

中国激光
Chinese Journal of Lasers
ISSN 0258-7025, CN 31-1339/TN

《中国激光》网络首发论文

题目: 基于隐马尔科夫模型的可见光与惯导融合室内定位系统
作者: 陈勇, 巫杰, 刘焕淋, 郑瀚
收稿日期: 2020-06-04
网络首发日期: 2020-08-17
引用格式: 陈勇, 巫杰, 刘焕淋, 郑瀚. 基于隐马尔科夫模型的可见光与惯导融合室内定位系统[J/OL]. 中国激光.
<https://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1339.TN.20200817.1115.008.html>



网络首发: 在编辑部工作流程中, 稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定, 且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式(包括网络呈现版式)排版后的稿件, 可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定; 学术研究成果具有创新性、科学性和先进性, 符合编辑部对刊文的录用要求, 不存在学术不端行为及其他侵权行为; 稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准, 正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性, 录用定稿一经发布, 不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容, 只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认: 纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊(光盘版)》电子杂志社有限公司签约, 在《中国学术期刊(网络版)》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版, 以单篇或整期出版形式, 在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊(网络版)》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物(ISSN 2096-4188, CN 11-6037/Z), 所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

基于隐马尔科夫模型的可见光与惯导融合室内定位系统

陈勇^{1*}, 巫杰¹, 刘焕淋², 郑瀚¹

¹重庆邮电大学工业物联网与网络化控制教育部重点实验室, 重庆 400065

²重庆邮电大学光纤通信技术重点实验室, 重庆 400065

摘要: 针对大型室内场所用户移动定位复杂度较高、定位精度较低和定位不合理等问题, 提出一种基于隐马尔科夫模型的可见光与惯导融合定位算法。首先在离线建库阶段建立室内停车场地图和定位指纹图, 采集每个参考节点的可见光接收信号强度和节点间的距离与角度, 建立隐马尔科夫模型; 在线定位阶段根据用户最大移动速度减小状态转移候选集, 并获取的可见光信号和运动信息, 利用改进的维特比算法进行用户轨迹匹配定位。仿真表明, 在 2500m² 室内停车场中能准确预测用户运动轨迹, 参考节点预测准确率约 85%, 平均定位误差约 3.35m, 与其他四种定位算法相对, 所提算法定位轨迹连续更平滑且精度更高。

关键词: 可见光通信; 惯性导航; 隐马尔科夫模型; 融合定位; 维特比算法

中图分类号 TN92

文献标识码 A

Indoor Positioning System Based on Hidden Markov Model for Fusion of Visible Light and Inertial Navigation

Chen Yong^{1*}, Wu Jie¹, Liu Huanlin², Zheng Han¹

¹Key Laboratory of Industrial Internet of Things & Network Control, MOE, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China

²Key Laboratory of Optical Fiber Communication Technology, Chongqing University, Chongqing 400065, China

Abstract: Aiming at the problems of high complexity, low accuracy and unreasonable positioning of mobile location for users in large indoor places, a fusion localization algorithm of visible light and inertial navigation based on hidden markov model was proposed. Firstly, the indoor parking lot map and location fingerprinting were established in the off-line database construction stage, and the visible light receiving signal intensity and distance and Angle between each reference node were collected to establish the hidden markov model. In the online positioning stage, the candidate set of state transfer is reduced according to the user's maximum moving speed, the visible light signal and motion information are obtained, and the improved viterbi algorithm is used for user trajectory matching and positioning. The simulation results show that in the 2500m² indoor parking lot, the user movement trajectory can be predicted accurately, the prediction accuracy of the reference node is about 85%, and the average positioning error is about 3.35m. Compared with the other four positioning algorithms, the positioning trajectory of the proposed algorithm is more continuous and smooth with higher accuracy.

基金项目: 国家自然科学基金(51977021); 重庆市自然科学基金面上项目(cstc2019jcyj-msxmX0613)

作者简介: 陈勇(1963-), 男, 博士, 教授, 主要从事可见光通信及传感检测方法的研究。

E-mail: chenrong@cqupt.edu.cn

*通信联系人: chenrong@cqupt.edu.cn

Key words:Visible light communication;Inertial navigation ; Hidden Markov Model; Fusion positioning; Viterbi algorithm

OCIS Code: 060.4510; 350.4600

1 引言

统计发现,人类超过一半的活动是在室内进行,诸如图书馆、医院、超市和地下停车场等大型室内场所的定位导航服务需求日益增多^[1]。目前全球定位系统和北斗定位系统等主要应用于室外定位,对于室内由于卫星信号传播途中会被建筑物干扰导致卫星信号变弱,无法实现卫星定位。现今室内定位技术普遍在都基于无线通信,例如 Wi-Fi、蓝牙、RFID、超宽带等,无线信号在室内环境中易受到电磁干扰,导致定位精度降低,同时设备能耗较高,有一定的局限性^[2,3]。

可见光通信(Visible Light Communication, VLC)作为一种新兴的定位技术成为研究的热点^[4-6]。可见光在室内定位中由于存在多径干扰和障碍物遮挡等因素,使接收信号不准确,降低定位精度^[7];徐世武等人^[8]以可见光接收信号强度作为指纹的定位方法,需要在离线阶段采集指纹,当环境改变和接收信号不准确时,定位误差较大;对此赵楚韩等人^[9]提出了一种改进的可见光指纹定位法(Visible Light Communication Fingerprint location Method, VLCFM),提高了室内定位精度,但在面积较大的定位场景随着距离的增大容易受到影响,且指纹过多会造成区分度较低;Liu^[10]提出改进惯性导航定位算法(Inertial Navigation Positioning Method, INPM),提高了行人室内定位的精度,当定位场景面积较小时,累积误差不可避免;刘春燕^[11]提出了基于卡尔曼滤波器的可见光与惯导融合定位方法(Fusion localization of Visible Light Communication and Inertial Navigation based on Kalman filter, KF VLC-IN),解决了房间角落和遮挡处定位效果差的问题,但每走一步都进行一次融合,能耗较大,复杂度较高,对步态检测和步长计算的精度要求也较高;Li 等人^[12]使用粒子滤波器作为融合定位算法,对可见光与惯导技术进行融合,粒子滤波融合定位和卡尔曼滤波的方法类似,且精度更高,但该方法的缺点是阈值的选择很重要,还需要加入地图匹配来限制不合理的粒子;Nan 等人^[13]将算法与地图匹配进行融合,利用空间信息解决定位不合理性,但地图匹配计算复杂,造价昂贵,不适用于普遍使用。

