

一种新的基于区域划分的距离-损耗模型室内 WLAN 定位系统

徐凤燕 李樛宾 王宗欣
(复旦大学通信科学与工程系 上海 200433)

摘要: 该文基于室内 RSS 模型, 结合定位空间的区域划分, 构建了一个室内用户定位系统; 在各个区域内, 将在已知位置的信息收集点采集到的各无线接入点信号强度, 与计算机模拟实际环境获得的信号强度值相比较, 以此设定 RSS 模型参数; 然后采用最大似然法估计用户位置。实际系统测定结果表明, 该方法可以获得较为精确的室内用户位置估计。

关键词: 室内定位系统; 区域划分; 距离-损耗模型; 最大似然估计

中图分类号: TN92

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2008)06-1405-04

A New WLAN Indoor Localization System Based on Distance-loss Model with Area Partition

Xu Feng-yan Li Liang-bin Wang Zong-xin

(Department of Communications Science and Engineering, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: Based on indoor RSS distance-loss model, an indoor localization system is set up with means of area partition. Parameters of the model are set by comparing the signal data recorded at several collection spots with the ideal signal value lists generated by the computer, which simulates the actual environment. Then users' location estimates can be achieved with Maximum Likelihood (ML) estimation algorithm. Experiments show the algorithm is effective and can obtain quite precise location result.

Key words: Indoor localization; Area partition; Distance-loss model; Maximum likelihood estimation

1 引言

无线通信技术的成熟和发展, 带动了许多新兴无线业务的出现, 其中很重要的一项就是无线定位服务。由于人们在移动中对位置信息的要求, 特别是出现紧急情况时需要较为确切的位置信息, 因此, 各种各样的定位系统正在得到很快的发展。

目前使用比较广泛的有全球定位系统(Global Positioning System, GPS), 其良好的定位精度解决了很多军事和民用的实际问题。但是, 当需要定位的物体位于建筑物内部, 如办公大楼内, 其定位精度就明显下降了。于是, 基于 GPS 的卫星定位系统, 人们又开发出一系列地面无线定位系统, 用以弥补 GPS 的不足。地面无线定位可以通过测量无线电波的传播时间或者信号场强、相位、入射角度等参数来实现移动目标的二维定位。目前常见的技术有红外技术、IEEE 802.11 为代表的无线局域网技术^[1]、声音系统^[2]、超声波技术和 RFID 技术。在 Ad-hoc 网络中, GPS 已经被建议作为提供定位信息的方式。在用户密度较低的室外, GPS 是较理想的选择; 但如果是密度较高的环境, 要给每一个用户增加 GPS 功能则由于过于昂贵而不切实际。尤其在环境复杂的室内, 要实现较高精度的 GPS 定位还要其他技

术支持, 所以也不易实现。

另一方面, 随着无线局域网(WLAN)技术的飞速发展和无线局域网在全世界范围内的广泛部署, 一种基于无线局域网覆盖的位置定位技术成为室内环境下位置服务研究的热点。基于无线局域网的位置服务具有设施简单、覆盖范围广、服务可集成度高等特点, 由此, 室内定位都采用了基于网络的定位方案, 它由多个基站同时接收、检测移动台发出的信号, 根据测量到的信号参数由网络对移动台进行定位估计。常用的测量方式有到达角度(AOA)、到达时间(TOA)、到达时间差(TDOA)等^[3]; 由于室内环境存在的多种反射、衍射和散射等非视距传播, 这些会严重影响测量参数的精度, 因此很难做到理想的定位。

本文基于接收信号强度(RSS)的室内距离-损耗模型, 使用了 WLAN 中的无线接入点(AP)设备, 结合其所组成的拓扑结构, 根据在一些已知位置点采集到的 AP 信号强度, 与由计算机模拟实际环境得到的信号强度值进行比较来得到模型参数; 并通过区域划分确定各个区域的模型参数。然后分析由待测用户接收到的信号功率值, 用最大似然估计得到用户位置。实测结果表明, 本方法可以获得较高的室内定位精度。

2 距离-损耗模型

研究表明, 室内路径损耗遵从以下公式^[4]:

$$(p)_{\text{dB}} = (p_0)_{\text{dB}} - 10n \lg(d/d_0) + \zeta \quad (1)$$

其中 d_0 为近地参考距离, 由测试决定; d 为 T-R 距离。 p_0 是距离为 d_0 时接收到的信号强度, p 是距离为 d 时接收到的信号强度。 n 是路径损耗指数, 表明路径损耗随距离增长的速度, 它依赖于周围环境和建筑物类型。由文献[3], 一般室内环境路径损耗指数 n 取 3-4; 本文环境中实验得到 n 为 4。 ζ 是遮蔽因子, 它是标准偏差为 σ 的正态随机变量。 ζ 与阻挡物的损耗有关, 即当传播距离相同、发射信号强度也相同时, 由于阻挡物的不同, 测到的接收信号强度会有较大的差异, 甚至相差几倍。

