

一种 WiFi 无线接入点位置估计新算法

徐亚明^{1,2} 周建国¹ 张 鹏^{1,2}

1 武汉大学测绘学院,湖北 武汉,430079

2 精密工程与工业测量国家测绘地理信息局重点实验室,湖北 武汉,430079

摘 要:针对无线接入点的位置估计问题,利用基于接收信号强度的测距技术,提出一种无需已知测距模型参数的无线接入点位置估计算法。该算法首先通过距离间的比例关系消去和无线接入点发射功率相关的测距模型参数;然后根据最小二乘原理来搜索最佳路径损耗指数,再确定无线接入点的位置。仿真结果表明,该算法能够改善现有无线接入点位置估计算法存在的不足,提升位置估计的精度。

关键词:无线接入点;位置估计;比例搜索算法;路径损耗指数;最小二乘

中图法分类号:P258

文献标志码:A

WiFi 无线接入点(access point, AP)在许多城市得到广泛的布设,确定这些无线接入点的位置不但可以帮助网络管理者估计一个区域的射频传播特性,对无线接入点的布设进行规划;而且在辅助 GPS 定位乃至室内外无缝定位中都具有重要作用^[1]。

一般利用接收信号强度来估计无线接入点的位置,常用方法分为物理位置估计和逻辑位置估计两类。物理位置估计即通过坐标已知的采样点及其接收信号强度来确定无线接入点的位置,如图心类算法^[2]、梯度法^[3]及三边测量法^[4]等。图心法取采样点的坐标平均值作为无线接入点的坐标,加权图心法根据接收信号强度进行定权,然后进行加权平均计算无线接入点坐标。该算法相对比较简单,但当采样点分布不均时,估计误差较大。梯度法通过局部接收信号强度的梯度信息估计无线接入点的方向,再联合多个方向值交会无线接入点的位置。该算法在大量采样点条件下精度较高,采样点较少时由于无法获取有效的梯度信息会导致估计失败。三边测量法利用多个采样点到无线接入点的距离来计算无线接入点的位置,但是往往无法事先获得将接收信号强度转化为距离的模型参数。文献^[5]把常用的对数测距模型线性化,使得求解时不再需要模型参数。由于进行了线性近似,当采样点的几何图形较差时将引入较大的模型误差,导致位置估计不准确。逻辑位置估计仅通过接收信号强度进行判断来逐

渐靠近无线接入点并最终找到其位置。文献^[6]通过邻近点的梯度信息来发现接入点的方向并进行不断校正,直到找到该接入点;文献^[7]则通过将探测者自身当作方向天线来获取接入点的方向并反复调节以寻找其位置。

针对目前无线接入点物理位置估计算法存在的不足,本文提出了一种新的利用接收信号强度并无需已知测距模型参数的接入点位置估计算法。

1 算法描述

1.1 比例关系法消参数

基于接收信号强度的测距技术是建立在无线信号随传播距离的增加而不断衰减的基础之上的。常用的模型为^[8]:

$$R(d) = R_0(d_0) - 10n \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_s \quad (1)$$

式中, $R(d)$ 为距离发射器为 d 的接收信号强度,单位为 dBm, $R_0(d_0)$ 为发射器参考距离 d_0 (一般取 $d_0 = 1$ m)处的接收信号强度, n 代表信号随距离衰减快慢的路径损耗指数, X_s 为服从均值为 0、方差为 σ^2 的正态分布的随机误差。

$R_0(d_0)$ 是和发射器的发射功率密切相关的参数,而路径损耗指数 n 则主要和环境因素有关。当这两个参数都已知时,即可获得距离 d 的极大似然估计 \hat{d} :

收稿日期:2013-01-15

项目来源:国家自然科学基金资助项目(41074025);高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20110141120046)。

第一作者:徐亚明,教授,博士生导师,研究方向为精密工程测量、室内定位。E-mail: ymxu@sgg.whu.edu.cn

$$\hat{d} = d_0 10^{\frac{R_0(d_0) - R(d)}{10n}} \quad (2)$$

上式即为将接收信号强度转化为距离的公式。在实际中,阴影、反射、多路径效应等因素都影响着无线信号的传播,使得基于接收信号强度的测距技术的精度无法跟 TOA(到达时间)、TDOA(到达时间差)等技术相比,但在只有接收信号强度可用且仅进行无线接入点位置粗略估计的条件下,该技术是行之有效的。

