

# 基于 RSSI 的无线传感网络协同定位算法及其应用\*

毛利洋, 林秀晶, 邵开来, 季才力  
(浙江工业大学 信息工程学院, 浙江 杭州 310023)

**摘要:**为了解决传统无线传感网络(WSN)中定位方法精度不高的问题,将协同定位的技术应用到无线传感网络的定位中。首先,通过对盲节点与参考节点的距离关系的分析,初步确定了盲节点区域;然后利用接收信号强度指示(RSSI)测距技术建立了盲节点之间的相对位置关系,并应用盲节点的相对位置关系多次迭代缩小盲节点区域,精确盲节点位置;在此基础上,提出了基于 RSSI 的无线传感网络协同定位算法。在 Zigbee 平台上对该算法进行了技术评价,与传统定位方法进行了对比实验,实验结果表明,基于 RSSI 的无线传感网络协同定位算法具有一定的精度优势,特别是当参考节点数目较少时,这种优势比较明显,具有良好的应用前景。

**关键词:**协同定位;无线传感网络;Zigbee 技术;接收信号强度

中图分类号: TN92

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2012)01-0116-04

## Cooperative location algorithm in WSN based on RSSI and its application

MAO Li-yang, LIN Xiu-jing, SHAO Kai-lai, JI Cai-li

(College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

**Abstract:** In order to enhance the precision of wireless location in the traditional wireless sensor network(WSN), a cooperative location algorithm used in the WSN was investigated. After the analysis of the distance between blind nodes and reference nodes, the blind nodes area initially took shape. Then the distance among blind nodes was established by using the received signal strength indication(RSSI) ranging technique. The blind node area was narrowed after several times iteration. A cooperative location algorithm based on RSSI was proposed. The algorithm was evaluated on the Zigbee platform, the differences between this algorithm and the traditional location algorithm were tested. The experimental results show that this algorithm has promotion on accuracy, especially in situations where there are fewer nodes. The algorithm proposed can be applied in WSN and has a promising future.

**Key words:** cooperative location algorithm; wireless sensor network(WSN); Zigbee technology; received signal strength indication(RSSI)

## 0 引 言

无线传感网络由具有感知能力、无线通讯能力、计算能力的传感节点组成,广泛地应用在医疗卫生、环境监测和军事等领域。节点定位<sup>[1]</sup>是无线传感器网络进行目标监测与跟踪等众多应用的基础。没有节点的位置信息,无线传感网络在一些领域的应用会大打折扣。因此节点定位是近几年无线传感网络研究中的热点。为此,国内外专家学者在提高节点定位的定位精度方面付出了大量的努力。因而,对无线传感网络中的定位算法进行研究,对提高节点定位精度,帮助无线

传感网络的普及,有着重要的意义。

就目前而言,依据评估的机制不同,定位算法一般可分为两种:基于测距算法(range-based)和无需测距算法(range-free)<sup>[2]</sup>。基于测距算法主要有 4 种<sup>[3-7]</sup>: TOA(time of arrival)、TDOA(time difference of arrival)、AOA(angle of arrival)和 RSSI(received signal strength indicator)。其中,RSSI 是通过计算信号传播过程中的损耗,使用理论或经验的信号传播衰减模型将传播损耗转换为距离的测距方法。信号一般是 RFID 射频信号。根据信号的 RSS 值完成测量,故该技术是一种低功率、廉价的测距技术。但是因实际环境的不同而带

收稿日期:2011-08-29

基金项目:浙江省新苗人才计划资助项目(2010R403011)