从上述模型可以看到, 运用此式作 d 的估计, 受到 d_0 , p_0 取值的影响。实际应用时, 很难对这两个值做出有效的定量; 这里, 通过比较实际采集到的信号值与计算机仿真获得的功率值来确定。

令式(1)中的 $d_0 = 1$, 则有:

$$10 \lg(p/p_0) = -10n \lg d + \zeta \quad (2)$$

此时, p_0 为距离发射机 1 个单位距离时接收到的信号功率值。

下面通过环境实测与计算机模拟相结合的方式来确定模型参数。

(1) 根据已经布置好的 AP 及实际环境状况, 确定几个较典型位置作为信号强度记录点, 采用接收机在这些位置采集各个 AP 的信号功率, 得到一系列 p 值(不同位置处不同 AP 的信号 p 值)。

(2) 根据(1)中 AP 的布局和实验环境, 在计算机上模拟实际环境来得到理想情况下的接收功率值:

参照(1)中的 AP 位置和信号采集点坐标, 可算得式(2)中的 d ; 实验得到 n 为 4; ζ 是一个正态随机变量, 其方差随环境变化而变化。我们的目的是要找出理想环境下的 p/p_0 值大小, 于是将方差取为 0, 即可根据式(2)用计算机仿真得到一系列 p/p_0 值。

(3) 利用仿真得到的 p/p_0 值与实际测得的 p 值相比较, 即可确定实际测试时 p_0 值。

不同环境中的 AP 存在不一样的 p_0 ; 而一个大环境下不同的子区域内各个 AP 的 p_0 也会由于实际环境的差异而有所偏差。为了提高下一步位置估计的准确性, 采取以下措施:

(1) 根据实验环境和 AP 的布置, 合理地划分整个定位空间为一个子区域; 区域划分的原则是: 每个 AP 对应一个子区域; 对于每个位置点, 它所归属的区域为其距离最近的 AP 所在的区域。

(2) 在每个子区域内都设定几个信号收集点, 分别用上述确定模型参数中的(1), (2)获得实际信号强度和计算机模拟值;

(3) 对各个区域, 根据(2)中得到的两组值用上述确定模型参数中的(3)来获得相应的 p_0 值, 对于每个 AP 都有对应的 p_0 值。

定位时, 以在该位置实际接收得到的各个 AP 信号值中最大的值对应的 AP 所在区域为其归属区域, 在下一步定位算法时则采用该区域对应的那组 p_0 值。

3 RSS 定位算法

根据以上模型及拟合得到的参数, 我们采用最大似然法(MLE)估计移动用户的位置。

设在室内有 N_1 个需定位用户和 N_2 个 AP, 并设 p_{i0} 为定位用户所在区域内 AP_{*i*} 的 p_0 值, p_{ij} 是用户 j 接收到由 AP_{*i*} 发送的信号功率值, d_{ij} 是用户 j 与 AP_{*i*} 的距离。由式(3)可得

$$10 \lg(p_{ij}/p_{i0}) = -10n \lg d_{ij} + \zeta_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, N_2, j = 1, 2, \dots, N_1 \quad (3)$$

由于 ζ 是一个正态随机变量, 遵循高斯分布, 且由式(3)得 $\zeta_{ij} = 10 \lg(p_{ij}/p_{i0}) + 10n \lg d_{ij}$, $i = 1, 2, \dots, N_2, j = 1, 2, \dots, N_1$ 。

令 $p'_{ij} = 10 \lg(p_{ij}/p_{i0})$, 则 p'_{ij} 的 PDF 为

$$f(p'_{ij} | d_{ij}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left[-\frac{(p'_{ij} + 10n \lg d_{ij})^2}{2\sigma^2}\right], \quad i = 1, 2, \dots, N_2, j = 1, 2, \dots, N_1 \quad (4)$$

由于各定位用户接收到的 AP 发送的信号互不相关, 则对第 i 个 AP, 令

$$\mathbf{P}'_i = [p'_{i1} \ p'_{i2} \ \dots \ p'_{iN_1}]^T, \quad \mathbf{D}_i = [d_{i1} \ d_{i2} \ \dots \ d_{iN_1}]^T$$

表示不同用户接收到的 AP_{*i*} 的信号强度。于是, 对于 AP_{*i*} 的似然函数为

$$f(\mathbf{P}'_i | \mathbf{D}_i) = \prod_{j=1}^{N_1} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left[-\frac{(p'_{ij} + 10n \lg d_{ij})^2}{2\sigma^2}\right], \quad i = 1, 2, \dots, N_2$$

