

# 基于 802.11 的室内定位算法研究

王春东<sup>1,2</sup>, 王秀峰<sup>1</sup>

(1. 南开大学信息科学技术学院, 天津 300071; 2. 天津理工大学计算机科学与工程系, 天津 300191)

**摘要:**研究了在基于 802.11 的系统中, 如何通过信号强度进行移动设备的室内定位。在研究并实现最大群中心定位算法 MCCPA 的基础之上, 给出了一种利用移动终端的历史位置信息对定位结果进行修正的室内定位算法(MMCCPA)。其主要思想是, 在给定前一时间使用者所在位置的条件下, 将使用者出现在特定范围的概率列入考量加以修正, 并作为对环境因素影响的调整, 这样不仅减少计算量, 而且明显提高了位置估算的正确率。

**关键词:**无线网络; 信号强度; 定位算法; 802.11; 历史记录

## Research on 802.11-based Indoor Positioning Algorithm

WANG Chundong<sup>1,2</sup>, WANG Xiufeng<sup>1</sup>

(1. College of Information Science Technology, Nankai University, Tianjin 300071;

2. Dept. of Computer Science & Engineering, Tianjin University of Technology, Tianjin 300191)

**【Abstract】** This paper focuses on how to position the mobile device indoor by using signal strength in 802.11-based system. It introduces a 802.11-based positioning system called the maximal cluster centered positioning algorithm (MCCPA). The MCCP system locates mobile objects via collecting the sensed power strengths of the mobile objects to multiple wireless access points. Based on realizing MCCPA, the paper gives a new algorithm named MMCCPA to correct the positioning results by using the history record information of mobile devices. The main idea of MMCCPA is that it also considers the probability of users' appearance in the specific area in order to correct results, as an adjustment to the environment factors, so as to increase the preciseness and decrease the count quantity. The experimental results show that the location information provided by MMCCPA assures higher correctness than MCCPA.

**【Key words】** Wireless networks; Signal strength; Positioning algorithm; 802.11; History record

随着无线网络的发展与普及, 出现了不少与定位相关的技术和应用<sup>[1,2]</sup>, 特别是在Context-aware<sup>[3]</sup>应用方面。就定位技术的研究现状而言, 室内定位由于障碍物的影响较为复杂, 信号精准度较低, 因此难度较高。室外定位主要利用通信系统或全球化定位系统(GPS)<sup>[5]</sup>所提供相关的位置信息<sup>[4]</sup>。GPS已经是一套普遍应用的成熟室外定位技术, 然而对于室内的定位, 由于GPS系统的标准误差相对于较小的室内环境来说比较大, 精度难以满足实际要求, 同时由于室内环境信号受到遮蔽, 定位精度受到更大影响, 因此在室内使用GPS变得十分困难。另外一个应用于室外定位的蜂窝系统也存在类似的缺点。因此发展一套精确的室内定位系统是非常必要的。

### 1 移动定位技术分析

应用于移动计算环境的定位技术可以大致分成 3 类。第 1 类应用了到达时间 (Time of Arrival, TOA)或到达时间差 (Time Difference of Arrival, TDOA)方案来定位移动终端。TOA 和 TDOA 的原理是根据信号在空中的传播时间估计接收者和各个发送者的距离, 然后通过其中 3 个发送者的位置计算出接收者的位置。第 2 种方案应用了到达角度 (Angle of Arrival, AOA)方案来定位移动终端。AOA 的原理是首先估计信号到达的角度, 然后通过每一个接收者的已知位置和接收信号的到达角度计算出发送者的位置。最后一个方案利用了发送者周围信号强度的变化来定位移动终端 RSS(Received Signal Strength)。

虽然 TOA 和 TDOA 定位准确, 但为了保证完美的同步,

这些定位技术通常需要发送者配备一个非常准确的同步时钟。另外, 发送者之间的距离需要非常远来保证定位信号到达时间可以被区分。以上局限使得 TOA 和 TDOA 不适合室内定位。另外, AOA 方法同样需要发送者能够检测到达信号的角度。这同样需要接入点配备例如智能天线的专门的功能部件。另外, 诸如墙壁、柱子等室内环境引起的反射问题经常产生不准确的定位结果。

基于RSS的方法最大的优势就是容易配置。在各种支持 802.11 协议的网络中, 都可以在移动终端获取到各个AP的信号强度。如果能够根据这些信息进行定位, 那么这种方法无疑最为经济。基于信号强度定位的RSS方法最主要的弊病在于信号强度往往随着环境而变, 尤其是在室内环境中此效应更为显著。MCCPA<sup>[1]</sup>方法就是基于RSS的方法。

