

基于 RSSI 全向拟合经验图的节点自定位算法*

徐学永^{1,2,3+}, 黄河^{1,2}, 黄刘生^{1,2}, 徐宏力^{1,2}, 张银东^{1,2}, 刘刚^{1,2}

¹(中国科学技术大学 计算机学院, 安徽 合肥 230027)

²(中国科学技术大学 苏州研究院, 江苏 苏州 215123)

³(北方自动控制技术研究所, 山西 太原 030006)

Omni-Fitting RSSI Map Based Self-Localization Algorithm

XU Xue-Yong^{1,2,3+}, HUANG He^{1,2}, HUANG Liu-Sheng^{1,2}, XU Hong-Li^{1,2}, ZHANG Yin-Dong^{1,2}, LIU Gang^{1,2}

¹(School of Computer Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230027, China)

²(Suzhou Institute for Advanced Study, University of Science and Technology of China, Suzhou 215123, China)

³(North Automatic Control Technology Institute, Taiyuan 030006, China)

+ Corresponding author: E-mail: xxyyeah@mail.ustc.edu.cn

Xu XY, Huang H, Huang LS, Xu HL, Zhang YD, Liu G. Omni-Fitting RSSI map based self-localization algorithm. Journal of Software, 2011, 22(Suppl. (1)): 73-82. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/11008.htm>

Abstract: In wireless sensor networks, RSSI is considered as an appealing modality for localization in WSN as RSSI information can be obtained at almost no additional cost. To effectively utilize RSSI for localization, two directions have been investigated: RSSI fitting and RSSI profiling. Many state-of-art localization algorithms—falling in these two categories, however, work poorly in real environments because of imprecise mapping relationship between RSSI and the physical distance due to the impact from multi-path, environment noisy, *et al.* This paper proposes an Omni-Fitting RSSI Map Based Self-Localization Algorithm (ORM). In ORM, the study samples limited RSSI values in several different directions and distances in advance. Based on this information, the study can endue the global radio strength distribution map of the positioning area. According to this map, the unknown nodes can conduct localization to acquire their coordinates. ORM considers the anisotropic characteristics of radio transmission model carefully which makes it own the advantages of both good scalability and acceptable precision. In order to demonstrate the performance of the approach, the study builds up a testbed with 14 MICAZ motes to run ORM. The results show that this method can outperform W-Centroid algorithm by about 26% in indoor environment and as much as 42% under outdoor circumstance.

Key words: RSSI; localization; wireless sensor networks

摘要: 在无线传感器网络中,由于 RSSI(radio signal strength indicator)信息不需要额外的代价就可以在信息的发送接收过程中获得,所以 RSSI 被公认是一种非常具有吸引力的定位信息并被研究者大量应用于其定位系统设计

* 基金项目: 国家自然科学基金(60903055); 国家重点基础研究发展计划(973)(2011CB302-905); 国家科技重大专项(2011ZX03005-002); 中央高校基本科研业务资助

收稿时间: 2011-05-02; 定稿时间: 2011-07-29

中,已有的基于 RSSI 的定位研究分为基于经验值拟合和基于经验值匹配两类,但这两类方法要么对环境敏感要么扩展性很差,在实际应用中都存在很多限制,其原因在于,RSSI 值在实际系统中由于多径反射、天线朝向等因素的影响而具有各向异性的特性,从而导致 RSSI 值与距离之间的对应关系并不明显,提出了一种基于 RSSI 拟合经验图的定位算法.在该方法中,预先采集节点有限个不同方向及这些方向上的有限个不同距离对应的 RSSI 值,然后,在这些有限个方向和距离的基础上采用拟合的方法得到一张包含任一方向与距离对应的 RSSI 值的全向经验图.待定位节点根据当前接收到的来自不同锚节点的 RSSI 值和该经验图可以求得一个最合适的位置坐标.该方法兼具经验值拟合和经验值匹配两种方法的优点,充分考虑到节点信号传输模型各向异性的影响,同时又具备较好的扩展性,具有很强的实用价值.最后,通过搭建一个包含 14 个 MICAz 节点的实验床验证了该算法的实际应用效果.系统验证结果表明:与基于 RSSI 的 W-Centroid 算法相比,该方法在室内环境下的平均定位精度要高出 26% 左右,在室外环境下要高出大约 42%.

