始化各粒子权值为 $\frac{1}{N}$ 。

[0033] 进一步地,所述的步骤S4包括:

[0034] S41、基于观测区域的协方差矩阵特征相似度,更新粒子权值,具体如下:

[0035] 定义协方差矩阵相似度L:

[0036]
$$L = \frac{1}{d(R, S) + 1}$$

[0037]
$$d(R, S) = \sqrt{(\mu_R - \mu_S)^T (C_R + C_S)^{-1} (\mu_R - \mu_S)}$$

[0038] 其中,R,S分别为观测区域和比照区域, μ_R, μ_S 为两区域的特征均值向量, C_R, C_S 为两区域的特征协方差矩阵。

[0039] 本发明提出的一种基于粒子滤波的VLC-ITS信源追踪提取方法通过进行重要性重采样的方法,改进传统粒子滤波算法,提高粒子的多样性,避免粒子退化。重要性采样的基本思想是在难以对现有分布进行采样时,通过对其他易于采样的分布进行采样,再通过权值项对采样结果进行修正。

[0040] 设 x 为任一随时间变化的状态变量, $f(x_k)$ 是 k 时刻状态变量经过某种映射关系后的输出。在给定对该状态变量到 k 时刻为止的所有观测值 e_1, e_2, \dots, e_k 的情况下,状态变量服从关于所有时刻的状态变量和观测变量的两个分布 P 和 Q 。 $f(x_k)$ 在给出到 k 时刻为止的观测变量的情况下,对分布 P 的期望的计算过程可以如下表示:

$$\begin{aligned} E[f(x_k)] &= \int f(x_k) \frac{p(x_k | e_{1:k})}{q(x_k | e_{1:k})} q(x_k | e_{1:k}) dx_k \\ [0041] \quad &= \int f(x_k) \frac{p(e_{1:k} | x_k) p(x_k)}{p(e_{1:k}) q(x_k | e_{1:k})} q(x_k | e_{1:k}) dx_k \\ &= \int f(x_k) \frac{W_k(x_k)}{p(e_{1:k})} q(x_k | e_{1:k}) dx_k \end{aligned}$$

[0042] 其中 $W_k(x_k) = \frac{p(e_{1:k} | x_k) p(x_k)}{q(x_k | e_{1:k})} \propto \frac{p(x_k | e_{1:k})}{q(x_k | e_{1:k})}$ 称为 k 时刻变量 x_k 的权值, \propto 表示正比于。

[0043] 由于 $p(x_k) = \int p(y_{1:k} | x_k) p(x_k) dx_k$

$$\begin{aligned}
E[f(x_k)] &= \frac{1}{p(y_{1:k})} \int f(x_k) W_k(x_k) q(x_k | e_{1:k}) dx_k \\
&= \frac{\int f(x_k) W_k(x_k) q(x_k | e_{1:k}) dx_k}{\int p(e_{1:k} | x_k) p(x_k) dx_k} \\
[0044] \quad &= \frac{\int f(x_k) W_k(x_k) q(x_k | e_{1:k}) dx_k}{\int W_k(x_k) q(x_k | e_{1:k}) dx_k} \\
&= \frac{E_{q(x_k | e_{1:k})}[W_k(x_k) f(x_k)]}{E_{q(x_k | e_{1:k})}[W_k(x_k)]}
\end{aligned}$$

[0045] 由上式可知,对任一未知分布P求期望都可以转换为通过对另一已知分布加权修正后求期望。上述求期望过程可以通过蒙特卡洛方法采样实现。

[0046] 在本发明提出的一种基于粒子滤波的VLC-ITS信源追踪提取方法中,每次重采样只对下一时刻的粒子位置状态进行采样,固定之前时间序列的观测变量不变。另外由于权重正比于两个分布在给定到目前为止的全部观测变量情况下的概率比,因此,粒子j在k时刻的权重 $W_{j,k}$ 表达式如下:

$$[0047] \quad W_{j,k} = \frac{\hat{P}(e_{1:k} | x_k) \hat{P}(x_k)}{\hat{P}(x_k)} = \frac{\hat{P}(x_k | e_{1:k}) \hat{P}(e_{1:k})}{\hat{P}(x_k)} = \hat{P}(e_{1:k} | x_k)$$