作者简介:毛利洋(1992-),男,浙江衢州人,主要从事领域无线传感网络及其应用方面的研究. E-mail:lmly529638@126.com

来的干扰(如墙面反射、天线增益、信号多径等)会使得 RSS 与理论或经验的信号衰减模型有出入,继而带来了其在实际建模时的复杂性,也限制了其应用范围。

一般情况下,包括基于 RSSI 在内的测距的定位通过测量节点间点到点的距离或者角度信息,并使用三边测量法、三角测量法、极大似然估计法<sup>[8-13]</sup>等计算节点的位置。这些传统的定位算法精度较低,参考节点比例较高。为了在减少参考节点的同时提高定位精度,笔者找到了参考各盲节点之间的位置关系来实现定位的协同定位方法<sup>[14]</sup>。这种方法有着较高的精度和相对低廉的成本,是定位算法的一种突破。

本研究拟通过对基于 RSSI 的无线传感网络的定位方法的研究,将协同定位引入到无线传感网络的定位中,以得到新的高精度的无线传感网络的定位算法,并在 ZigBee 平台上进行应用。

## 1 基于 RSSI 的协同定位算法

### 1.1 定位系统框架

在系统中有两类节点:参考节点(RN)和盲节点(BN)。参考节点是静态的,在对应的物理区域有自己对应的坐标,标记为  $R_n(x_n, Y_n)$ 。盲节点向其他节点发送含有对应 ID 号的信号。接收到此信号的参考节点和盲节点将自己接收到的信号强度传给定位服务器。定位服务器建立 RSSI 信号表。这里需要注意的是,盲节点也有接收 RSSI 信号的功能,也能起到定位的作用。

### 1.2 无线电传播路径损耗模型分析

无线电传播路径损耗对于 RSSI 定位算法的定位精度有很大影响。本研究采用对数-常态分布模型,则节点接收的信号强度为:

$$RSSI(d) = A - 10 k \lg(d) + x_\delta \quad (1)$$

从式(1)中求解出  $d$ :

$$d = 10^{(A+x_\delta-RSSI(d))/10k} \quad (2)$$

式中: $A-d=1$  mm 时的 RSSI 值,理论值为  $-50$  dBm; $k$ —路径损耗指数,依赖于周围环境和建筑物类型,表示路径损失随距离增加而增大的快慢,范围在  $2 \sim 5$  之间; $x_\delta$ —平均值是 0 的高斯分布随机变数,其标准差范围为  $4 \sim 10$ 。

RSSI( $d$ ) 的单位为 dBm。在实际的情况下,由于受到阻挡、反射、多径效应等影响,RSSI 值将比理论的 RSSI 小。对于 1 m 距离下的 RSSI 值进行统计,可以

得到实际的 RSSI 值比理论小的结论。则根据公式(2)计算得到的距离  $d$  比实际距离  $d'$  要大,即发送方一定在以接收方为圆心, $d$  为半径的圆内。

### 1.3 协同定位过程

由 1.1 节可知,在无线传感网络中,不仅盲节点和参考节点之间能够相互测量彼此的信号强度,盲节点之间也能相互测量彼此的相互信号强度。在 RSSI 协同定位中,本研究利用盲节点之间的距离关系来提高定位的精准度。

#### 1.3.1 初步确定盲节点的位置

依据 1.1 节所述,本研究根据盲节点和参考节点之间的位置关系,可以初步确定盲节点的区域。

在一个二维空间里,假设有个参考节点,标记为  $R_1(X_1, Y_1)$ 、 $R_2(X_2, Y_2) \cdots R_n(X_n, Y_n)$ ;  $m$  个盲节点标记为  $N_1(X_{n1}, Y_{n1})$ 、 $N_2(X_{n2}, Y_{n2}) \cdots N_m(X_{nm}, Y_{nm})$ 。

本研究根据 RSSI 信号传输的模型公式(2),得到盲节点  $N_i$  应该位于以参考节点  $R_j$  为中心, $d_{ij}$  为半径的圆  $C_{ij}$  内。

