

无线传感器网络中基于聚类平均的定位算法

侯亚娜, 胡维平

(广西师范大学 电子工程学院, 广西 桂林 541001)

摘要: 为改善复杂环境下传感器网络基于 RSSI 定位算法精度, 分析了复杂环境下影响定位精度的主要因素, 提出了一种基于空域平均的思路, 即对相似传播模式各节点 RSSI 值进行平均以减轻随机衰落的影响, 并给出了具体算法描述。仿真结果表明, 在复杂传播环境下, 该算法具有定位精度高、抗干扰鲁棒性强, 对锚点数量需求更少的性能优势。

关键词: 传感器网络; 接收信号强度; 衰落; 定位精度

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2010)04-1455-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.04.069

Localization algorithm based on clustering average in wireless sensor networks

HOU Ya-na, HU Wei-ping

(College of Electronics Engineering, Guangxi Normal University, Guilin Guangxi 541001, China)

Abstract: To improve the RSSI-based localization algorithm accuracy of wireless sensor networks in complex environments, this paper analyzed the primary factors which affected localization accuracy in complex environments, proposed the idea based on space average, which was to mitigate the random fading influence on localization accuracy by using the average RSSI of nodes in similar propagation mode, also discussed the whole algorithm in detail. The simulation results prove this algorithm's performances of higher localization accuracy, better robust and less anchor node requirements in complex propagation environments.

Key words: wireless sensor networks(WSN); RSSI; fading; localization accuracy

0 引言

无线传感器网络(wireless sensor networks, WSN)的产生和发展,使之日益成为一种全新的信息获取平台,在军事、环境、健康、家庭等领域都有着广泛的应用前景。位置信息对传感器网络的监测活动至关重要,没有位置的监测消息毫无意义,并且可利用网络中各节点位置信息,减少多余的路由广播对带宽和能量的大量无谓消耗^[1]。

定位的基本方法分为距离式定位和非距离式定位^[2]。非距离式定位主要以 DV-hop、MDS-MAP 为代表,这类算法是通过节点间通信的连接关系,如跳数或估计跳距来粗略估算节点位置,不需要测量距离或角度,对节点硬件要求低,算法简单但精度不高。

距离式定位相对非距离式定位而言,定位精度有很大提高,因而成为很受关注的热门技术。此类方法主要通过 GPS 直接定位,或者基于接收信号强度(RSSI)测距^[3]、基于 TOA 和 AOA 测距等进行位置估计。其中 GPS 定位、TOA 和 AOA 测距方法分别需要节点配备 GPS 接收机、同步时钟系统和天线阵列,大幅增加了节点的尺寸和硬件复杂度。基于 RSSI 测距方法利用已知发射信号强度,接收节点根据收到的信号强度,计算信号在传播过程中的损耗,使用理论或经验的信号传

播模型将传播损耗转换为距离,理论上再通过三个锚节点的 RSSI 信息就可用三边测量等方法决定一个未知节点的位置。基于 RSSI 测距仅需利用商用通信芯片具备的基本功能,无须增加额外硬件,但复杂环境下 RSSI 测量值具有随机性,与理论值有较大偏差,直接影响了 RSSI 测距方法的定位精度^[4]。文献[5~8]中各项研究工作思路都在于降低 RSSI 实测值的随机性对定位精度的影响。其中,文献[5]通过校正 RSSI 测距测量的节点间的距离,并优选锚节点,取得更好的定位性能;文献[6]通过对 RSSI 测距过程中产生的距离误差进行分析,推导出未知节点和锚点在某种分布关系下未知节点的距离误差最小,以控制定位误差;文献[7]提出利用锚点之间的距离和 RSSI 值来校正移动节点与每个锚点之间的权值,通过校准的加权值得到节点位置;文献[8]则采用时域的加权平均消除环境因素对 RSSI 测量的影响,提高了算法的定位精度。