针对上述存在的问题,提出选取隐马尔科夫模型(Hidden Markov Model, HMM)作为定位模型^[14],将可见光定位技术与惯性导航定位技术进行融合,实现室内停车场移动用户定位。首先在离线建库阶段建立室内停车场地图和定位指纹图,采集每个参考节点的可见光接

收信号强度和节点间的距离与角度，建立隐马尔科夫模型；在线定位阶段根据用户最大移动速度减小状态转移候选集，利用获取的可见光信号和运动信息，采用改进的维特比算法进行用户轨迹匹配定位。

2 融合定位模型的建立

大型场所的定位和导航是紧密相关，需要利用系统所建立的地图，让用户清晰的知道自己的位置和想要到达的地方。图 1 以停车场为例建立的基于隐马尔科夫模型作为可见光与惯导融合建立指纹地图，图中将可到达区域和不可到达区域分开，所有标志处都对应一个参考节点，其覆盖的区域定为有效区域，每个参考节点的指纹为：

$$S = \{L, I, RSS\} \quad (1)$$

其中， L 为节点二维坐标， I 为该节点空间信息，例如车位号、出入口、电梯号等， RSS 为可见光接收信号强度。

建立每个参考节点之间的距离矩阵 D 和角度矩阵 θ ：

$$D = \{d_{ij} | i, j \in S, 1 \leq i, j \leq N\} \quad (2)$$

$$\theta = \{\theta_{ij} | i, j \in S, 1 \leq i, j \leq N\} \quad (3)$$

其中， S 为隐藏节点集合， N 为所有节点的数量， i, j 为参考节点。

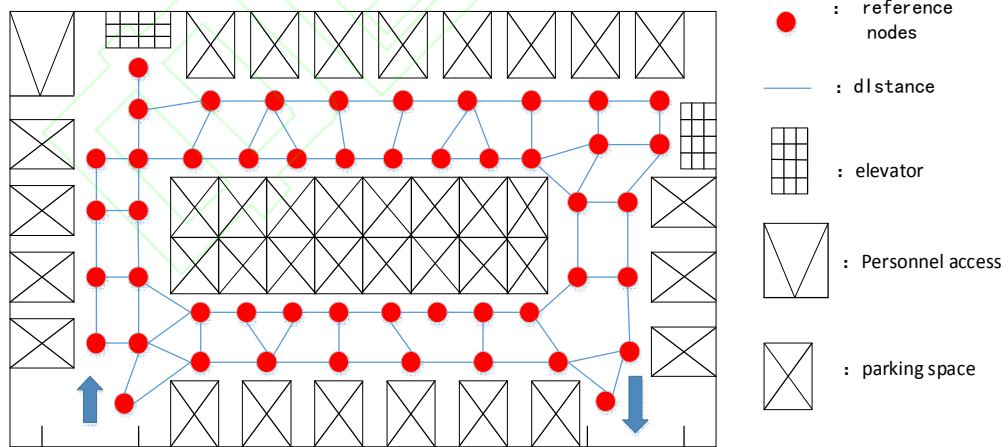


图 1 室内定位指纹地图

Fig.1 Indoor positioning fingerprint map

传统的指纹的定位方法复杂度较高，且实现大型场所用户移动定位困难，对此本文提出采用 HMM 在有效定位区域布置参考节点方式。根据 HMM 的原理，其定位遵循两个规律(1)任意时刻的隐藏状态只依赖于前一时刻，即每个定位节点之间转移的可能性就是状态转移概

率。(2)任意时刻的观测状态只依赖当前时刻的隐藏状态。图 2 是以图 1 为对象建立的 HMM 示意图，其中 S 为隐藏状态，即系统中的定位点； O 为观测状态，即系统可以接收的 VLC 和运动信息； $P(S_i|S_{i-1})$ 为转移概率，表示每个时刻定位点之间的转移可能性； $P(O_i|S_i)$ 为发射概率，表示用户在某个参考定位点接收到的观测状态概率。

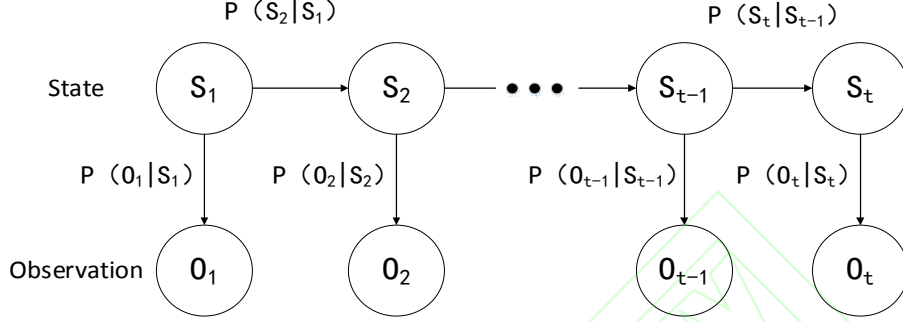


图 2 HMM 示意图

Fig.2 Hidden Markov Model schematic diagram

3 融合定位算法的设计

3.1 离线阶段的建库

在离线阶段，根据室内指纹地图建立定位模型，将定位参考节点作为隐藏状态 O ，VLC 接收信号和运动信息作为观测状态 V ，由状态转移概率组成状态转移矩阵 A ，其转移概率表示状态转换到另一个状态的可能性。根据已经测量好的距离矩阵和角度矩阵，再加上惯导模块测得的位移和角度变化，建立节点 i 到其余所有节点的概率矩阵。从状态 S_i 转移到 S_j 的转移概率定义为：

$$P_1(s_i | s_j, m) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_m} \exp\left(-\frac{(m - d_{ij})^2}{2\sigma_m^2}\right) \quad (4)$$

$$P_2(s_i | s_j, \theta_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\theta} \exp\left(-\frac{(\theta_i - h_{ij})^2}{2\sigma_\theta^2}\right) \quad (5)$$