根据参考节点的位置关系,初步确定的盲节点所在区域应是所有的圆  $C_{i1}$ 、 $C_{i2} \cdots C_{in}$  的交集,即:

$$I_i = \bigcap_{j=1}^n C_{ij} \quad (3)$$

本研究初步确定盲节点区域示意图如图 1 所示。3 个参考节点初步确定一个盲节点区域。

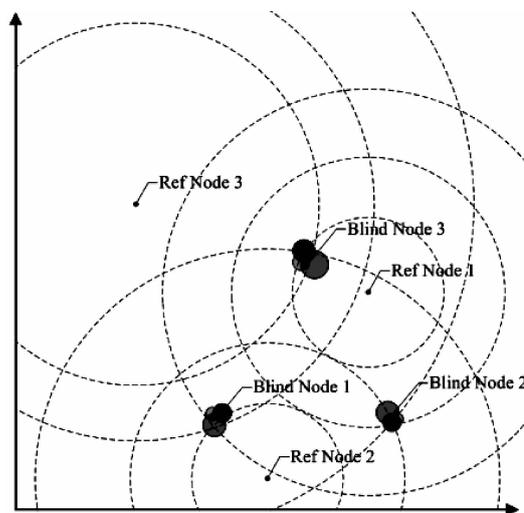


图 1 初步确定盲节点区域示意图

#### 1.3.2 利用盲节点之间的协同定位缩小盲节点的区域

在 1.3.1 节中,因为环境因素,如直接将此区域作为定位区域,有失精准度。根据前面所述,可以根据盲节点之间的信号来缩小定位区域。于是,本研究采用迭代算法定位区域的缩小。

定义 1:对于已知定位区域  $I_i$  的盲节点  $N_i$ ,其估算坐标为  $(X'_{ni}, Y'_{ni})$ 。其中:

$$\begin{aligned} X'_{ni} &= \iint_s X \frac{dx dy}{S_i} \\ Y'_{ni} &= \iint_s Y \frac{dx dy}{S_i} \end{aligned} \quad (4)$$

定义 2:根据公式(2),节点之间距离越近, RSSI 信号越强;即信噪比越大,信号的准确性越高。

根据接收到盲节点  $N_i$  信号的盲节点之间的信号强度排序,得到信号强度序列:

$$P_i = \left\{ \begin{aligned} &N'_1(X'_{n1}, Y'_{n1}, r'_{n1}, r'_{ni1}), \\ &N'_2(X'_{n2}, Y'_{n2}, r'_{n2}, r'_{ni2}), \\ &\dots \\ &N'_k(X'_{nk}, Y'_{nk}, r'_{nk}, r'_{nik}), \end{aligned} \right\} (k \leq m) \quad (5)$$

式中: $N'_j$ —接收信号强度排序第盲节点; $(X'_{nj}, Y'_{nj})$ —估算坐标; $r'_{nij}$ —根据公式(2)计算得到的  $N_i$  与  $N'_j$  距离; $r'_{nj}$ —以  $(X'_{nj}, Y'_{nj})$  为中心包围定位区域  $I_j$  的最小圆的半径; $D'_{ij}$ —以  $(X'_{nj}, Y'_{nj})$  为圆心,  $r'_{nij} + r'_{nj}$  为半径的圆。

### 1.3.3 迭代过程

迭代过程描述如下:

STEP1: 设定迭代次数为  $n$ , 相交次数  $l(l \leq k)$ ;

STEP2: 根据定位区域估算所有盲节点  $N_i$  的坐标  $(X'_{ni}, Y'_{ni})$ , 建立强度序列  $p_i$ ;

STEP3: 新的定位区域  $I'_i = I_i = \cap_{j=1}^l D'_{ij}$ ;

STEP4:  $n = n-1$ ; if  $(n = 0)$ , STEP5 else STEP2;

STEP5: end。

得到缩小后的区域记为  $I'_{if}$ 。

### 1.3.4 确定盲节点的位置

迭代后得到的为盲节点的区域  $I'_{if}$ , 根据下式求解出盲节点的具体坐标:

$$\begin{cases} X_N = \iint_s X \frac{dx dy}{S_1} \\ Y_N = \iint_s Y \frac{dx dy}{S_1} \end{cases} \quad (6)$$