本文主要工作包括:首先明确了复杂环境下电波沿各个路径传播的模式不同,不能用相同模式表示所有路径上 RSSI 值与距离的关系;在此基础上提出了传播模式相似度的概念并引入数学描述,通过寻找传播模式相似度足够大的节点组成聚类群,并对聚类群内各节点 RSSI 值取平均得到减轻了随机性的对应传播模式路径损耗系数,同时减轻小尺度随机衰落的影响,最终提高定位精度。

收稿日期: 2009-08-25; 修回日期: 2009-10-09

作者简介:侯亚娜(1980-),女,湖南郴州人,硕士研究生,主要研究方向为移动通信及自组织网络(eeynh@163.com);胡维平(1967-),男,广西桂林人,教授,主要研究方向为通信网络、信号处理。

1 复杂环境下 RSSI 测距精度问题及改进思路

1.1 影响 RSSI 测距精度的原因

当节点驶离信源时实际测量的典型接收信号强度如图 1 实线所示,如果对接收信号强度在一定空间距离上取平均,可以得到接收信号强度均值^[9],如图 1 虚线所示。

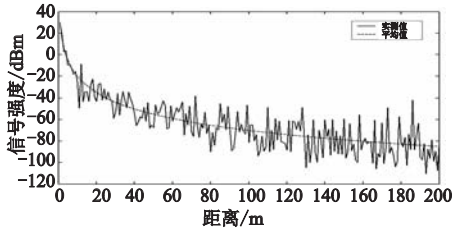


图1 RSSI的实测值和平均值

理论和测量都表明,接收信号强度均值随着距离的增加而按对数规律减小,用公式可以表示为

$$RSSI(d) = A - 10n \log_{10}(d/d_0) \quad (1)$$

其中: n 为路径损耗系数; d_0 为参考距离; A 为参考距离上的信号强度,当发射功率不变的情况下,可视为常数。

路径损耗系数 n 表征了无线信号在传播路径上受到的大尺度损耗特性。一般而言,这种特性由具体传播路径上各种障碍物对电磁波的衰减作用所决定。

在实际环境中,无线信道受到由环境因素带来的反射、绕射、多径、阴影等影响,接收信号强度会在距离几十个波长的小尺度上在均值附近经历随机变化,如果考虑这些变化,RSSI 在式(1)的基础上可以进一步表示为

$$RSSI(d) = A - 10n \log_{10}(d/d_0) + X_{\sigma} \quad (2)$$

其中: X_{σ} 是一个零均值的高斯分布随机变量(以 dB 计),其标准差为 σ ,用于表征上述各种由具体环境因素决定的小尺度衰落作用^[10]。

路径损耗系数 n 和小尺度衰落变量 X_{σ} 分别刻画了具体无线信道上环境对 RSSI 的两种不同影响。因此,可以用 $\{n, X_{\sigma}\}$ 表示具体无线信道上环境因素决定的传播模式。

由式(2)可得出 RSSI 测距式:

$$d = d_0 \cdot 10^{\frac{X_{\sigma} - RSSI(d) + A}{10n}} \quad (3)$$

由上文分析结合式(3)可以得出复杂环境下大多数 RSSI 测距方法的定位精度不高主要是未考虑以下两个因素:

a) 路径损耗系数 n 是由传播路径上环境因素决定的,严格说来,不同传播路径上 n 的取值是不同的,以相同 n 的取值估算距离必然带来误差;

b) 未充分考虑并有效消除小尺度衰落变量 X_{σ} 对测距精度的干扰。

1.2 基于聚类平均的改进思路

围绕解决以上两方面问题,考虑一种可行的思路:定义在相似环境因素影响下的多个位置足够近节点组成的集合为传播模式相似聚类群,对群内各成员的 RSSI 值取统计平均,能较大程度上消除小尺度衰落变量 X_{σ} ,并较准确得到此类传播模式下 n 的取值。理论分析如下:节点位置足够近,可认为式(3)中 d 几乎相等;多个节点处于相似环境下,意味着这些节点到目标点的传播路径模式 $\{n, X_{\sigma}\}$ 均相似,即可认为:在这些节点到目标点的传播路径上,所有路径损耗系数 n 几乎取相同