又室内各 AP 间相互独立, 再令

$$\mathbf{P}' = \begin{bmatrix} p'_{11} & p'_{12} & \dots & p'_{1N_2} \\ p'_{21} & p'_{22} & \dots & p'_{2N_2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p'_{N_1 1} & p'_{N_1 2} & \dots & p'_{N_1 N_2} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{D}' = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1N_2} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2N_2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{N_1 1} & d_{N_1 2} & \dots & d_{N_1 N_2} \end{bmatrix}$$

表示不同用户接收到的各个 AP 的信号强度值。所以对于所有 AP, 有

$$f(\mathbf{P}' | \mathbf{D}) = \prod_{i=1}^{N_2} \prod_{j=1}^{N_1} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left[-\frac{(p'_{ij} + 10n \lg d_{ij})^2}{2\sigma^2}\right] \quad (5)$$

其对数似然函数为

$$h(\mathbf{P}' | \mathbf{D}) = h(\mathbf{P}' | (\mathbf{X}, \mathbf{Y})) = \ln f(\mathbf{P}' | \mathbf{D}) \\ = N_1 N_2 \ln \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^{N_2} \sum_{j=1}^{N_1} (p'_{ij} + 10n \lg d_{ij})^2 \quad (6)$$

由最大似然估计,

$$(\hat{\mathbf{X}}, \hat{\mathbf{Y}})_{\text{ML}} = \arg \max_{(\mathbf{X}, \mathbf{Y})} h(\mathbf{P}' | \mathbf{X}, \mathbf{Y}) \quad (7)$$

令

$$h'(\mathbf{P}' | \mathbf{D}) = \sum_{i=1}^{N_2} \sum_{j=1}^{N_1} (p'_{ij} + 10n \lg d_{ij})^2 \quad (8)$$

则有

$$(\widehat{\mathbf{X}}, \widehat{\mathbf{Y}}) = \arg \min_{(\mathbf{X}, \mathbf{Y})} h'(\mathbf{P}' | \mathbf{X}, \mathbf{Y}) \quad (9)$$

以式(9)作为目标函数, 求其取得最小值时的 (\mathbf{X}, \mathbf{Y}) , 即可获得定位用户的位置估计。

可以采用共轭梯度法来寻找目标函数的最小点, 它的寻查梯度为

$$\mathbf{g} = \left(\frac{\partial h}{\partial x_1} \quad \frac{\partial h}{\partial x_2} \quad \cdots \quad \frac{\partial h}{\partial x_{N_1}} \quad \frac{\partial h}{\partial y_1} \quad \frac{\partial h}{\partial y_2} \quad \cdots \quad \frac{\partial h}{\partial y_{N_1}} \right)$$

其中

$$\frac{\partial h}{\partial x_j} = \frac{20n}{\ln 10} \sum_{i=1}^{N_2} (p'_{ij} + 10n \lg d_{ij}) \frac{x_j - x_i}{d_{ij}^2}, \quad j=1, 2, \dots, N_1$$

$$\frac{\partial h}{\partial y_j} = \frac{20n}{\ln 10} \sum_{i=1}^{N_2} (p'_{ij} + 10n \lg d_{ij}) \frac{y_j - y_i}{d_{ij}^2}, \quad j=1, 2, \dots, N_1$$

而

$$d_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}, \quad i=1, 2, \dots, N_2, j=1, 2, \dots, N_1 \quad (10)$$

对于每一组 AP 和需定位用户, 为了消除环境中快衰落的影响, 可以通过每隔 Δt 采样一次, 从时间上多次采样来提高采样值的有效性^[5]。

4 实验结果

下面通过实验来检测该算法的有效性。

实验环境具体格局见图 1, 面积约为 $31\text{m} \times 26\text{m}$ 。无线 AP 采用 TP-Link, 信号强度通过 Dell Latitude x300 内置 Intel® PRO/Wireless 2200BG Network Connection 无线网卡收集。

根据 AP 的布局将整个环境进行区域划分, 分别测定对应的各 AP 的 p_0 值。

如图 1, 均匀地在已划分好的各个区域内设置一系列信号收集点, 记录下信号序列值。然后在计算机上模拟该环境: 参照实际环境设置 AP 位置和信号收集点坐标, 模拟中取 n 为 4, ζ 的方差设为 0, 根据式(2)获得理想环境下的信号强度序列值。将两者比较, 即可获得不同收集点对应的各 AP 的 p_0 值。