其中，式 (4) 中， S_i 与 S_j 分别为节点 i 和 j ， m 为位移， d_{ij} 为节点之间的距离， σ_m 是位移范围平均误差；式 (5) 中， θ_i 为角度， h_{ij} 航向角， σ_θ 是角度范围平均误差。

状态发射概率组成发射矩阵 B ，它表示每一个隐藏状态都对应着一个观测状态，定位系统的发射概率表示为：

$$P(R|s_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{ix}} \prod_{x=1}^q \exp\left(-\frac{(r_x - f_{ix})^2}{2\sigma_{ix}^2}\right) \quad (6)$$

其中, R 为实时指纹, σ_{ix} 为节点 i 处的标准 RSS 偏差, q 为 AP 数量, f_{ix} 和 r_x 分别是参考指纹和实时指纹。

初始概率分布 π 就是在定位开始阶段, 用户所在位置的概率, 定位算法中所有节点初始概率选为 1。

3.2 候选集的选择

在隐马尔科夫模型中解决参考节点预测问题通常采用维特比算法^[15]。传统的维特比算法是在每个采样时间, 根据转移概率和发射概率匹配概率最大的路径作为定位结果, 其复杂度为 $O(N^2K_n)$, 复杂度过高且候选集过多会影响定位精度。对此, 将用户最大移动速度引入状态转移矩阵, 设定用户最大移动速度为 V , 采样间隔为 π , 相乘得到最大移动距离 M , 以 M 为半径画一个圆, 则是用户从 t 时刻到 $t+1$ 时刻可能到达的范围圆, 将圆内的参考节点作为候选节点, 圆以外的节点则为无效节点无需进行候选匹配如图 3 所示。此时状态转移概率矩阵的维度从 $A_{n \times n}$ 降到 $A_{k \times l}$ (其中 k 为采样时刻, l 为当前节点的候选集数量), 计算复杂度得到降低。

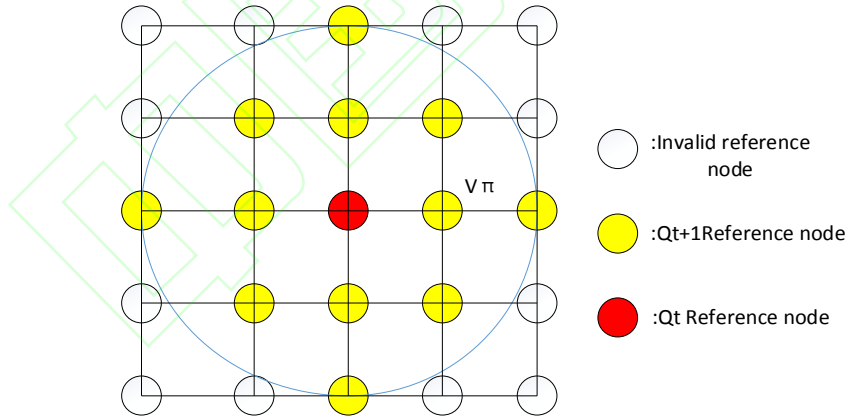


图 3 用户最大速度限制候选集示意图

Fig.3 Schematic diagram of user maximum speed limit candidate set

3.3 在线阶段的轨迹匹配

在线定位阶段, 根据 A 、 B 和 π 利用用户携带接收器和惯导模块采集观测数据, 采用改进维特算法建立预测定位轨迹:

$$\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * P(A) * P(B)) \quad (7)$$

其中, $\delta_t(j)$ 为前向概率, 其定义为到达时间 t 时产生的观察序列, 且在 t 时刻处于节点 j 的概率, 即为定位结果, 其中 $\delta_{t-1}(i)$ 为上一时刻参考节点概率, $P(A)$ 是状态转移概率, $P(B)$ 为发射概率。其用户轨迹匹配定位步骤如下:

当 $t=1$ 时, 用节点的初始概率和发射概率的乘积作为前向概率结果:

$$\delta_1(i) = \pi_i * P(R_1 | s_i) \quad (8)$$

式中, $\delta_t(i)$ 为 $t=1$ 时刻在 i 节点的前向概率, π_i 为节点 i 的初始概率, $P(R_t | s_i)$ 为发射概率, 与 VLC 接收信号强度相关。

当 $t > 1$ 时刻, 节点 i 的概率为上一时刻 $t-1$ 位置处的前向概率乘以状态转移概率和发射概率:

$$\delta_t(j) = \max(\delta_{t-1}(i) * P_1(s_i | s_j, m) * P_2(s_i | s_j, \theta) P(R_t | s_j)) \quad (9)$$

其中, $\delta_t(j)$ 为 t 时刻用户移动到节点 j 的概率, $\delta_{t-1}(i)$ 为 $t-1$ 时刻在 i 节点的前向概率, $P(s_i | s_j, m)$ 和 $P(s_i | s_j, \theta)$ 分别是基于位移和角度的状态转移概率, $P(R_t | s_j)$ 为基于可见光 RSS 的发射概率。上述四个概率相乘, 取概率最大的一个节点即为 t 时刻定位结果。

经对维特比算法分析进行改进, 图 4 (b) 与 4 (a) 相比表明, 其用户最大速度下候选集得到降低, 其维特比算法复杂度从 $O(N^2 K_n)$ 降为 $O(K_i K_n)$, 为提高定位精度提供了依据。