### 2 MCCPA 方法

#### 2.1 MCCPA 概述

同许多根据信号强度进行定位的方法一样, MCCPA 需要首先在数据库中记录特定位置参考点的信号强度, 然后将实测信号强度同数据库中的数值进行比较, 从而计算出被测物体最有可能位于的地点。MCCPA 方法最大的优势在于它充分利用了数据库信息, 先确定被测点所在的区域, 然后再

**基金项目:**天津市高等学校科技发展基金资助项目(20041615)

**作者简介:**王春东(1969-), 男, 副教授、博士生, 主研方向: 普适计算, 控制理论, 现代远程教育; 王秀峰, 教授、博导

**收稿日期:** 2006-07-23 **E-mail:** michael3769@163.com

确定被测点的具体位置。

## 2.2 MCCPA 的定位原理

MCCPA 最重要的概念是引入了定位支持线的概念。两个相邻参考点通过一条线连接，如果移动终端测到的信号强度大于其中一个参考点而小于另外一个，那么这条线就称为接入点的定位支持线。

图 1 显示了 3 个接入点的定位支持情况。理论上说，距离移动终端最近的 4 个参考点组成的矩形中至少有 6 条定位支持线。另外，图 1 揭示了移动终端附近区域的定位支持线比其它地区密集的现象。

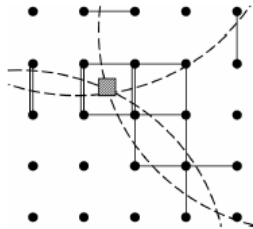


图 1 3 个接入点的定位支持

## 3 利用历史路径信息对定位结果进行修正

### 3.1 修正方法概述

对计算结果通过历史路径进行修正，即在给定前一时间使用者所在位置的情况下，使用者出现在特定范围的概率列入考量加以修正，作为环境因素的调整。这种修正有以下优点：

#### (1) 加快计算速度

假设移动终端在  $t_k$  时刻位于  $p_k$ ，且移动终端的最大移动速度为  $v$ 。那么可以假设移动终端在  $t_{k+1}$  时刻位于以  $p_k$  为圆心， $v(t_{k+1}-t_k)$  为半径的圆周内。从而可以缩小需要计算的数据的范围。

#### (2) 提高计算精度

对于影响待测物体位置的因素考虑得越全面，定位结果就会更加准确。通过历史路径进行修正，可以假设物体当前更有可能处于的位置，从而提高定位的性能。

### 3.2 通过历史路径信息进行修正的原理

首先记录使用者在前面几次移动位置的轨迹，每次系统都维持记录使用者前  $h$  回合的位置，称之为改良的快速算法 (Modified Viterbi Algorithm)<sup>[6]</sup>。经过  $h$  回合后，便可得出一组概率值，最大的概率值就是系统宣称使用者所在的位置。对于  $t$  时刻移动终端的  $n$  个待选位置  $P_i(t)$  ( $i=1, \dots, n$ )，首先计算在给定当前接收到的信号强度条件下，使用者最可能位于位置  $P_i(t)$  的概率；然后计算在已知前  $t-1, t-2, \dots, t-h$  时间点下使用者的位置，估算出使用者在  $P_i(t)$  的概率。将这两个概率的乘积最大的  $P_i(t)$  值作为估计值，并将结果插入历史记录，同时删除最早的记录，使得整个记录维持在  $h$  笔。

#### (1) 已知信号强度计算待测位置的条件概率

根据 MCCPA 的原理，可以定义计算条件概率的公式为  $P(x)$ ，其中  $x$  是每个子群包含的定位支持线的数量。并且  $P$  与  $x$  成正比。可以根据实际情况或测量将  $P$  定义为  $x$  的多项式函数、指数函数或对数函数。

#### (2) 已知历史记录信息计算待测位置的条件概率

假设：使用者移动方式通常在“前进”、“转弯”或“停留”的时间会远高于“后退”的时间。基于这个假设，可以透过  $P_{t-1}$  与  $P_{t-2}$  两点连线的法线  $L1$  将地图切割成前进与后退方向，则  $P_t$  以概率  $a$  与  $(1-a)$  分别位于两个部分。同理，为了提

供精度，还可以利用  $P_{t-3}$  的位置信息，将  $P_{t-1}$  与  $P_{t-3}$  两点连线的法线  $L2$  分成的 2 个部分进一步分为 4 个部分。则  $P_t$  位于这 4 个部分的概率分别为  $a\beta$ 、 $(1-a)\beta$ 、 $a(1-\beta)$ 、 $(1-a)(1-\beta)$ 。其中  $a$  与  $\beta$  透过实地测量方可得知。以此类推，如果需要计算  $h$  个点的历史纪录，则可将地图划分为  $2^h$  个区域。然而， $h$  的大小关系到本算法的正确性，因此直接影响定位系统的精准程度，同时  $h$  愈大会造成时间间隔愈长。可以根据实际情况或不断的测试找到最佳的  $h$  值。