值,所有小尺度衰落变量 X_{σ} 服从均值为 0、标准差 σ 取值几乎相同的同一高斯分布。在这种情况下,对各个传播路径上的 RSSI 值取平均值,可得

$$\begin{aligned} \frac{1}{N} \sum_i RSSI_i &= \frac{1}{N} \sum_i (A_i - 10n_i \log_{10}(d_i/d_0) + X_{\sigma i}) = \\ &= \frac{1}{N} \sum_i A_i - \frac{1}{N} \sum_i 10n_i \log_{10}(d_i/d_0) + \frac{1}{N} \sum_i X_{\sigma i} \end{aligned} \quad (4)$$

根据上述分析,因为 N 个节点所处传播模式相似,所以对于所有 i, A_i 为常数, d_i 几乎相等, n_i 几乎相等, $X_{\sigma i}$ 几乎服从同一分布,故有

$$\frac{1}{N} \sum_i A_i = A \quad (5)$$

$$\frac{1}{N} \sum_i 10n_i \log_{10}(d_i/d_0) \rightarrow 10n \log_{10}(d/d_0) \quad (6)$$

$$\frac{1}{N} \sum_i X_{\sigma i} \rightarrow 0 \quad (7)$$

联立式(4)~(7)可得

$$\frac{1}{N} \sum_i RSSI_i \rightarrow 10n \log_{10}(d/d_0) \quad (8)$$

由式(8)看出,对聚类群内各成员的 RSSI 值取统计平均,在统计意义上可以消除小尺度衰落变量 X_{σ} 的影响,并得到此种传播模式下路径损耗系数 n 的取值。本质上这是一种采用空域平均消除随机性的思路。利用基于式(8)得到的 RSSI 均值进行距离估计,性能显然较优。

2 改进算法描述

为评价节点间的传播环境近似程度,引入文献[11]提出的任意两个节点 A, B 的 RSSI 相似度:

$$\text{sim}(A, B) = \frac{1}{R_{AB}} \cdot \frac{\sum_i R_{Ai} R_{Bi}}{\sqrt{\sum_i R_{Ai}^2 \sum_i R_{Bi}^2}} \quad (9)$$

其中: R_{Ai} 和 R_{Bi} 分别是节点 A, B 从相同的 N 个节点中第 i 个节点接收到的 RSSI 值; R_{AB} 为节点 A 接收到 B 的 RSSI 值。式(9)第一项代表节点 A, B 距离的接近程度,第二项为对 A, B 两节点接收到相同的 N 个节点 RSSI 值取相关运算,此值较大表示影响 A, B 两节点的传播模式相似度大,即模式 $\{n, X_{\sigma}\}$ 相似,意味着 n 值近似相同, X_{σ} 近似服从参数相同的高斯分布。

在不影响算法适用于多跳网络的前提下,为描述简单起见,后续讨论均假设全网所有锚节点在相互单跳范围内、多个节点组网过程中。聚类群形成的流程步骤如图 2 所示。

聚类平均算法本质上属于旨在消除复杂环境下衰落对 RSSI 值的随机性影响的基础性算法,在聚类平均得到 RSSI 估算值后,可以与各种有效的后续处理策略相组合,这里选用质心法与之组合形成完整的定位算法,具体流程步骤如图 3 所示。

3 算法仿真

为考察聚类平均网络定位算法的各项性能,在 MATLAB 中依据式(2)模拟复杂的无线传播环境,其中区域尺寸为 $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$,节点总数 100 个,所有锚节点随机分布在区域内,每组仿真参数在不同锚节点分布样本下运行 200 次,结果取 200 次的平均值。

为考察算法性能,选用 RSSI 质心法、优选信标法^[5]、RSSI 校验法^[7]三种典型的基于 RSSI 测距算法作为参照。通过仿真实验,讨论在路径损耗系数 n 、小尺度衰落影响变量 X_{σ} 及锚节