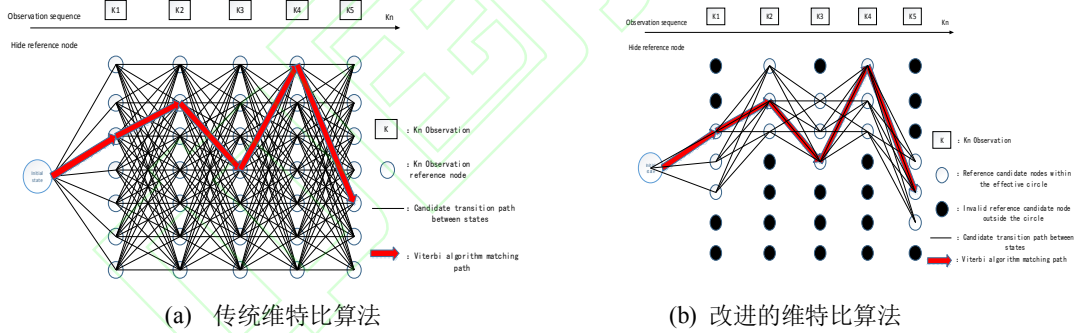


图 4 用户最大速度下维特比算法示意图

Fig.4 Schematic diagram of Viterbi algorithm based on user maximum speed.(a) Traditional Viterbi algorithm; (b) Improved Viterbi algorithm

3.4 算法流程的设计

图 5 为根据上述分析所设计的融合定位算法流程: 在离线阶段, 建立室内停车场地地图包含停车位、出入口、电梯等标志处。然后将定位点加入到地图中, 设立定位指纹图, 指纹包含可见光接收信号信息和惯性导航信息, 并建立各参考节点间距离矩阵和角度矩阵, 计算每个参考节点的发射矩阵和节点间的状态转移矩阵; 在线阶段, 根据用户最大移动速度确定候选集数量, 根据采样时间内用户接收到的 VLC 信号强度和惯导模块接收到的角度与位移,

计算用户状态转移概率和发射概率，在维特比解码器中求得概率最大的节点即为定位点。

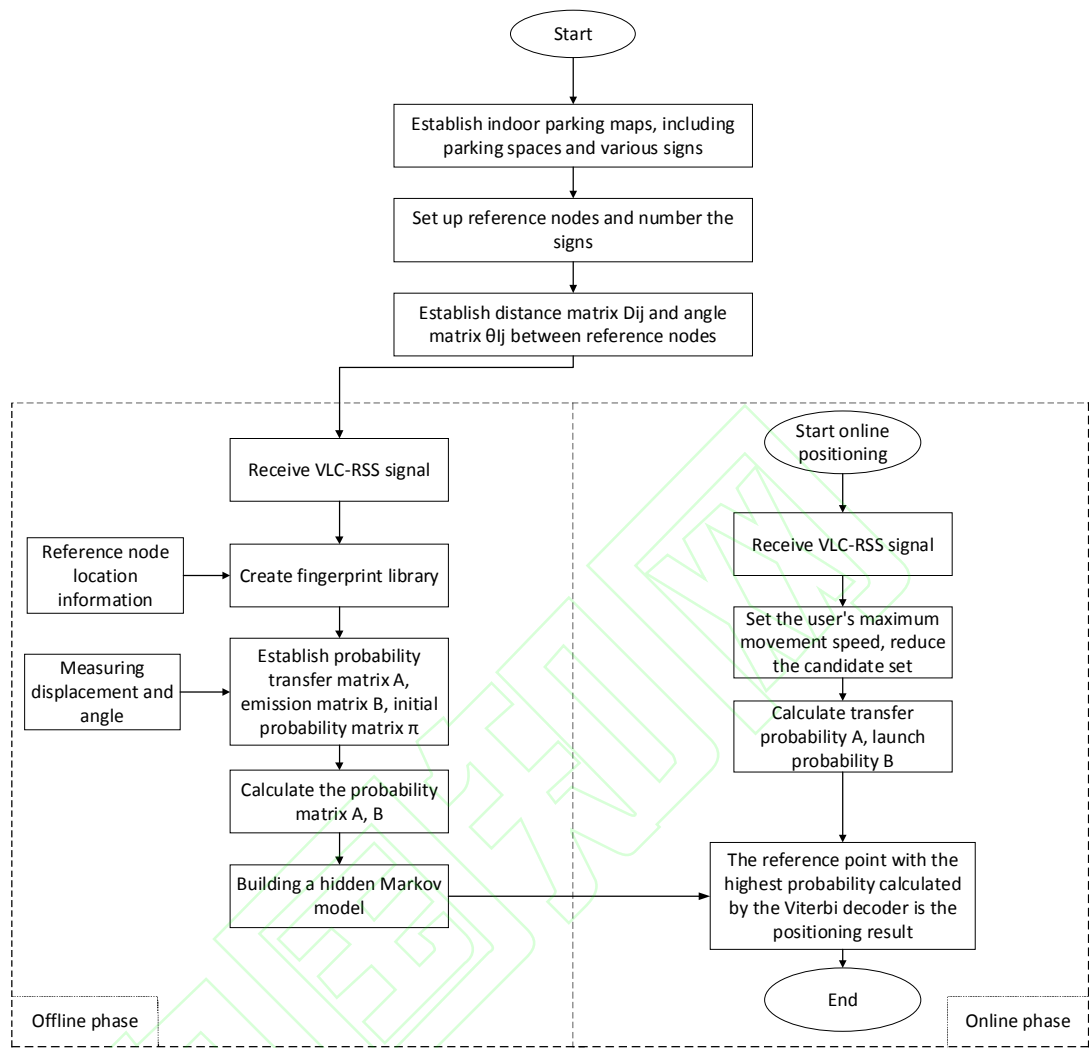


图 5 融合定位算法流程图

Fig.5 Flow chart of fusion positioning algorithm

4 仿真与结果分析

4.1 仿真环境与条件

为了评估本文定位算法在大型室内场所用户移动定位的效果，以某高校内一室内停车场实地为依据进行仿真实验。停车场长度 100m，宽为 25m，总面积约 2500m²，停车场包括三个出入口、两条车道、82 个停车位、一个供电房、两个人梯和四个电梯。

离线建库阶段建立 HMM 的参考节点，共 162 个节点，并测量每个节点之间的距离矩阵 D 和角度矩阵 θ 。室内停车场所建立的 HMM 指纹地图如图 6 所示，仿真参数由表 1 所示。

