

Indoor Position Sensing Method for Visible Light Imaging Based on Image Matching

Kai Qi Yingying Yao Lang Luo Chen Jiao

College of Electronics and Information Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an, Shaanxi, 710021, China

Abstract

In response to the existing visible light positioning technology that relies on various sensors and complex algorithms to achieve positioning, which is difficult to implement and susceptible to interference, a fusion algorithm of image matching and visual word bag model is proposed for visible light indoor positioning. Extract image features from the collected image information using accelerated robust feature algorithms, and construct a visual word bag model using k-means clustering algorithm for training and localization testing. The results indicate that at a height of $0.8\text{m} \times 0.8\text{m} \times 0.8\text{m}$ In the 0.8m experimental environment, the average positioning error of the paper's positioning method is 4.8cm , 64.4% of the test points have positioning errors less than 4cm , and 80% of the test points have positioning errors less than 6cm , achieving stable and accurate indoor positioning.

Keywords

visible light localization; image matching; accelerated robust feature algorithm; visual word bag model

基于图像匹配的可见光成像室内位置感知方法

漆凯 姚莹莹 罗琅 焦晨

西安工业大学电信学院, 中国 · 陕西 西安 710021

摘 要

针对现有的可见光定位技术依赖于各种传感器和复杂的算法来实现定位, 实施难度大且易受干扰等问题, 提出融合图像匹配与视觉词袋模型的算法用于可见光室内定位。对采集的图像信息利用加速稳健特征算法提取图像特征, 将特征集合通过k均值聚类算法构建视觉词袋模型, 进行训练与定位测试。结果表明, 在搭建的 $0.8\text{m} \times 0.8\text{m} \times 0.8\text{m}$ 实验环境中, 论文定位方法的平均定位误差为 4.8cm , 64.4% 测试点的定位误差小于 4cm , 80% 测试点的定位误差小于 6cm , 实现了稳定准确的室内定位。

关键词

可见光定位; 图像匹配; 加速稳健特征算法; 视觉词袋模型

1 引言

随着社会的信息化和数字化程度不断提升, 大型商场、展馆、工厂等室内复杂环境对定位服务的需求快速增长, 但蓝牙定位^[1]、超声波定位^[2]、射频识别定位等传统射频通信定位技术在室内环境中由于电磁屏蔽和遮挡效应等影响难以满足稳定高效的定位需求。可见光定位技术作为一种新型的室内定位技术, 相比于传统射频通信定位技术, 具有兼顾照明和通信且稳定可靠的优点, 已成为当下热门研究方向之一^[3], 其室内定位精度不断提高。例如, 车平等^[4]利用图像传感器和加速传感器接受光源信息, 基于两点光源进行粗定位, 再利用 2D 图像坐标重建定位, 在 $5\text{m} \times 5\text{m} \times 3\text{m}$ 的

室内环境中定位误差和不超过 2cm 。目前, 应用图像处理技术实现定位受到广泛关注。XIA Yi 等^[5]提出了一种使用移动终端采集图像, 通过图像匹配技术实现室内定位, 验证了视觉室内定位方法的可行性。LU Pengsen 等^[6]采用改进的 ORB (Oriented Fast and Rotated Brief) 算法与图像识别定位技术实现室内目标定位。周强^[7]提出了基于改进 SURF (Speed up Robust Feature) 算法的图像精确定位方法, 比 SIFT (Scale Invariant Feature Transform) 算法拥有更高的定位精度和更快的运算速度。谷学静^[8]提出一种将双边滤波和词袋 (BoW) 模型相融合的匹配算法, 采用双边滤波对图像进行对比度增强和去噪, 获取图像的特征点和描述子, 利用 BoW 模型进行相似度筛选, 最后通过渐进采样一致 (PROSAC) 算法剔除误匹配点对, 提高算法的匹配精度。

在传统室内定位技术不能满足人们日益增长的多元化定位需求的情况下, 论文提出了一种基于图像的可见光室内定位方法, 通过对采集的图像提取 SURF 特征, 建立图像特征指纹库训练视觉词袋模型进行图像匹配检索实现定位。