关键词: RSSI;定位;无线传感器网络

在无线传感器网络中,由于 RSSI 信息不需要额外的代价就可以在信息的发送接收过程中获得^[1,2],所以 RSSI 被公认为是一种非常具有吸引力的定位信息.但利用该信息进行定位的挑战在于,RSSI 值由于多径反射等环境因素的影响而具有不可预测性,也就是说,RSSI 值与距离之间的对应关系并不明显.如果无法对当前环境进行合理的模型化^[1-3],则很难直接从 RSSI 值推断出其对应的物理距离.已有的基于 RSSI 的定位研究通常从以下两个方向来利用 RSSI 信息实现定位.

经验值拟合:根据预先收集的包含 RSSI 值及其对应距离的二元组,推导出 RSSI 值与物理距离的对应关系.那么传感节点根据推导结果从其当前接收到的来自锚节点的信息的 RSSI 值就可以直接推断出其与该锚节点之间的物理距离.

经验值匹配:预先在不同坐标位置发送消息,该位置通信半径内的基础节点记录该消息的 RSSI 值,并将这些信息存储在后台数据库.基础节点收集来自待定位节点的信息的 RSSI 值,通过搜索后台数据库,找寻一个最符合当前观察值的位置坐标作为定位结果.

通过 RSSI 值直接推导距离信息的方法,计算复杂度低,节点开销小,具有较好的扩展性.但这种方法对环境因素非常敏感,在室内情况下,其定位精度尤为糟糕.采用预先采集经验值的方式,节点的开销代价小,计算复杂度低,同时可以取得不错的定位精度,但是由于其对定位区域设计须进行大范围采样导致此类方法的扩展性较差.另外,由于每次定位都需要搜索整个数据库进行匹配,后台的计算工作量也不小.

无论是哪种方式,都存在一定的应用限制.本文首先利用 CrossBow 公司的 MICAz^[4]传感节点进行详尽的实际系统测试.通过仔细分析测试数据,我们发现传统的基于 RSSI 信息的定位算法中的应用限制产生的根源.产生上述问题的原因在于:节点的信号传输模型具有各向异性的特性.本文提出了一种基于 RSSI 全向拟合经验图的节点自定位算法.在此方法中,我们预先采集节点有限个不同方向及这些方向上的有限个不同距离对应的 RSSI 值,得到一张二元经验表.然后,通过在有限个方向和距离的基础上采用拟合的方法,进一步可以得到一张包含任一方向和距离对应的 RSSI 值的全向拟合经验图.待定位节点根据当前接收到的来自不同锚节点的 RSSI 值和该经验图可以求得一个最合适的坐标位置.该方法兼具经验值拟合和经验值匹配两种方法的优点,充分考虑到节点信号传输模型各向异性的影响,同时又具备较好的扩展性,具有很大的实用价值.

本文第 1 节介绍相关工作.第 2 节详细描述系统测试和数据分析.第 3 节介绍本文的基于 RSSI 全向拟合经验图的节点自定位算法.第 4 节对本文方法进行实际的系统验证.第 5 节总结本文的工作.

1 相关工作

基于 RSSI 的定位算法可以分为基于经验拟合^[5,6]和基于经验值匹配^[7-13]两种.SpotOn^[5]是最早出现的基于 RSSI 的定位系统之一.只利用 RSSI 信息,SpotOn 就能够确定节点的当前位置.通过对经验数据进行分析,SpotOn 可以推导出 RSSI 和物理距离之间的函数关系.由该函数关系,基站根据来自传感节点的消息的 RSSI 值就可以

估算出它们之间的距离.当至少 3 个基站接收到来自某传感节点的信息时,服务器便能够定位该节点.