[0048] 其中, $\hat{P}(x_k)$ 为观测变量的先验分布,该分布为已知分布且状态变量的概率与观测变量无关。

[0049] 设k时刻某粒子j对应观测区域的协方差矩阵关于比照区域的相似度为 L_j ,定义系统的观测模型(Sensor Model) $\hat{P}(e_k | X_k) = L$,则该粒子的权值 $W_{j,k}$:

$$[0050] \quad W_{j,k} = \hat{P}(e_{j,k} | X_k) = L_j$$

[0051] 以上两式中, $e_{j,k}$ 是该粒子j在k时刻对应观测区域特征, X_k 表示k时刻预测区域特征,通过计算观测区域和预测区域间的相似度,完成粒子权值更新。

[0052] S42、根据粒子加权分布得到下一帧预测状态 \hat{X}_{k+1} :

$$[0053] \quad \hat{X}_{k+1} = \frac{\sum_{j=1}^N W_{j,k} P_{j,k}}{\sum_{j=1}^N W_{j,k}}$$

[0054] 其中, $P_{j,k}$ 为第j个粒子k时刻经过重采样并演化计算后得到的位置坐标信息, $W_{j,k}$ 为其权重值, N为粒子总数。

[0055] 进一步地,所述的步骤S5包括:

[0056] S51、通过计算有效粒子数,判断系统是否稳定,过程如下:

[0057] 定义有效粒子数 N_{eff} :

$$[0058] \quad N_{\text{eff}} = \frac{N}{1 + \text{var}(W_{j,k})} \approx \frac{1}{\sum_{j=1}^N W_{j,k}^2}$$

[0059] 设 N_T 为有效粒子数阈值,当 $N_{\text{eff}} < N_T$ 时,认为系统处于不稳定状态,执行步骤S6;否则,认为系统稳定,对预测区域信号进行处理,获取信息;

[0060] S52、对预测区域光信号进行解码,得到LED序列亮度信息,得到解码数据,将解码数据在原始调制数据集中进行相似度比较,选取相似度最大的调制数据按照规则进行通信。

[0061] 进一步地,所述的步骤S6包括:

[0062] S61、根据粒子的加权分布,进行重要性重采样。重采样的基本思想是对前一次滤波得到的概率密度的离散近似表示再进行一次采样,淘汰权值较小的粒子,克服权重值退化的问题。

[0063] 设粒子 j 在步骤S41权值更新后的权值为 $W_{j,k}$,共有 m 个粒子与粒子 j 当前在同一位置,则重采样粒子位置出现在粒子 j 的概率为:

$$[0064] \quad p(j) = \frac{m \times W_{j,k}}{\sum_{j=1}^N W_{j,k}}$$

[0065] 其中 N 为粒子总数,重采样后,所有粒子权重初始化为 $\frac{1}{N}$;

[0066] S62、根据演化模型,演化粒子状态:

[0067] 假设观测区域的跟踪满足一阶隐马尔科夫模型,其中隐变量为观测区域的特征向量协方差矩阵,状态变量为当前目标位置状态,定义基于粒子滤波的VLC-ITS信源追踪提取方法的演化模型(Transition Model)如下: $T(\tilde{x}_{k+1}, \tilde{x}_{1:k}) = p(\tilde{x}_{k+1} | \tilde{x}_k)$,其中, k 表示当前时间状态变量, \tilde{x}_k 表示 k 时刻目标的位置状态,基于上述演化模型演化粒子状态。

[0068] 本发明相对于现有技术具有如下的优点及效果:

[0069] (1) 本发明针对VLC-ITS系统提出一种有效的信源追踪方案,通过重要性重采样解决粒子滤波粒子多样性匮乏的问题,提高了接收端对信源的识别和处理效率。

[0070] (2) 本发明提出的基于粒子滤波的VLC-ITS信源追踪提取方法可应用于可见光通信智能交通系统,可以准确地检测识别目标,提高对目标的跟踪能力,降低数据传输的误码率,增强可见光通信的实际可用性。

附图说明

[0071] 图1是本发明一个实施例的基于粒子滤波的VLC-ITS信源追踪提取方法的流程图;

[0072] 图2是本发明一个实施例的基于粒子滤波的VLC-ITS信源追踪提取方法的实际系统模拟图。

具体实施方式

[0073] 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。

[0074] 实施例

[0075] 本实施例公开了一种基于粒子滤波的VLC-ITS信源追踪提取方法,具体流程步骤如图1所示,其中图2是基于粒子滤波的VLC-ITS信源追踪提取方法的实际系统模拟图,该信源追踪提取方法包括以下步骤:

[0076] S1、通过信息编码形成LED阵列表达信息,然后经过LED驱动电路驱动LED阵列发出携带数字通信信息的光束,其中,LED阵列安装在公路上且距离地面有一定高度,或者安装在行驶在公路上的机动车上;

[0077] S2、信号接收端接收包含LED信息的图像,其中,信号接收端可以是安装在公路上的摄像头等装置,用于接收安装在机动车上的LED阵列发出的通信光束,也可以是安装在机动车上的摄像头等装置,用于接收安装在公路上且距离地面有一定高度的LED阵列发出的通信光束或者其他邻近机动车上安装的LED阵列发出的通信光束,一种可能的系统结构图见附图2;

[0078] S3、若该图像为视频序列第一帧图像,则如图1所示,初始化该图像得到包含光信号的目标跟踪窗,对区域内像素构造特征向量,由区域内像素特征向量计算协方差矩阵作为区域特征,并在图像内均匀地初始化大量粒子,并初始化相等权值,跳至步骤S5,否则执行S4;

[0079] 该步骤具体如下:

[0080] 对区域内的每个像素点*i*,见图1中对区域内各像素构造如下形式的特征向量 V_i :

$$[0081] \quad V_i = (x_i, y_i, Ch_{1i}, Ch_{2i}, Ch_{3i}, \frac{\partial Ch_{1i}}{\partial x}, \frac{\partial Ch_{2i}}{\partial x}, \frac{\partial Ch_{3i}}{\partial x}, \frac{\partial Ch_{1i}}{\partial y}, \frac{\partial Ch_{2i}}{\partial y}, \frac{\partial Ch_{3i}}{\partial y})$$

[0082] 其中, x_i, y_i 为像素*i*的*x, y*坐标, $Ch_{1i}, Ch_{2i}, Ch_{3i}$ 分别为像素*i*在某三通道颜色空间中各通道分量, $\frac{\partial Ch_{1i}}{\partial x}, \frac{\partial Ch_{2i}}{\partial x}, \frac{\partial Ch_{3i}}{\partial x}, \frac{\partial Ch_{1i}}{\partial y}, \frac{\partial Ch_{2i}}{\partial y}, \frac{\partial Ch_{3i}}{\partial y}$ 为三个颜色通道分别在*x*和*y*方向上的梯度分量;

[0083] 定义包含*n*个像素点的区域*r*内的区域协方差矩阵 C_r 如下:

$$[0084] \quad C_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (V_i - \mu)(V_i - \mu)^T$$