【基金项目】大学生创新创业项目 (项目编号: S202210702041)。

【作者简介】漆凯 (2001—), 男, 中国贵州贵阳人, 在读本科生, 从事可见光定位研究。

2 可见光室内定位模型

整个系统主要由离线建库、模型建立和实测定位三个部分构成。可见光成像室内定位的实验流程如图 1 所示。

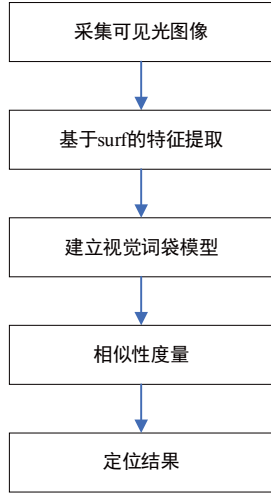


图 1 可见光成像室内定位的实验流程图

3 基于图像匹配的可见光室内定位算法

3.1 基于 SURF 算法的图像特征提取

加速稳健特征 (Speed up Robust Features, SURF) 算法是基于 SIFT 的快速、鲁棒性强的特点上提出的特征点提取和匹配的算法，在图像旋转、缩放、噪声、平移等方面都有很好的鲁棒性，SURF 算法特征点检测是通过利用 Hessian 矩阵来对图像进行特征点查找，对于图像 I 中某点 (x, y) ，尺度为 σ 的 Hessian 矩阵表示为：

$$H(x, \delta) = \begin{bmatrix} L_{xx}(x, \delta) & L_{xy}(x, \delta) \\ L_{xy}(x, \delta) & L_{yy}(x, \delta) \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中， $L_{xx}(x, \delta)$ 表示为图像 I 在点 x 处与高斯二阶微分 $\frac{\partial^2}{\partial x^2} g(\sigma)$ 的卷积， $L_{xy}(x, \delta)$ 和 $L_{yy}(x, \delta)$ 同理。 $g(\sigma)$ 的函数表达式为：

$$g(\sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma} e^{-\frac{(x+y)^2}{2\pi\sigma}} \quad (2)$$

为提高计算速度，SURF 算法引入盒式滤波来解决二阶高斯滤波计算耗时的问题，盒式滤波方程式表示为：

$$S(x, y) = \sum_{i=0}^x \sum_{j=0}^y I(i, j) \quad (3)$$

根据公式，可以得出任意矩形，区域的面积积分可由公式获得：

$$\sum = A + D - (B + C) \quad (4)$$

改变盒式滤波器的大小可以构建出具有不同尺度的图像金字塔，将得到的不同尺寸盒式滤波与图像的卷积分别记为 D_{xx} 、 D_{xy} 和 D_{yy} ，并借助于积分图像快速完成卷积运算，最终获得近似 Hessian 矩阵行列式：

$$\text{Det}(H) = D_{xx}D_{yy} - (\omega D_{xy})^2 \quad (5)$$

SURF 的特征向量产生方法是将特征点作为中心的长度为 $20s$ (s 是该特征点所在的尺度值)，再将其分成 4×4 个小块，每一个小块被分成 5×5 个取样点，取样后利用哈里小波对各个单元进行横向和纵向的响应，最后统计 5×5 个采集点的总响应值，于是推导出公式：

$$V = (\sum dx, \sum |dx|, \sum dy, \sum |dy|) \quad (6)$$

3.2 基于视觉词袋模型的图像匹配

视觉词袋模型实现过程大致分为四个步骤：首先提取图像中的特征描述子，然后通过聚类算法将训练图片得到特征描述子进行相似点聚类，每个聚类中心代表一个视觉单词，将图像的局部视觉特征映射到视觉单词表并用一个特征向量表示，特征向量的每一维对应一个视觉单词的权重之和，最后利用图像生成的向量进行图像匹配检索，算法流程如图 2 所示。

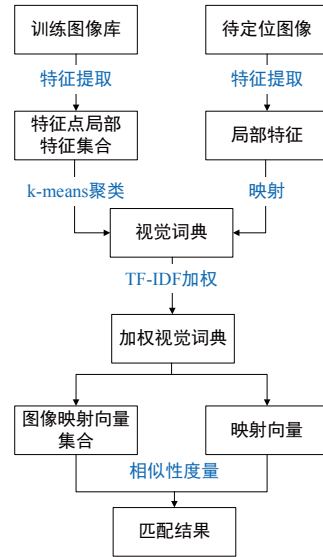


图 2 视觉词袋模型算法流程图

视觉词袋构造主要步骤如下：①给定待聚类的图像 SURF 描述子数据集，随机选取 K 个对象作为初始聚类中心。②求出 SURF 描述子数据集中的每个数据与各个聚类中心的距离，按照最小化原则将数据点划入最近邻聚类中心所在的类簇。③重新计算每个类簇的中心。④重复步骤二、三，当各个聚类中心不再改变时算法结束。⑤计算每个聚类中心的 TF-IDF 分数，得到最终的加权视觉词典。