在多个已知坐标的采样点获取某一无线接入点的接收信号强度后,即可运用式(2)将其转化为距离值,再利用三边测量法计算无线接入点的坐标。但上述测距模型的参数 $R_0(d_0)$ 和 n 往往事先未知,即使获得接收信号强度 $R(d)$ 也无法进行距离的转换。对式(2)进行相应变换:

$$(\hat{d}/d_0)^n = 10^{\frac{R_0(d_0)}{10}} / 10^{\frac{R(d)}{10}} \quad (3)$$

由 dBm 和 mW 之间的转换关系可知,上式中 $10^{\frac{R_0(d_0)}{10}}$ 和 $10^{\frac{R(d)}{10}}$ 即是以 mW 为单位的接收信号功率。令 $10^{\frac{R_0(d_0)}{10}} = P_0$, $10^{\frac{R(d)}{10}} = P$, 由第 i ($i=1, 2,$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 2(P_2^{2/n}x_2 - P_2^{2/n}x_1) & 2(P_2^{2/n}y_2 - P_2^{2/n}y_1) & P_1^{2/n} - P_2^{2/n} \\ 2(P_3^{2/n}x_3 - P_1^{2/n}x_1) & 2(P_3^{2/n}y_3 - P_1^{2/n}y_1) & P_1^{2/n} - P_3^{2/n} \\ \dots & \dots & \dots \\ 2(P_m^{2/n}x_m - P_1^{2/n}x_1) & 2(P_m^{2/n}y_m - P_1^{2/n}y_1) & P_1^{2/n} - P_m^{2/n} \end{bmatrix}_{(m-1) \times 3}$$

$$\mathbf{b} = \begin{bmatrix} P_2^{2/n}(x_2^2 + y_2^2) - P_1^{2/n}(x_1^2 + y_1^2) \\ P_3^{2/n}(x_3^2 + y_3^2) - P_1^{2/n}(x_1^2 + y_1^2) \\ \dots \\ P_m^{2/n}(x_m^2 + y_m^2) - P_1^{2/n}(x_1^2 + y_1^2) \end{bmatrix}, \mathbf{X} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ R \end{bmatrix}$$

此时,根据距离之间的比例关系,消去了和发射器发射功率密切相关的参数 $R_0(d_0)$,但是方程组中仍然包含未知的路径损耗指数 n 。要想确定无线接入点的位置,还需通过其他方法获知环境中相应的路径损耗指数 n 。

1.2 最佳路径损耗指数搜索

一般来说,不同环境下的路径损耗指数 n 是不同的,我们无法精确预知某一环境下的路径损耗指数的具体数值,但是可以确定其大致范围^[9]。可以根据最小二乘原理,按照一定的步长搜索环境中的最佳路径损耗指数,然后将该路径损耗指数代入上述方程组求解无线接入点的坐标。

设上述未知参数 \mathbf{X} 的估值为 $\hat{\mathbf{X}} = [\hat{x} \ \hat{y} \ \hat{R}]^T$,根据最小二乘原理可以求得未知参数的估值为:

$$\hat{\mathbf{X}} = \underset{\mathbf{X}}{\operatorname{argmin}} \|\mathbf{A}\mathbf{X} - \mathbf{b}\| \quad (9)$$

由于路径损耗指数 n 未知,使得方程组中的 \mathbf{A} 和 \mathbf{b} 并不确定,从而无法求解出无线接入点的坐

标。设某一环境中路径损耗指数的大致范围为

$$N_{\min} \leq n \leq N_{\max} \quad (4)$$

同时,设待估无线接入点的坐标为 (x, y) ,第 i 个采样点的已知坐标为 (x_i, y_i) ,可以得到:

$$\hat{d}_i \approx \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} \quad (5)$$

此时以第 1 个采样点为基准,利用距离之间的比例关系可以得到:

$$\frac{P_1}{P_i} = \frac{[(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2]^{n/2}}{[(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2]^{n/2}} \quad (6)$$

对上式进行整理,得:

$$(P_1^{2/n} - P_i^{2/n})(x^2 + y^2) + 2(P_i^{2/n}x_i - P_1^{2/n}x_1)x + 2(P_i^{2/n}y_i - P_1^{2/n}y_1)y = P_i^{2/n}(x_i^2 + y_i^2) - P_1^{2/n}(x_1^2 + y_1^2) \quad (7)$$

令 $x^2 + y^2 = R$,得到:

$$(P_1^{2/n} - P_i^{2/n})R + 2(P_i^{2/n}x_i - P_1^{2/n}x_1)x + 2(P_i^{2/n}y_i - P_1^{2/n}y_1)y = P_i^{2/n}(x_i^2 + y_i^2) - P_1^{2/n}(x_1^2 + y_1^2) \quad (8)$$