## 2 协同定位算法的 ZigBee 应用

### 2.1 定位系统设计

依据传感器节点功耗低、成本低、体积小等硬件限制条件,笔者在研究中选用 TI 公司的射频收发器 CC2430 芯片作为参考节点。盲节点选用带无线定位模块的 CC2431 芯片。这两种芯片包括一个高性能的

2.4 GHz 的射频收发器和增强型的 8051 控制器,它具有强大的鲁棒射频和可编程功能、优良的无线接收灵敏度 and 强大的抗干扰性。另外,CC2430 的休眠模式和主动模式时的短时间可有效地降低功耗,保证电池的长寿命。

系统整体框图如图 2 所示。实验软件平台采用 Matlab + LabVIEW。

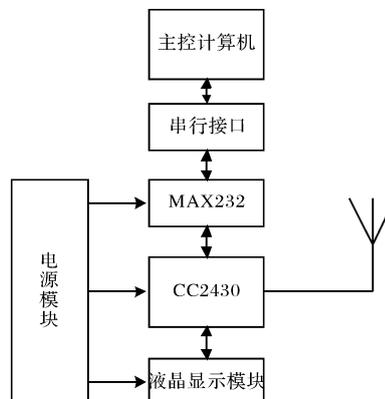


图 2 系统整体框图

### 2.2 数据测试与评估

为了评估系统性能,定义距离误差  $LE$ :

$$LE = \sum_1^m distance(BN, BN') / m \quad (7)$$

式中: $distance(BN, BN')$ —盲节点的真实位置与定位位置之差,  $m$ —实验次数。

#### 2.2.1 节点数对定位进度的影响

本研究在  $20\text{ m} \times 20\text{ m}$  的区域采用 4 种排列方法放置,参考节点如图 3 所示,并分别放入 6 个盲节点进行测试,对比传统定位方法与协同定位方法在定位误差上的区别。

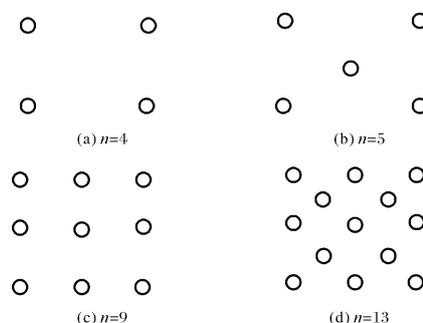


图 3 参考节点的排列方法

测试结果如图 4 所示。

从以上表格可以看出,协同定位的方法胜于传统的定位方法。同时,发现当节点数从 4 变到 13 的过程中,误差距离从 1.86 m 减小到 0.53 m,下降了

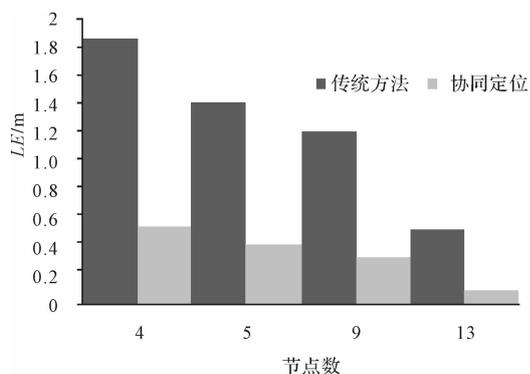


图4 不同节点数下算法的性能表示

71.6%。并且当参考节点数为13时,传统方法的误差距离为0.53 m,而协同定位的误差距离为0.11,误差下降了79.3%。由此得出以下结论:通过增加参考节点的数量可以降低误差距离,提高定位精度;同时利用检测处理盲节点之间的信号可以很有效地降低误差。