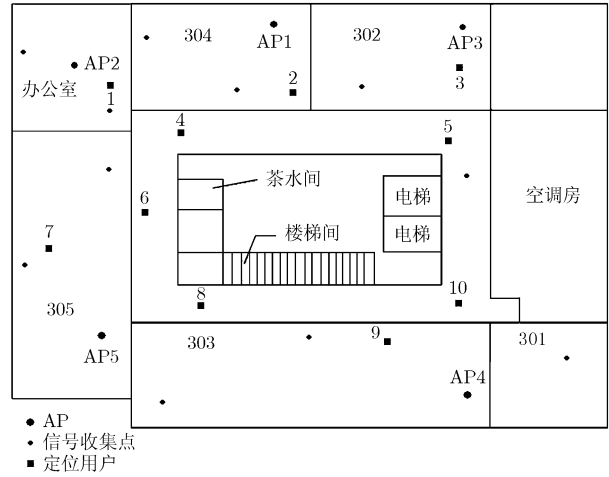


图 1 实验环境(楼层环境)

在获得以上参数后, 开始对用户进行定位。如图 1 中的定位用户 4, 采集该处各 AP 信号功率值, 我们发现获得的 AP2 的信号值最大, 所以将它归入 AP2 的区域, 将对应该区域的各 AP 的 p_0 值及采集信号数值代入到目标函数式(9), 然后遍历整个实验环境, 得到图 2 所示目标函数值的分布情况。

根据图 2, 可获得用户的位置估计结果为(11,9), 与实际位置的估计偏差约为 0.5m, 因此是比较理想的。

表 1 所列的是图 1 中 10 个定位用户位置估计结果。

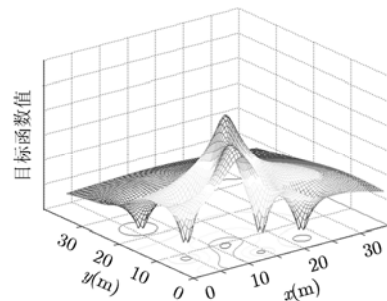


图 2 不同室内位置与似然函数值的关系

表 1 用户定位结果 (单位: m)

| 定位用户 | 真实位置(x,y) | 估计位置(x,y) | 位置估计偏差 | 定位用户 | 真实位置(x,y) | 估计位置(x,y) | 位置估计偏差 |
|------|-----------|------------|--------|------|-----------|-------------|--------|
| 1 | (5,4) | (5.5,4.5) | 0.7 | 6 | (6,12) | (5,11) | 1.4 |
| 2 | (14,5) | (13.8,5.5) | 0.53 | 7 | (2,14) | (2,14.5) | 0.5 |
| 3 | (23,3) | (22,3) | 1.0 | 8 | (9,18) | (8.4,17.8) | 0.6 |
| 4 | (11,8) | (11.2,8.5) | 0.5 | 9 | (19,20) | (19.1,20.4) | 0.4 |
| 5 | (22,8) | (23.7,8) | 1.0 | 10 | (23,18) | (22.7,17.2) | 0.85 |

由表1可见,用户位置估计偏差基本在1m左右,其中几个效果较好的点的估计偏差小于等于0.5m。

5 结束语

采用本文提出的距离-损耗模型进行室内用户定位,在合理的区域划分和确定参数以后,可以获得较为精确的位置估计,实验结果证明了此方法的有效性。本系统可以利用现有的无线局域网设备,仅需要增加相应的信息分析服务器以完成定位信息的分析即可获得需定位用户的位置估计,且计算过程简便,易于实现,所以有一定的实用价值。

参考文献

- [1] Wassi G I, Despins C, and Grenier D, *et al.*. Indoor location using received signal strength of IEEE 802.11b access point [C]. Canadian Conference Electrical and Computer Engineering, Saskatoon, Canada, 2005: 1371-1374.
 - [2] Mandal A, Lopes C V, and Givargis T, *et al.*. Beep: 3D indoor positioning using audible sound. IEEE Consumer Communications and Networking Conference, Las Vegas, Nevada, USA, 2005: 348-353.
 - [3] Yamasaki R, Ogino A, and Tamaki T, *et al.*. TDOA location system for IEEE 802.11b WLAN [C]. IEEE Wireless Communications and Networking Conference, New Orleans, LA, USA, 2005: 2338-2343.
 - [4] Rappaport T S. Wireless Communications Principles and Practices Second Edition [M]. Beijing, Publishing House of Electronics Industry, 2004, 93. Original publisher, Prentice Hall Inc., a Simon Schuster.
 - [5] Masato Aso, Takahiko Saikawa, and Takeshi Hattori. Maximum likelihood location estimation using signal strength and the mobile station velocity in cellular systems [C]. Vehicular Technology Conference, Orlando, Florida, USA, 2003: 742-746.
- 徐凤燕: 女, 1982年生, 硕士生, 研究方向为WLAN的多用户定位算法等。
- 李襟宾: 男, 1982年生, 硕士生, 研究方向为多天线信号处理等。
- 王宗欣: 男, 1940年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为无线通信系统中的信号处理等。