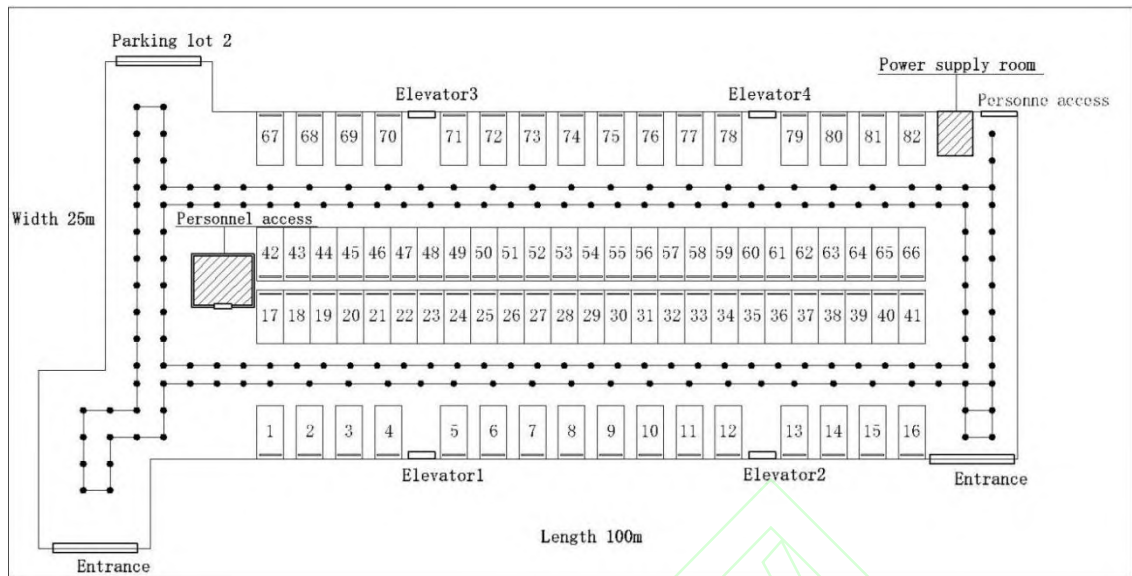


图 6 室内停车场指纹地图

Fig.6 Indoor parking fingerprint map

表 1 仿真实验参数

Table 1 Simulation experiment parameters

Symbol	Parameters	Values
S	Room size	2500m ²
H_{PD}	Receive height	1m
H_{LED}	LED height	4m
N_{Led}	Number of LED in each lamp	26
P_t	Transmitted power of a lamp	5W-10W
$T_s (\Psi)$	Gain of optical filter	1
$g(\Psi)$	Gain of optical concentrator	1
FOV	Field-of-view	55°
A	Physical area of photo-detector	1cm ²
N_{nodes}	Number of nodes	162
V_{max}	Maximum speed	5m/s

4.2 仿真实验效果与分析

根据停车场内的道路情况，结合行人和车辆用户的移动速度，设置用户最大移动速度为 5m/s，采样频率 1Hz，每次模拟用户移动 5 分钟，总共采集 30 条路径轨迹，轨迹长度从 200m 到 700m 不等。图 7 为在室内停车场进行实验的轨迹图，图 8 为经过仿真得到的 30 次运动定位误差累积分布函数。

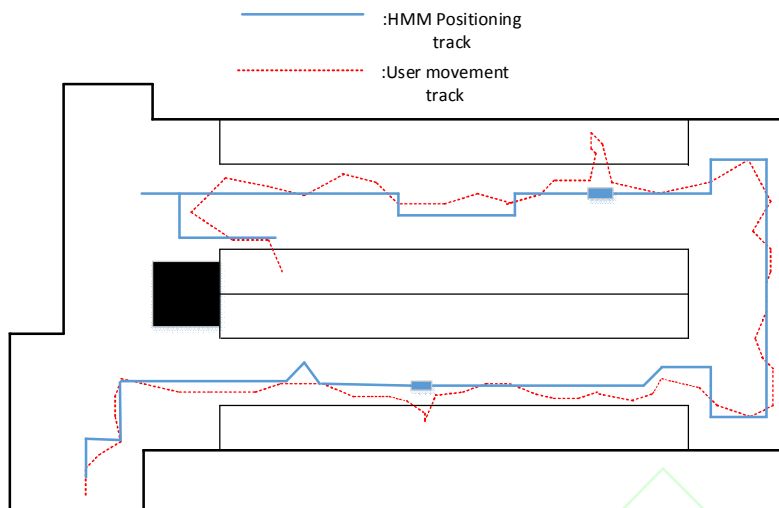


图 7 室内停车场实验轨迹图
Fig.7 Indoor parking lot experiment trajectory

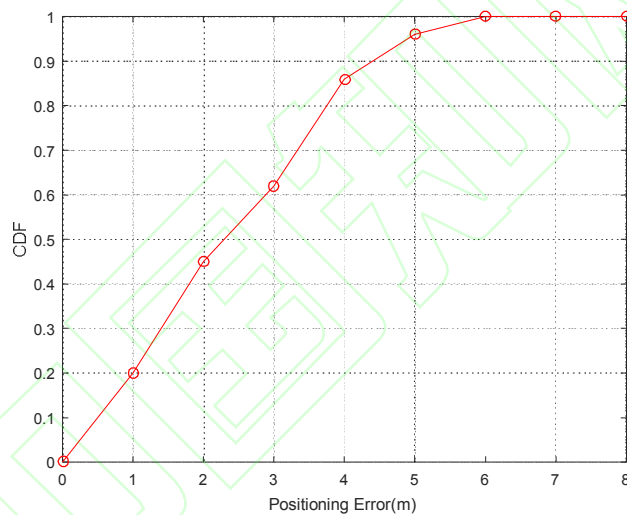


图 8 误差累积分布函数
Fig.8 Cumulative error distribution function

表 2 给出了 30 次运动实验的定位误差统计。测试 3000-9000 个节点（次），节点准确率约 85%，最大定位误差 5.5m，最大匀方根误差 4.42 m，最小定位误差 0.2m，最小匀方根误差 3.95 m，平均定位误差约 3.6m。3m 以内的定位误差主要是来自网格内的随机移动和参考节点之间的距离差，3m 以上的定位误差主要是由于节点转移判断错误。分析可知，所提算法可以满足用户在室内停车场实现移动定位的需求。