4 实验与结果分析

4.1 实验环境

为验证所提出定位算法的可行性与有效性，论文模拟真实的室内场景搭建了 $0.8\text{m} \times 0.8\text{m} \times 0.8\text{m}$ 的可见光定位实验环境。在实验环境中，顶部布置 4 个发光二极管 (LED) 光源，满足照明的同时也保证每个采集位置都能接收到至少一个 LED 的信息。在实验箱底部的坐标板上以 5cm 为间隔

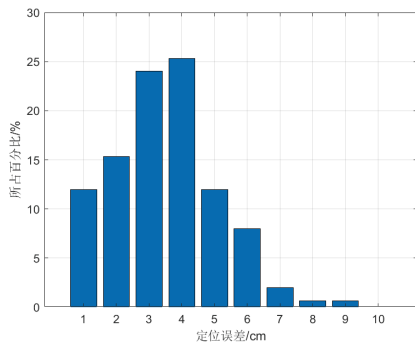
将坐标板划分为大小相等的若干区域，并在实验箱顶部安装4个功率为3W的LED光源，用来采集可见光图像并提取特征。

4.2 视觉词袋模型的训练

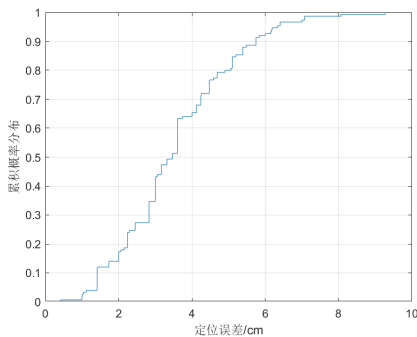
利用SURF算法提取实测的765张可见光图像的特征，经过分离重组得到图像SURF描述子数据集，作为视觉词袋模型的输入。采用均方根误差（root mean-square error, RMSE）来计算测量定位坐标与真实坐标之间的误差。假设匹配定位坐标为 (x_m, y_m, z_m) ，真实坐标为 (x_i, y_i, z_i) ，测试次数为N，则均方根误差的数学表达式为：

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_i ((x_{mi} - x_i)^2 + (y_{mi} - y_i)^2 + (z_{mi} - z_i)^2)} \quad (7)$$

采用均方根误差来计算三维定位误差，可以得出系统的定位误差为4.8cm，经过统计得到误差直方图和累积概率分布如图3所示。



(a) 分布图



(b) 累积概率分布图

图3 三维定位误差

由图3可知，定位误差集中分布在0~10cm，统计结果表明：超过80%的测试点实现了6cm的定位精度，则论文提出的定位算法能在三维空间实现高精度定位。

5 结论

针对现行室内可见光定位技术受环境影响大、实际操作难度高导致的定位不稳定的问题，提出了视觉成像的可见光定位技术。只需在室内位置采集图像，再使用SURF算法提取可见光图像的特征，经过分离重组后建立数据库，并将其代入到视觉词袋模型进行训练测试。在实测定位阶段，搭建了0.8m×0.8m×0.8m的实物模型进行验证，测试结果的平均定位误差为4.8cm，误差小于4cm的预测点数量占总坐标点数量的64.4%，误差小于6cm的预测点数量占总坐标点数量的80%，定位结果稳定可靠，所提方法为可见光室内定位技术提供了新的可行方案。

参考文献

- [1] 周向前,张峰,刘叶楠,等.基于融合聚类的蓝牙室内定位系统算法优化[J].自动化与仪表,2020,35(1):80-85.
- [2] 李金奎,冯晋,陈剑桥.一种无线网络时钟同步法的超声波室内定位系统设计[J].现代雷达,2022,44(3):76-80.
- [3] ZHAO Li, CHEN Junbo, LIU Haitao. Neural network visible light indoor location based on lambert model optimization[C]//2022 IEEE 10th International Conference on Information, 2022:202-207.
- [4] 车平,冯莉芳.基于室内可见光的两点光源定位技术研究[J].光学技术,2018,44(3):257-262.
- [5] XIA Yi, XIU Chundi, YANG Dongkai. Visual indoor positioning method using image database[C]//2018 Ubiquitous Positioning, Indoor Navigation and Location-Based Services,2018:1-8.
- [6] LU Pengsen, ZHANG Jie, LIN Xin, et al. Research on indoor target positioning system based on image feature extraction and recognition[C]//2023 IEEE 2nd International Conference on Electrical Engineering, Big Data and Algorithms, 2023: 547-550.
- [7] 周强,周虎,徐利军,等.基于SURF算法和SLSH算法的图像定位方法[J].仪表技术与传感器,2020(10):103-107.
- [8] 谷学静,刘秋月,马冠征,等.基于双边滤波和词袋模型的图像匹配算法[J].激光杂志,2022,43(7):70-74.