[0085] 其中, μ 为区域特征均值向量:

$$[0086] \quad \mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i$$

[0087] 图1中所述均匀地初始化大量粒子并初始化相同权重的过程如下所述。

[0088] 定义粒子全局密度为 ρ :

$$[0089] \quad \rho = \frac{N}{W \times H}$$

[0090] 其中N为初始化的粒子总数,W和H分别对应图像的宽度和高度,初始化粒子后粒子全局密度 $\rho \geq 1$ 。

[0091] 设图像内粒子位置状态与某一像素i的位置状态重合的粒子个数为 n_i ,使得图像内粒子均匀初始化,且满足:

$$[0092] \quad \forall i, n_i \geq 1$$

$$[0093] \quad \forall i, \max(n_i) - \min(n_i) \leq \frac{\rho}{2}$$

[0094] 粒子状态初始化后,初始化各粒子权值为 $\frac{1}{N}$ 。

[0095] S4、图1中所述基于观测区域的协方差矩阵特征相似度,更新粒子权值,并基于粒子加权分布得到下一时刻预测区域的过程具体如下所述;

[0096] 定义协方差矩阵相似度L:

$$[0097] \quad L = \frac{1}{d(R, S) + 1}$$

$$[0098] \quad d(R, S) = \sqrt{(\mu_R - \mu_S)^T (C_R + C_S)^{-1} (\mu_R - \mu_S)}$$

[0099] 其中,R,S分别为观测区域和比照区域, μ_R, μ_S 为两区域的特征均值向量, C_R, C_S 为两区域的特征协方差矩阵。

[0100] 本发明提出的一种基于粒子滤波的VLC-ITS信源追踪提取方法通过进行重要性重采样的方法,改进传统粒子滤波算法,提高粒子的多样性,避免粒子退化。重要性采样的基本思想是在难以对现有分布进行采样时,通过对其他易于采样的分布进行采样,再通过权值项对采样结果进行修正:

[0101] 设 x 为任一随时间变化的状态变量, $f(x_k)$ 是k时刻状态变量经过某种映射关系后的输出。在给定对该状态变量到k时刻为止的所有观测值 e_1, e_2, \dots, e_k 的情况下,状态变量服从关于所有时刻的状态变量和观测变量的两个分布P和Q。 $f(x_k)$ 在给出到k时刻为止的观测变量的情况下,对分布P的期望的计算过程可以如下表示:

$$\begin{aligned}
 E[f(x_k)] &= \int f(x_k) \frac{p(x_k | e_{1:k})}{q(x_k | e_{1:k})} q(x_k | e_{1:k}) dx_k \\
 [0102] \quad &= \int f(x_k) \frac{p(e_{1:k} | x_k) p(x_k)}{p(e_{1:k}) q(x_k | e_{1:k})} q(x_k | e_{1:k}) dx_k \\
 &= \int f(x_k) \frac{W_k(x_k)}{p(e_{1:k})} q(x_k | e_{1:k}) dx_k
 \end{aligned}$$

[0103] 其中 $W_k(x_k) = \frac{p(e_{1:k} | x_k) p(x_k)}{q(x_k | e_{1:k})} \propto \frac{p(x_k | e_{1:k})}{q(x_k | e_{1:k})}$ 称为k时刻变量 x_k 的权值, \propto 表示正比于。

[0104] 由于 $p(x_k) = \int p(y_{1:k} | x_k) p(x_k) dx_k$

$$\begin{aligned}
E[f(x_k)] &= \frac{1}{p(y_{1:k})} \int f(x_k) W_k(x_k) q(x_k | e_{1:k}) dx_k \\
&= \frac{\int f(x_k) W_k(x_k) q(x_k | e_{1:k}) dx_k}{\int p(e_{1:k} | x_k) p(x_k) dx_k} \\
[0105] \quad &= \frac{\int f(x_k) W_k(x_k) q(x_k | e_{1:k}) dx_k}{\int W_k(x_k) q(x_k | e_{1:k}) dx_k} \\
&= \frac{E_{q(x_k | e_{1:k})}[W_k(x_k) f(x_k)]}{E_{q(x_k | e_{1:k})}[W_k(x_k)]}
\end{aligned}$$