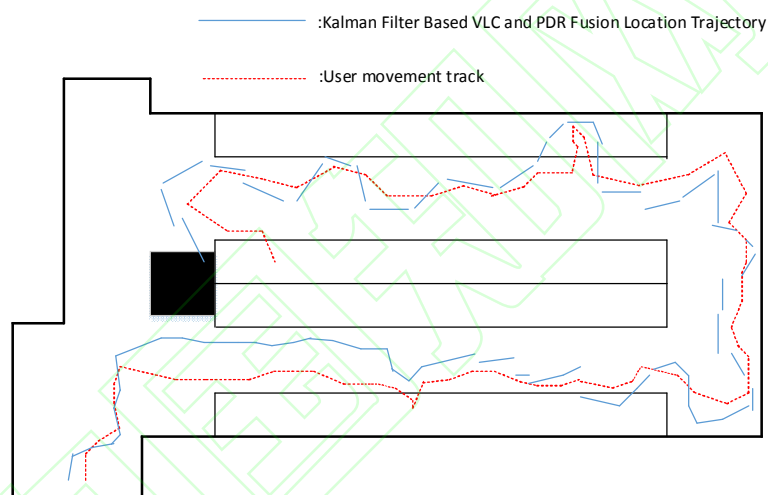
表 2 定位误差统计

Table 2 Positioning error statistics

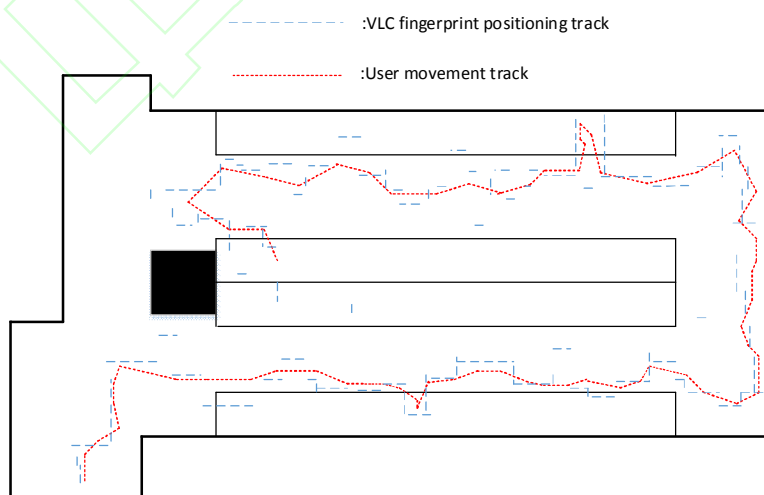
Experiments numbers	Forecast the number of nodes	Prediction node accuracy	Maximum error / m	Minimum error /m	Average error / m	Root mean square error /m
10	3000	82%	5.1	0.6	3.85	4.42
20	6000	85%	5.4	0.3	3.47	3.95
30	9000	84%	5.5	0.2	3.56	4.17

4.3 算法对比实验

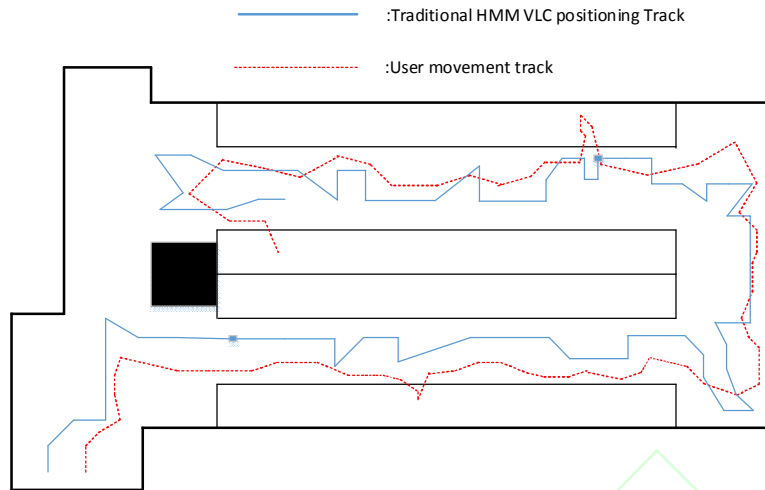
为了验证本文算法的优越性，选择可见光指纹定位^[9]、传统 HMM 可见光定位(VLC localization based on traditional HMM, VLC-HMM)、惯性导航定位^[10] 和基于卡尔曼滤波的可见光与惯导融合定位^[11]四种室内定位对比算法，其仿真实验如图 9 所示。



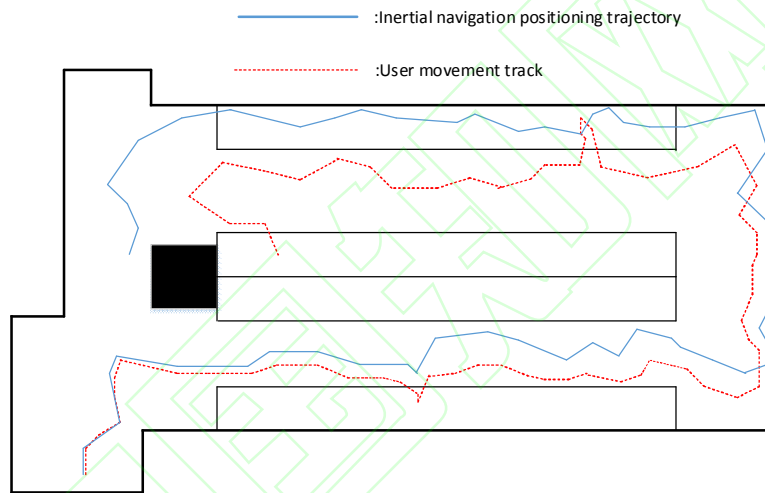
(a) 基于卡尔曼滤波的 VLC 与 PDR 融合定位轨迹图



(b) 可见光指纹定位轨迹图



(c) 传统 HMM 可见光定位轨迹图



(d) 惯性导航定位轨迹图

图 9 四种算法定位轨迹图

Fig.9 Four contrast algorithms positioning track map.(a) Kalman Filter Based VLC and PDR Fusion Location Trajectory Map;(b) Visible light fingerprint positioning track;(c) Traditional HMM VLC positioning trajectory;(d) Inertial navigation positioning trajectory