点数量比例取不同值的情况下,聚类平均算法与三种算法的定位误差的变化趋势及对比,并得出结论。

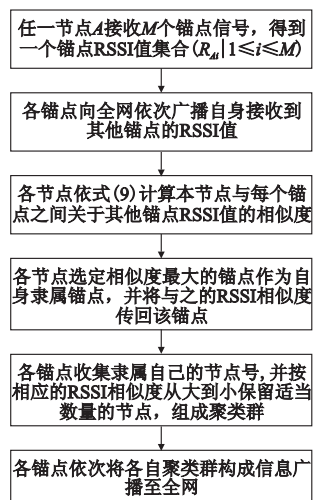


图2 聚类群构成算法流程图

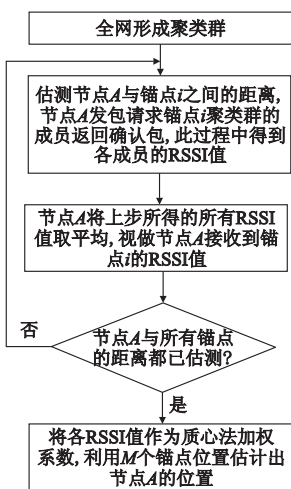


图3 聚类平均质心算法流程图

实验1 设置 $X_{\sigma} \sim N(0,3)$, 锚点数设为 5, 并参考文献 [6] 对路径损耗系数 n 取值的讨论, 考察路径损耗系数 $n \sim N(4, \sigma^2)$, 其中 σ^2 在 [1, 10] 内取不同值时两种算法的定位误差情况。图 4 显示了仿真结果。由图 4 可见, 随着路径损耗系数 n 方差的增大, 四种算法的定位误差都相应增大, 这是因为较大的 n 方差意味着传播环境在大尺度衰落方面的复杂程度。由仿真结果对比看出, 聚类平均算法性能稳定, 定位误差始终小于三种对比算法, 说明聚类平均算法在适应复杂的大尺度衰落传播环境方面的优势。

实验2 为考察定位误差随小尺度衰落变量 X_{σ} 的方差变化情况, 固定 $n=4$, 设置 $X_{\sigma} \sim N(0, \sigma^2)$, 参考文献 [12], σ^2 取值由 1 递增至 10, 代表传播环境在小尺度衰落方面复杂程度增加, 图 5 给出了两种算法的定位误差。图中四种定位误差在环境小尺度衰落复杂程度增大时相应增加, 表现复杂环境对定位误差的影响。但由图 5 曲线对比看出, 聚类平均算法定位误差始终小于三种对比算法, 说明聚类平均算法能稳定工作于复杂的小尺度损耗传播环境中。

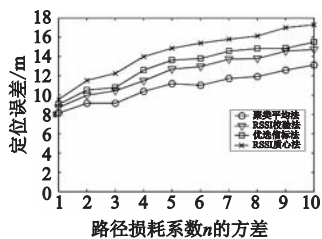


图4 路径损耗系数n的方差对定位误差的影响

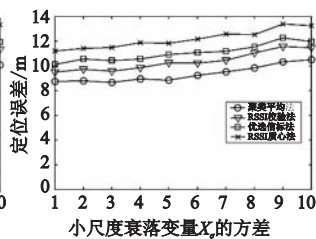


图5 小尺度衰落变量Xσ的方差对定位误差的影响

实验3 为讨论两种算法在不同锚节点数量比例情况下的定位性能, 设置 $n=4$, $X_{\sigma} \sim N(0,3)$, 锚点数量由 3 变化至 15, 相应的锚节点数量比例为 3% ~ 15%, 图 6 给出了对应情况下四种算法的定位误差。随着锚节点数量比例的增加, 四种算法定位精度均在递增, 说明锚点数量的增加对网络定位精度的提高是有益的。考虑到设置锚点在各方面的困难和较大开销, 工程中往往希望利用尽量少的锚点数量获取足够的定位精度。从图 6 仿真结果可见, 同样锚节点数量比例情况下, 聚类平均算法定位性能始终优于三种对比算法, 证明了聚类平均算法更适用于锚点数量较少的网络环境。