此时,将采样点 i ($i=2, \dots, m$) 代入式(8)可以组成方程组 $\mathbf{A}\mathbf{X} = \mathbf{b}$,其具体形式为:

标。设某一环境中路径损耗指数的大致范围为 $N_{\min} \leq n \leq N_{\max}$,那么在这个路径损耗指数的范围内,以一定的步长将路径损耗指数逐个代入方程组,使方程组误差平方和达到最小的那个路径损耗指数即是最佳路径损耗指数 n_{opt} 。其具体表达式如下:

$$n_{\text{opt}} = \underset{N_{\min} \leq n \leq N_{\max}}{\operatorname{argmin}} \{ \underset{\mathbf{X}}{\operatorname{argmin}} \|\mathbf{A}\mathbf{X} - \mathbf{b}\| \} \quad (10)$$

获取到最佳路径损耗指数 n_{opt} 之后, \mathbf{A} 和 \mathbf{b} 的值即可确定。将其代入式(9),就可以求得无线接入点的位置。

2 仿真分析

为了将本文提出的比例搜索算法与其他无线接入点位置估计算法进行比较,选取了 3 种常见的采样分布场景进行模拟分析,如图 1 所示。图 1(a) 场景一为围绕着无线接入点进行采样,图 1(b) 场景二为沿着无线接入点的一侧进行采样,图 1(c) 场景三则为沿着指向无线接入点的方向进行采样。

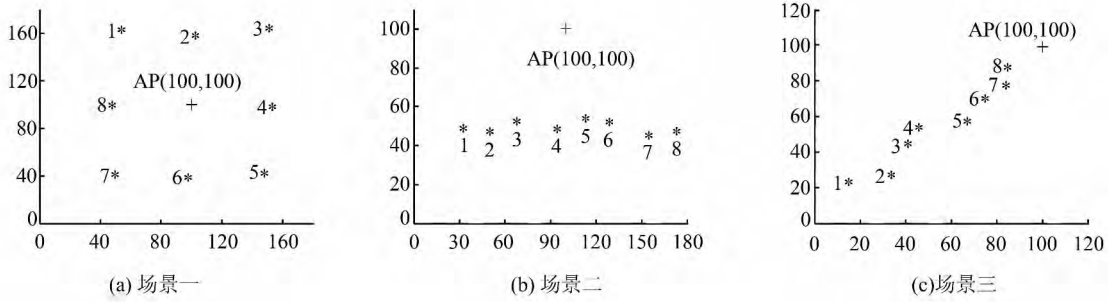


图 1 模拟无线接入点位置估计场景(单位:m)

Fig.1 The Analog Scenes for Wireless Access Point Position Estimation

设无线接入点的坐标为 $(100,100)$, 在每个场景中共在 8 个位置进行了接收信号强度采集, 在比较分析时依次选取了 5~8 个点, 采用不同的算法进行无线接入点位置估计。各场景中的 $R_0(d_0) = -30$ dBm, 路径损耗指数 $n = 3$, 环境噪声设置为 $\sigma = 2$, 在进行比例搜索时设定的路径损耗指数范围为 $N_{\min} = 2, N_{\max} = 4$, 搜索步长为 $\text{step} = 0.05$ 。

在场景一中, 围绕无线接入点进行采样, 采样点相对于无线接入点均匀分布, 且各采样点到无线接入点的距离都适中。按照图中采样点的顺序分别选取了 5~8 个采样点进行无线接入点的位置估计, 各种算法的估计精度如图 2 所示。由图 2 可以看出, 当采样点数量较少且相对于无线接入点分布不均匀时, 图心法估计误差很大, 加权图心法对其改善效果也不明显。随着采样点数量的增加且相对于无线接入点均匀分布, 图心类算法的精度得到了提高。由于各采样点到无线接入点的距离适中, 且采样点分布的几何图形很好, 此时线性化法具有很好的估计精度, 且随着采样点数量的增加, 估计精度提高。同样, 此时比例搜索法有着和线性化法相当的估计精度。