图 10 给出了所提算法与四种定位算法定位误差累积分布函数图。分析可知：（1）基于卡尔曼滤波的 VLC-PDR 融合定位，其 92% 的误差在 6m，其缺点是每一时刻都要利用两种定位方法同时采集数据同时进行算法融合，复杂度较高，在停车场的边缘和角落定位精度不高(如图 9（a）)；（2）VLC 指纹定位法，其定位轨迹不连续(如图 9（b）)，因噪声产生定位点的偏移，其 95% 定位误差在 7m 以内；（3）可见光信号作为观测量的传统 HMM 定位方法的误差较大，其主要原因是观测量太少，VLC 信号不稳定很容易造成预测点偏移（如图 9（c）），并影响后续节点预测，其 96% 定位误差在 7m 以内。该方法另一个问题是候选节点太多，影响系统效率；（4）惯性导航定位的轨迹一开始比较准确，随着时间的增加，

累计误差越来越大，轨迹也随之偏移（图 9（d））；（5）图 10 所示的本文算法 95%的定位误差在 5m 以内，平均定位误差相比其他对比算法更小，定位更加连续且接近真实运动轨迹(如图 7)。为直观的体现本文算法的优越性，表 3 表明所提算法各项指标整体好于四种对比算法。

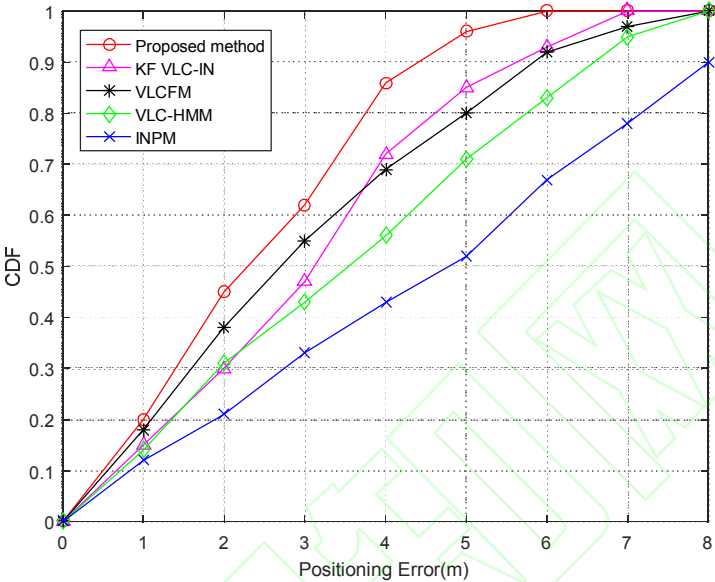


图 10 对比算法定位误差累积分布函数图

Fig.10 Contrast algorithm positioning error cumulative distribution function graph

表 3 对比算法定位误差统计

Table 3 Comparison algorithm error statistics

Positioning method	Maximum error / m	Minimum error / m	Average error / m	Root mean square error / m	Median error / m
VLCFM ^[9]	7.3	0.1	4.61	5.10	4.22
VLC-HMM	7.4	0.3	5.52	6.13	5.04
INPM ^[10]	9.6	0.05	6.62	7.14	5.56
KF VLC-IN ^[11]	6.5	0.6	4.27	4.85	3.74
Proposed method	5.5	0.2	3.35	3.88	2.92

4.4 用户最大速度下候选集的确定

根据 3.2 节所提方法，以图 6 的场景为例设定其移动速度为 0.1m/s-5m/s，所对应的候选节点为 1-8。通过仿真实验来分析候选节点数量对定位误差的影响。如图 11 为不同候选节点对应的定位误差，随着候选集数量的增加，定位误差减小。在开始阶段，定位误差随着候选节点数量的增加而急剧下降。这因为增加候选节点的数量将扩大寻找最佳路径的搜索区域。当候选节点的数量达到特定值时，即本文中当最大移动速度为 4m/s，其候选集为 6 个

节点时，此时搜索范围已经覆盖了所有可能的搜索区域，定位误差将降为最小。若继续增加节点，相应的搜索范围的扩大会超出搜索区域，将会导致误差的增加。

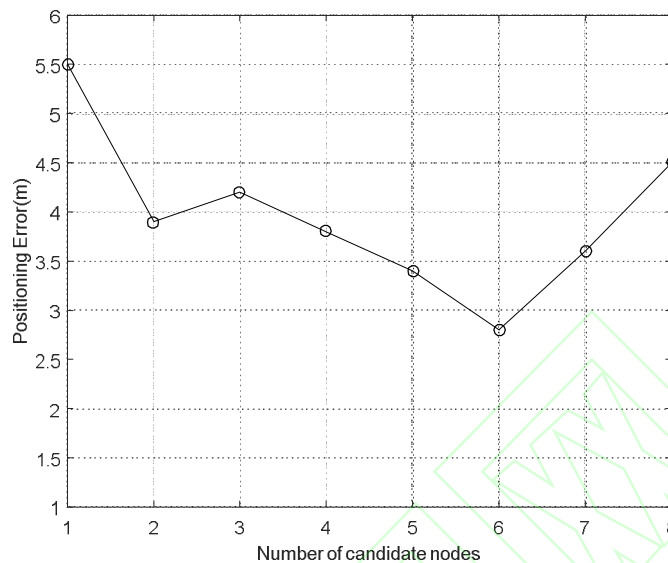


图 11 不同数量候选节点对应的定位误差图

Fig.11 Location error graphs corresponding to different numbers of candidate nodes

5 结论

本文选取隐马尔科夫模型作为定位模型，设计可见光与惯导融合定位算法。离线阶段建立室内停车场指纹图，采集可见光信号和运动信息，在线阶段根据用户最大移动速度减少候选集，提高定位速度，设计改进的维特比算法预测用户运动轨迹。仿真实验结果表明，所提算法能准确连续的预测用户运动轨迹，并且定位复杂度较低，与其他几种定位算法相比，融合定位算法在大型室内场所的移动定位误差更低，为大型室内场所的定位与导航提供参考。

参考文献

[1] Ye T , Long Z . A Novel System for WiFi Radio Map Automatic Adaptation and Indoor Positioning[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2018, 67(11):10683-10692.