4 结束语

本文在考察复杂无线传播环境不同尺度随机衰落的基础上, 分析了影响基于 RSSI 的 WSN 网络定位精度的主要因素, 并针对性地提出了基于聚类平均的定位算法。该方法通过搜寻并利用处于相似传播模式下的各节点, 采用 RSSI 平均方法消除随机衰落对网络定位性能的不利影响, 本质上是利用空域的平均消除随机性。仿真结果表明, 在复杂的传播环境下, 聚类平均算法的定位精度较好, 抗干扰鲁棒性高, 且可适用于锚点数量更少的环境。作为旨在消除复杂环境下衰落对 RSSI 值的随机性影响的基础性算法, 聚类平均算法如与更优的后续处理策略相组合有望产生更好的性能, 这也是本研究后续工作的重点。

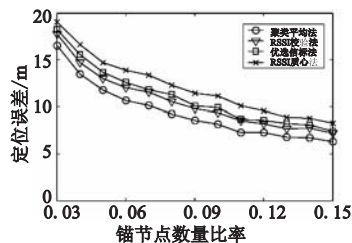


图6 锚节点数量比率对定位误差的影响

参考文献:

- [1] SAVARESE C, RABAEY J M, BEUTEL J. Locating in distributed Ad hoc wireless sensor network [C]//Proc of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal. Salt Lake: IEEE Signal Processing Society, 2001: 2037- 2040.
- [2] HE T, HUANG C D, BLUM B M, et al. Range-free localization schemes in large scale sensor networks [C]//Proc of the 9th Annual Int'l Conference on Mobile Computing and Networking. San Diego: ACM Press, 2003: 81- 95.
- [3] BAHL P, PADMANABHAN V N. RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system [C]//Proc of the IEEE INFOCOM. Tel Aviv: IEEE Computer and Communications Societies, 2000: 775- 784.
- [4] MEGUERDICHIAN S, SLJEPCEVIC S, KARRYAN V, et al. Localized algorithms in wireless Ad hoc networks: location discovery and sensor exposure [C]//Proc of the 2nd ACM Int'l Symposium on Mobile Ad hoc Networking & Computing. Long Beach: ACM Press, 2001: 1337- 1340.
- [5] 赵昭, 陈小惠. 无线传感器网络中基于 RSSI 的改进定位算法 [J]. 传感技术学报, 2009, 22(3): 391- 394.
- [6] 周艳. 基于 RSSI 测距的传感器网络定位算法研究 [J]. 计算机科学, 2009, 36(4): 119- 121.
- [7] 汪场, 黄刘生, 肖明军, 等. 一种基于 RSSI 校验的无线传感器网络节点定位算法 [J]. 小型微型计算机系统, 2009, 30(1): 59- 62.
- [8] 方震, 赵湛, 郭鹏, 等. 基于 RSSI 测距分析 [J]. 传感技术学报, 2007, 20(11): 2526- 2530.
- [9] VANDERVEEN M C. Estimation of parametric channel models in wireless communication networks [D]. California: Stanford University, 1998.
- [10] ALIPPI C, VANINI G. Wireless sensor networks and radio localization: a metrological analysis of the MICA2 received signal strength indicator [C]//Proc of the 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks. Italy: IEEE, 2004: 16- 18.
- [11] 杨东勇, 顾东袁, 傅晓婕. 一种基于 RSSI 相似度的室内定位算法 [J]. 传感技术学报, 2009, 22(2): 264- 268.
- [12] 王珊珊, 殷建平, 蔡志平, 等. 基于 RSSI 的无线传感器网络节点自身定位算法 [J]. 计算机研究与发展, 2008, 45(Suppl): 385- 388.