[0106] 由上式可知,对任一未知分布P求期望都可以转换为通过对另一已知分布加权修正后求期望。上述求期望过程可以通过蒙特卡洛方法采样实现。

[0107] 在本发明提出的一种基于粒子滤波的VLC-ITS信源追踪提取方法中,每次重采样只对下一时刻的粒子位置状态进行采样,固定之前时间序列的观测变量不变。另外由于权重正比于两个分布在给定到目前为止的全部观测变量情况下的概率比,因此,粒子的权重表达式如下:

$$[0108] \quad W_{j,k} = \frac{\hat{P}(e_{1:k} | x_k) \hat{P}(x_k)}{\hat{P}(x_k)} = \hat{P}(e_{1:k} | x_k)$$

[0109] 其中, $\hat{P}(x_k)$ 为观测变量的先验分布,该分布为已知分布且状态变量的概率与观测变量无关。

[0110] 设k时刻某粒子j对应观测区域的协方差矩阵关于比照区域的相似度为 L_j , 定义系统的观测模型(Sensor Model) $\hat{P}(e_k | X_k) = L$, 则该粒子的权值 $W_{j,k}$:

$$[0111] \quad W_{j,k} = \hat{P}(e_{j,k} | X_k) = L_j$$

[0112] 其中, $e_{j,k}$ 该粒子对应观测区域特征, X_k 表示预测区域特征, 通过计算观测区域和预测区域间的相似度, 完成粒子权值更新。

[0113] 图1中基于粒子分布得到下一帧观测区域的过程如下, 设当前时刻为k, 下一帧预测状态为 \hat{X}_{k+1} , 则:

$$[0114] \quad \hat{X}_{k+1} = \frac{\sum_{j=1}^N W_{j,k} P_{j,k}}{\sum_{j=1}^N W_{j,k}}$$

[0115] 其中, $P_{j,k}$ 为第j个粒子k时刻经过重采样并演化计算后得到的位置坐标信息, $W_{j,k}$ 为其权重值, N为粒子总数。

[0116] S5、通过计算有效粒子数, 判断系统是否稳定, 若系统稳定则对预测区域光信号进行解码, 得到LED序列亮度信息, 得到解码数据, 将解码数据在原始调制数据集中进行相似度比较, 选取相似度最大的调制数据按照规则进行通信。

[0117] 定义有效粒子数 N_{eff} :

$$[0118] \quad N_{\text{eff}} = \frac{N}{1 + \text{var}(W_{j,k})} \approx \frac{1}{\sum_{j=1}^N W_{j,k}^2}$$

[0119] 上式含义是,当粒子权值方差变大时,有效粒子数会减少,粒子退化严重。设 N_T 为有效粒子数阈值,图1中判断系统稳定的方法如下:当 $N_{\text{eff}} < N_T$ 时,认为系统处于不稳定状态,执行S6;否则,认为系统稳定,对预测区域信号进行处理,获取信息。

[0120] S6、根据粒子的加权分布,进行重要性重采样,然后根据演化模型,演化粒子状态。

[0121] 重采样的基本思想是对前一次滤波得到的概率密度的离散近似表示再进行一次采样,淘汰权值较小的粒子,克服权重值退化的问题。

[0122] 图1所述重要性重采样的过程具体如下所述,设粒子j在S41权值更新后的权值为 $W_{j,k}$,共有m个粒子与粒子j当前在同一位置,则重采样粒子位置出现在粒子j的概率为:

$$[0123] \quad p(j) = \frac{m \times W_{j,k}}{\sum_{j=1}^N W_{j,k}}$$

[0124] 其中N为粒子总数,重采样后,所有粒子权重初始化为 $\frac{1}{N}$ 。

[0125] 图1所述的粒子演化过程使用如下模型推演,假设观测区域的跟踪满足一阶隐马尔科夫模型,其中隐变量为观测区域的特征向量协方差矩阵,状态变量为当前目标位置状态,定义基于粒子滤波的VLC-ITS信源追踪提取方法的演化模型(Transition Model)如下:

[0126] $T(\tilde{x}_{k+1}, \tilde{x}_{1:k}) = p(\tilde{x}_{k+1} | \tilde{x}_k)$,其中,k表示当前时间状态变量, \tilde{x}_k 表示k时刻目标的位置状态,基于上述演化模型演化粒子状态。

[0127] 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。

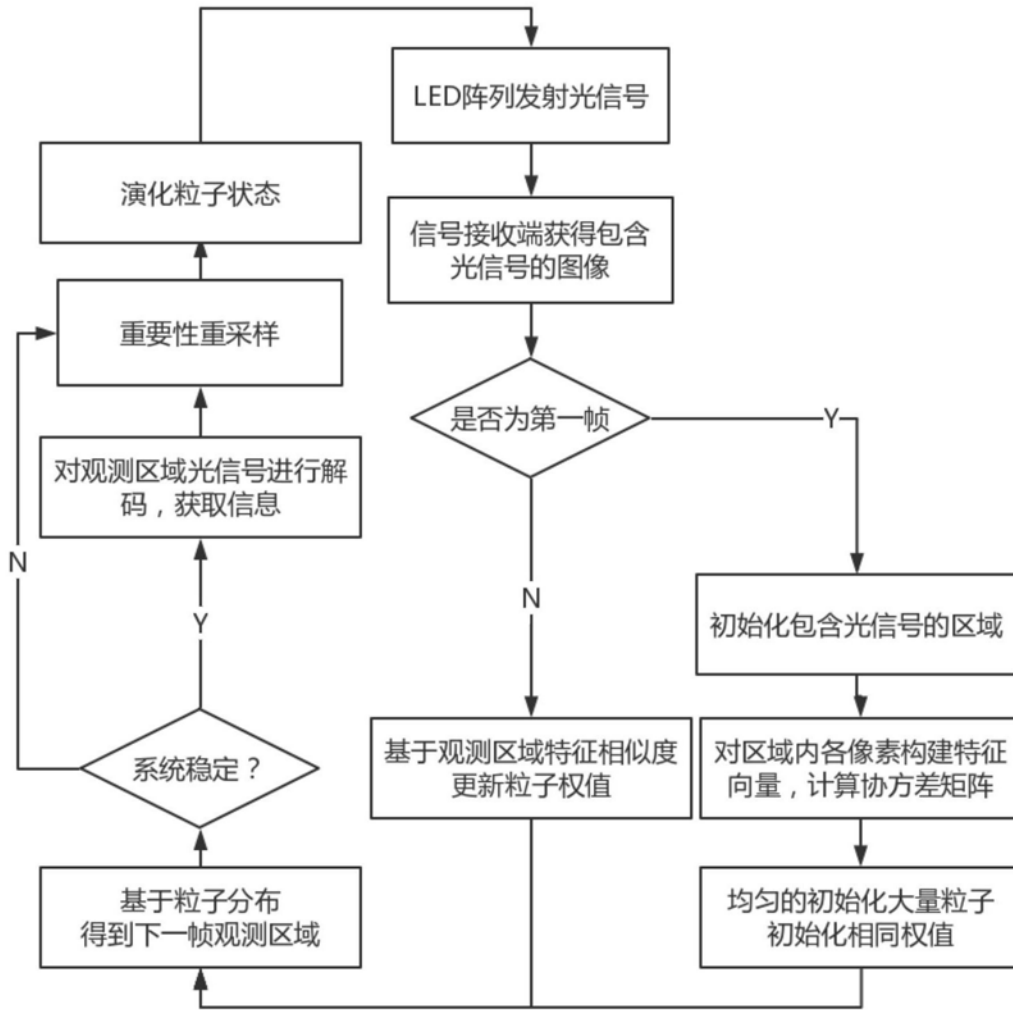


图1



图2