[2] Mu Zhou, Yiyao Liu, Yong Wang and Zengshan Tian. Anonymous crowdsourcing-based WLAN indoor localization[J]. Digital Communications and Networks , 2019(4):226-236.

[3] Jia B , Huang B , Gao H , et al. Selecting Critical WiFi APs for Indoor Localization based on a Theoretical Error Analysis[J]. IEEE Access, 2019, 11(7):36312-36321.

[4] ZHANG Jian and WANG Hui. An improved SNR uniformity optimization method for visible optical communication systems[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications (Natural Science Edition). 2015, 27(01):78-82.

张健,王辉. 一种改进的可见光通信系统 SNR 均匀性优化方法[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2015, 27(1):78-82.

- [5] LATIF U K. Visible light communication: applications, architecture, standardization and research challenges [J]. Digital Communications and Networks, 2017, (2):78-88.
- [6] LIU Huiyuan, MA Jinhui, HUANG Qiong. Construction method of fingerprint database based on improved Kriging interpolation for indoor location[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications: Natural Science Edition, 2017, 29(6):751-757.
刘辉元, 马金辉, 黄琼. 基于改进克里金插值的室内位置指纹库构建算法[J]. 重庆邮电大学学报: 自然科学版, 2017, 29(6):751-757.
- [7] Chen Yong, Li Yichao, Liu Huanlin. Moving Target Positioning Method Based on Visible Light Communication in Time Division Multiplexing Network[J]. Chinese Journal of Lasers, 2017, 44(10): 1006003.
陈勇, 李逸超, 刘焕淋. 基于可见光通信的时分复用组网下移动目标定位方法[J]. 中国激光, 2017, 44(10):1006003.
- [8] Xu Shiwu, Wu Yi, Su Guodong. Fingerprint Matching and Localization Algorithm Based on Orthogonal Frequency Division Multiplexing Modulation for Visible Light Communication[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2019, 56(9): 090601.
徐世武, 吴怡, 苏国栋. 基于正交频分复用调制的可见光通信指纹匹配定位算法[J]. 激光与光电子学进展, 2019, 56(9): 090601.
- [9] Zhao Chuhan, Zhang Hongming, Song Jian. Fingerprint Based Visible Light Indoor Localization Method[J]. Chinese Journal of Lasers, 2018, 45(8): 0806002
赵楚韩, 张洪明, 宋健. 基于指纹的室内可见光定位方法[J]. 中国激光, 2018, 45(8):0806002.
- [10] Liu Chunyan. Indoor localization method based on pedestrian dead reckoning aided by multi-source fusion[J]. Journal of Chinese Inertial Technology, 2016, 24(2):208-214.
- [11] Liu C Y. Indoor localization method based on pedestrian dead reckoning aided by multi-source fusion[J]. Journal of Chinese Inertial Technology, 2016, 24(2):208-214.
刘春燕. 基于多源信息融合的行人航位推算室内定位方法[J]. 中国惯性技术学报, 2016, 24(2):208-214.
- [12] Li Z, Feng L, Yang A. Fusion Based on Visible Light Positioning and Inertial Navigation Using Extended Kalman Filters[J]. Sensors, 2017, 17(5):1093-1099.
- [13] Nan Z, Hongbo Z, Wenquan F, et al. A novel particle filter approach for indoor positioning by fusing WiFi and inertial sensors[J]. Chinese Journal of Aeronautics, 2015, 000(006):1725-1734.
- [14] Adams S, Beling P A, Cogill R. Feature Selection for Hidden Markov Models and Hidden Semi-Markov Models[J]. IEEE Access, 2016, 4:1642-1657.
- [15] Liu C X, Lu G Q, Tang H B, et al. Adaptive Deployment Method for Virtualized Network Function Based on Viterbi Algorithm[J]. Journal of Electronics and Information Technology, 2016, 38(11): 2922-293
刘彩霞, 卢干强, 汤红波, 等. 一种基于 Viterbi 算法的虚拟网络功能自适应部署方法[J]. 电子与信息学报, 2016, 038(011):2922-2930.

网络首发:

标题: 基于隐马尔科夫模型的可见光与惯导融合室内定位系统

作者: 陈勇, 巫杰, 刘焕淋, 郑瀚

收稿日期: 2020-06-04

录用日期: 2020-07-09

DOI: 10.3788/cjl202047.1206001

引用格式:

陈勇, 巫杰, 刘焕淋, 郑瀚. 基于隐马尔科夫模型的可见光与惯导融合室内定位系统[J]. 中国激光, 2020, 47(12): 1206001.

网络首发文章内容与正式出版的有细微差别, 请以正式出版文件为准!

您感兴趣的其他相关论文:

调制度对可见光通信系统性能的影响

靳永超 陈雄斌 毛旭瑞 闵成或 潘天豪 陈弘达

中国科学院大学微电子学院, 北京 100049

中国激光, 2019, 46(5): 0506001

基于位置和功率协同优化的煤矿工作面可见光通信光源分布

游春霞 胡青松 李世党 马勇 陈浩

江苏师范大学物理与电子工程学院, 江苏 徐州 221116

中国激光, 2019, 46(4): 0406001

仿生复眼多级耦合光学天线优化设计及分析

陈考铭 杨春勇 吴庭明 倪文军 王润雨 侯金 陈少平

中南民族大学电子信息工程学院智能无线通信湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430074

中国激光, 2018, 45(7): 0704005

室内可见光通信系统光源LED布局优化与性能分析

王加安 车英 郭林炀 王馨兰

长春理工大学光电工程学院, 吉林 长春 130022

中国激光, 2018, 45(5): 0506002

室内可见光通信中接收光功率均匀性优化方法

陈勇 沈奇翔 刘焕淋

重庆邮电大学工业物联网与网络化控制教育部重点实验室, 重庆 400065

中国激光, 2018, 45(5): 0506003