### 3.3 加入历史记录信息修正的 MMCCPA 定位过程

**定义 1** 二元组  $(b_1, \mu_1)$  表示移动终端  $\lambda$  测量到的接入点  $b_1$  的信号强度为  $\mu_1$ 。那么对于接入点序列  $B = \langle b_1, \dots, b_n \rangle$ ， $\lambda$  测量的信号强度表示为  $\langle (b_1, \mu_1), \dots, (b_n, \mu_n) \rangle$ 。

**定义 2**  $V_B =$  接入点  $b_1, \dots, b_n$  服务区域内的所有参考点集合。

**定义 3**  $E_B = \{(u, v) \mid u, v \text{ 是 } V_B \text{ 中两个邻近的参考点}\}$ 。对每一个  $e = (u, v) \in E_B$ ，如果存在  $k$  个接入点  $b_{\pi(1)}, \dots, b_{\pi(k)}$ ，对于所有的  $1 \leq i \leq k$ ， $\max(\mu(b_{\pi(i)}, u), \mu(b_{\pi(i)}, v)) \geq \mu_{\pi(i)} \geq \min(\mu(b_{\pi(i)}, u), \mu(b_{\pi(i)}, v))$ ，那么  $W_{(B, X)}(e) = k$ 。

**定义 4**  $G_{(B, X)} = \langle V_B, E_B, W_{(B, X)} \rangle$ 。

**定义 5** 群  $C$  为  $G_{(B, X)}$  的一个子图  $\langle V_C, E_C \rangle$ ，满足对每一个  $e \in E_C$ ， $W_{(B, X)}(e) \geq 1$ ，且不存在  $e = (u, v) \notin E_C$ ， $W_{(B, X)}(e) \geq 1$ ， $u \in V_C$  并且  $v \notin V_C$ 。也就是说，一个群是所有边的权值都大于 0 的最大子图。

基于以上的定义与假设，加入历史记录信息修正的 MMCCPA 定位过程如下：

- Step1 从信号强度序列  $\langle (b_1, \mu_1), \dots, (b_n, \mu_n) \rangle$  中得到  $B = \langle b_1, \dots, b_n \rangle$ ；
- Step2 从数据库中查询集合  $V_B$  和  $E_B$ ；
- Step3 设上次测量时间为  $t_{k-1}$ ，当前时间为  $t_k$ ，移动终端在  $t_{k-1}$  时刻位于  $p_{k-1}$ ，且移动终端的最大移动速度为  $v$ 。那么对每一个  $e \in E_B$ ，且  $e$  位于以  $p_{k-1}$  为圆心， $v(t_k - t_{k-1})$  为半径的圆周内，计算权值  $W_{(B, X)}(e)$ ；
- Step4 生成  $G_{(B, X)}$  中所有的群；
- Step5 对  $G_{(B, X)}$  中每一个群  $C = \langle V_C, E_C \rangle$ ，计算  $W_C = \sum_{e \in E_C} W_{(B, X)}(e)$ ；

根据  $P(x)$  计算已知信号强度的条件下，待测物体位于每个子群的概率  $P(W_C)$ ；

Step6 根据  $h$  个历史记录，计算已知历史位置的条件下，待测物体位于每个子群的概率；

Step7 将 Step5 和 Step6 得到的概率相乘，取具有最大概率乘积的子群  $MC$ 。如果  $MC$  只包含一个群，定义  $MDC = MC$ ，执行 Step9，否则执行 Step8；

Step8 定义  $MDC = \{C \in MC \mid \text{任意 } D \in MC, \|V_C\| \leq \|V_D\|\}$ ， $\|V_C\|$  是  $V_C$  中元素的个数；

Step9 随机从  $MDC$  中选择一个元素  $C$ ，接着计算  $C$  的重心  $P_x$ ；

Step10 返回  $P_x$  并终止这次过程。

## 4 实验设计与实验结果

定位算法的性能是由定位误差距离和区域区分正确性两个标准来度量。误差距离被定义为定位系统计算出来的位置与移动设备或用户的实际位置之间的空间距离差。

实验在天津理工大学计算机系 6 楼进行，其中 5 楼放置 2 个 AP，6 楼放置 1 个 AP。将整个环境区域范围分为 11 个小区域：房间 601~609，走廊和大厅。实验中，在整个区域范围中定义了 220 参考点。对于每一个参考点测量 100 次信号强度并存储其平均值，然后从中选择 104 个测试点，每个

(下转第 126 页)