### 2.2.2 迭代次数对定位精度的影响

为探究迭代次数对定位精度的影响,本研究采用实验一中参考节点数为4的情况,并将迭代次数从1加到5,所得结果如图5所示。

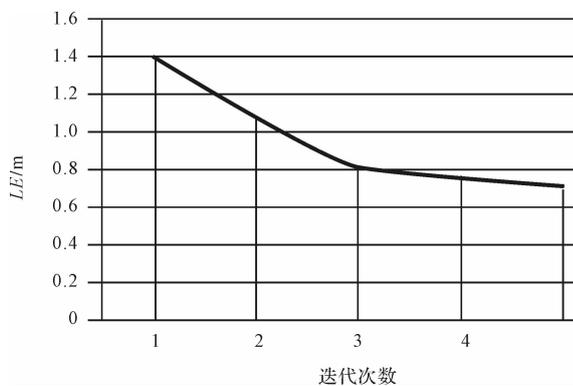


图5 不同迭代次数下的算法性能

从图5中可以看出当迭代次数从1变到5时,误差距离从1.4 m减小到0.72 m,误差下降了49.6%。从中可以得出以下结论:在允许的情况下,迭代次数的增加可以大大降低定位的误差,提升定位精度。

## 3 结束语

本研究通过RSSI测距,通过参考节点和盲节点的相互协调,迭代计算了盲节点的位置。在ZigBee平台上的实际测试表明,协同算法相对于传统的定位方法具有更高的精度,尤其是在参考节点数据少时优势更为明显。此外,基于本研究提出的迭代算法,通过适当地增加迭代次数可以有效地提高定位精度。

## 参考文献 (References):

- [1] 方红雨,崔逊学,刘 纂. 无线传感器网络的定位问题综述[J]. 电脑与信息技术,2005,13(6):25-29.
- [2] 王福豹,史 龙,任丰原. 无线传感器网络中的自身定位系统和算法[J]. 软件学报,2005,16(5):1148-1157.
- [3] 雷建军. 基于蜂窝网络的AGPS和TDOA混合定位技术研究[D]. 重庆:重庆邮电大学计算机科学与技术学院,2006.
- [4] WATTERS J M, STRAWCZYNSKI L, STEER D G. Combining GPS with TOA/TDOA of cellular signals to locate terminal:United States. 5982324[P]. 1999-11-09.
- [5] 罗 敏. 浅析基于TOA/TDOA的无线传感器网络节点定位算法[J]. 武汉工程职业技术学院学报,2009,21(2):42-43.
- [6] 郑 凯,赵宏伟,张孝临,等. 基于ZigBee心电监护网络的定位系统的研究[J]. 仪器仪表学报,2008,29(5):999-1004.
- [7] 钱 璨,虞建立,刘 昊. 一种基于RSSI技术的大楼定位系统的实现[J]. 电脑知识与技术,2008(23):1061-1067.
- [8] 孙利民. 无线传感器网络[M]. 北京,清华大学出版社,2005:137-140.
- [9] BAHL P, PADMANABHAN V N. RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system[C]//Proceedings of the IEEE INFOCOM,2000. New York:IEEE Computer and Communications Society,2000:775-784.
- [10] 苏永振,袁慎芳,周恒保. 基于三角测量和最优化技术的复合材料冲击定位两步法[J]. 宇航学报,2009,30(3):1201-1203.
- [11] HARTER A, HOPPER A, STEGGLES P, et al. The anatomy of a context-aware application[C]//Proceedings of the 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking. New York: ACM Press, 1999: 59-68.
- [12] GIROD L. Robust ED rangeestimation using acoustic and multimodal sensing[C]// Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Piscataway: IEEE Press,2001:1312-1320.
- [13] NICULESCU D, NATH B. Ad hoc positioning system (APS) using AOA[C]//Proceedings of the IEEE INFOCOM,2003. New York:IEEE Computer and Communications Society,2003:1734-1743.
- [14] NEAL P, JOSHUA N A, SPYROS K Y, et al. Locating the nodes: cooperative localization in wireless sensor networks [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2005, 22(6): 54-57.

[编辑:李 辉]