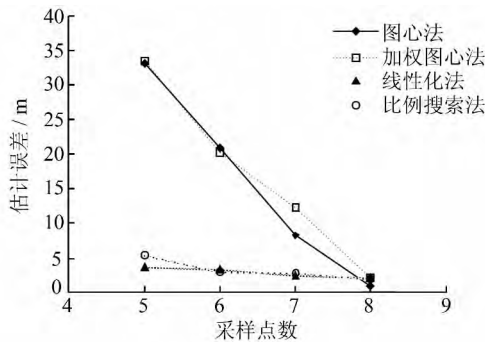


图 2 场景一下各种算法的估计精度

Fig.2 Estimation Accuracy in Scene One

场景二模拟了沿着无线接入点的一侧进行采

样的情况。在此场景中采样点分布不均匀, 都分布在无线接入点的一侧, 各采样点到无线接入点的距离不等, 但差异并不剧烈。此时不同算法的估计精度如图 3 所示。由于采样点相对于无线接入点的分布不均匀, 图心法的估计误差很大, 且采样点的增加对估计精度的提高有限。因为各采样点到无线接入点的距离有差异, 此时加权图心法对图心法的估计精度有些许提高。总体来说, 在本场景中线性化法的估计精度明显高于图心类算法, 但是由于采样点分布的几何图形不佳, 各采样点到无线接入点的距离差异将给线性化带来一定的模型误差, 导致线性化法的估计精度并不稳定。同样, 比例搜索法的估计误差也远小于图心类算法, 且估计精度高于线性化算法, 同时其估计精度具有稳定性。

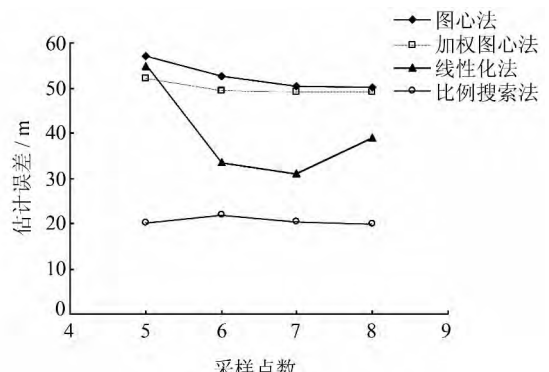


图 3 场景二下各种算法的估计精度

Fig.3 Estimation Accuracy in Scene Two

场景三模拟了沿着指向无线接入点的方向进行采样的情况, 此时采样点由远至近大致分布在指向无线接入点的一条直线上, 分布极不均匀, 各采样点到无线接入点的距离之间相差很大, 采样点分布的几何图形很差。不同算法的估计精度如图 4 所示。由于采样点分布极不均匀, 图心法的估计精度很低。随着采样点数量的增加, 由于新增的采样点更接近于无线接入点, 故其精度有所

提高。加权图心法比图心法估计精度有较大改善,这是由于无线接入点到采样点距离的显著差异使得接收信号强度加权平均的效果明显。同时,由于距离间的差异剧烈,采样点几何图形极为不利,此时将对数测距模型线性化将引起很大的模型误差,也导致线性化算法在此场景中几乎失效。而比例搜索法在此种情况下仍具有较好的稳健性,其估计精度优于图心类算法和线性化法,且随着采样点数量的增加其估计误差趋向变低。

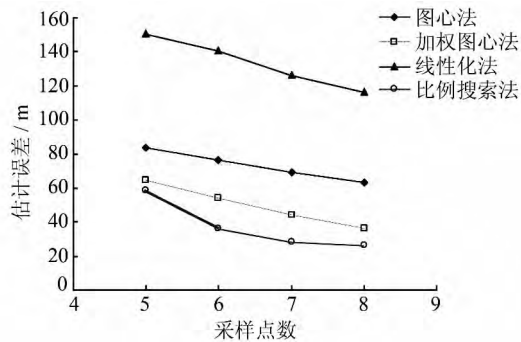


图4 场景三下各种算法的估计精度

Fig. 4 Estimation Accuracy in Scene Three

3 结 语

本文针对无线接入点的位置估计问题提出的比例搜索新算法,无需已知测距模型参数。它首先通过距离间的比例关系消去和无线接入点发射功率相关的测距模型参数,再根据最小二乘原理搜索最佳路径损耗指数来确定无线接入点的位置。3种常见的采样场景下的仿真结果表明,在采样点分布均匀、几何图形条件优良的情况下,本算法与线性化法具有相当的估计精度,且高于图心类算法;在采样点分布不均匀、几何图形条件差的情况下,本算法的估计精度明显优于图心类算法和线性化法,且具有较好的稳健性。总体结果表明,本算法能弥补其他几种无线接入点位置估计算法存在的不足,提升估计精度。

参 考 文 献

- [1] Tian Zhihui, Xia Linyuan, Mo Zhiming, et al. Signals of Opportunity Assisted Ubiquitous Positioning and Its Key Elements for Outdoor/Indoor Environment[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2009, 34(11): 1 372-1 376(田志辉,夏林元,莫志明,等. 泛在无线信号辅助的室内外无缝定位方法与关键技术[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2009, (11): 1 372-1 376)
- [2] Cheng Yuchung, Chawathe Y, LaMarca A. Accuracy Characterization for Metropolitan-scale WiFi Localization[C]. *Mobi Sys 2005*, Seattle, USA, 2005
- [3] Han Dongsu, Andersen D G, Michael K, et al. Access Point Localization Using Local Signal Strength Gradient[C]. *PAM 2009*, Seoul, 2009
- [4] Nawaz S, Trigoni N. Convex Programming based Robust Localization in NLOS Prone Cluttered Environments[C]. *IPSN 2011*, Chicago, USA, 2011
- [5] Koo J, Cha H. Localizing WiFi Access Points Using Signal Strength[J]. *IEEE Communications Letters*, 2011, 15(2): 187-189
- [6] Gonzalez M A, Javier G, Lopez-Guerrero M, et al. GUIDE-gradient: A Guiding Algorithm for Mobile Nodes in WLAN and Ad-hoc Networks[J]. *Wireless Personal Communications*, 2011, 57(4): 629-653
- [7] Zhang Zengbin, Zhou Xia, Zhang Weile, et al. I Am the Antenna: Accurate Outdoor AP Location Using Smartphones[C]. *Mobi Com 2011*, Las Vegas, USA, 2011
- [8] Zhou Jianguo, Zhang Peng, Feng Xin. Study on Adaptive Algorithm for Wireless Sensor Network Indoor Positioning[J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 2012(2): 74-77(周建国, 张鹏, 冯欣. 自适应无线传感器网络室内定位算法研究[J]. 大地测量与地球动力学, 2012(2): 74-77)
- [9] Mazuelas S, Bahillo A, Lorenzo R M, et al. Robust Indoor Positioning Provided by Real-time RSSI Values in Unmodified WLAN Networks [J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 2009, 3(5): 821-831

(下转第 310 页)

is very difficult based on object-oriented classification method and single date images. Due to the rough spatial resolution, MODIS times series data are not suitable to classification of land cover at small scale. In this study, a classification method for composing HJ-1 and MODIS time series data based on an object-oriented method is presented. In this method, classification rules were constructed using textural, spectral features from HJ-1 data and phonological features from MODIS time series data. During the classification process, objects are built by multi-scale segmentation, and then land covers are extracted one by one. The overall accuracy of these classification results are 93% with a Kappa confidence of 0.92, which indicates the classification method presented in this study is effective

Key words: object-oriented method; HJ-1 CCD; MODIS time series data; Shuangtaizi River delta; land cover

First author: JIA Mingming, PhD candidate, specializes in remote sensing of environment. E-mail: jiamingming@neigae.ac.cn.

Corresponding author: WANG Zongming, PhD, professor. E-mail: zongmingwang@iga.ac.cn.

Foundation support: The Key Program of the Chinese Academy of Sciences, No. KZZD-EW-08-02; CAS/SAFEA International Partnership Program for Creative Research Teams, No. 2012ZX07207-004.

.....
(上接第 282 页)

A New WiFi Wireless Access Point Location Estimation Algorithm

XU Yaming^{1,2} ZHOU Jianguo¹ ZHANG Peng^{1,2}

¹ School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, Wuhan 430079, China

² Key Laboratory of Precise Engineering & Industry Surveying, NASMG,

Wuhan University, Wuhan 430079, China

Abstract: Considering the problem of estimating the location of wireless access points, an algorithm, using RSS-based ranging techniques, which does not need ranging model parameters, is proposed. It firstly eliminates the ranging model parameter related to the transmit power for the wireless access point through the ratio relationships between the distances; and then it searches the best path loss index based on the principle of least squares to determine the location of a wireless access point. Simulation results show that the algorithm can overcome the shortcomings of the existing location estimation algorithms for wireless access points, and has better estimation accuracy.

Key words: wireless access point; location estimation; ratio and search algorithm; path loss index; least squares

First author: XU Yaming, professor, PhD supervisor, specializes in precise engineering survey and indoor positioning. E-mail: ymxu@sgg.whu.edu.cn

Foundation support: The National Natural Science Foundation of China, No. 41074025.