不难发现,通过 RSSI 值直接推导距离信息的方法,计算复杂度低,节点开销小,具有较好的扩张性.但在实际应用中,由于多径反射、障碍物等环境因素的影响,RSSI 值与物理距离之间并没有严格的对应关系.故此类方法的定位精度在复杂环境下,像室内环境,具有较低的定位精度.由此,很多研究者开始考虑使用另外一种方式来利用 RSSI 值:通过预先在定位区域采集 RSSI 经验值构建一个定位区域的 RSSI 分布图.然后对传感节点收集的 RSSI 信息搜索该分布图来确定最终的位置.RADAR^[7]系统即属于此类方法的典型代表.

RADAR 在覆盖区域内预先选取一些信息采集点,并按 $(x,y,RSSI_1,RSSI_2,\dots,RSSI_n)$ 方式预先记录这些位置所有 n 个锚节点收集到的 RSSI 值.如此,RADAR 便得到一张定位区域 RSSI 值散点分布图.假如,传感节点收集到的信息为 $(RSSI'_1,RSSI'_2,\dots,RSSI'_n)$,RADAR 搜索预先获取的 RSSI 分布图来选取最符合当前信息的位置作为该传感节点的坐标.即对 RSSI 分布图中的所有点,计算式 $\sum_{i=1}^n \sqrt{(RSSI_i - RSSI'_i)^2}$ 的值.这些值中最小的那个对应的地图中的点坐标即为最后的定位结果.

采用经验值匹配的方式,节点的开销代价小,计算复杂度低,同时可以取得不错的定位精度,但是由于其涉及对定位区域进行大范围采样导致此类方法的扩展性较差.另外,由于每次定位都需要搜索整个数据库进行匹配,后台的计算工作量也不小.

2 系统测试及数据分析

在介绍基于 RSSI 全向拟合经验图的定位算法之前,我们首先对传感节点的真实信号传输模型进行详细的测试.通过对实验数据进行仔细分析,可以找到蕴含其中的规律.在这些规律的基础上,我们提出了基于 RSSI 全向拟合经验图的定位算法.

2.1 实验设置

已有很多工作^[3,14-16]对信号传输模型进行了详尽的研究,并提出了不少贴近实际环境情况的模型,像 RIM^[17],Noisy Disk Model^[3]等.这些工作都指出信号传输模型具有各向异性的特性.为了验证这个特性,我们利用 MICAz 传感节点在实际环境中进行了详尽的测试.但与已有的测试工作不同,我们采用更为全面的测试方法.

在介绍具体测试方法之前,我们先对底座相对角度和天线相对角度两个概念进行定义.图 1 中左上角显示的是我们实验中使用的传感节点.无线传感节点的天线和底座分别抽象为一个圆和一个矩形.借助此图,我们对接收节点相对于发送节点的底座相对夹角和天线相对角度定义如下:

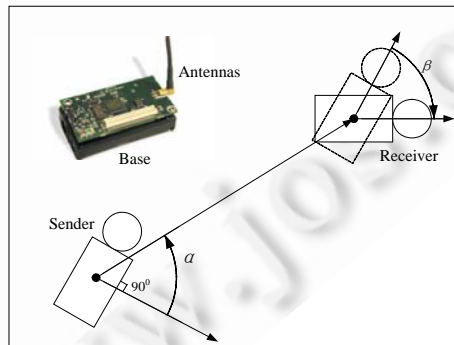


Fig.1 Relative angle definition

图 1 相对角度定义

底座相对夹角(α 角):发送节点和接收节点的底座中心连线与发送节点底座长边垂线的夹角.如图 1 所示中的 α 角.

天线相对夹角(β 角):发送节点和接收节点其由底座中心至天线中心射线之间的夹角,夹角大小为从发射点

到接收点顺时针方向的角度大小.如图 1 中的 β 角所示.

与传统的测试实验方法不同,在我们的测试方法中,不仅考虑旋转底座相对角度(如图 2(a)所示)对信号强度的影响,还考虑旋转天线相对角度(如图 2(b)所示)对它的影响.此外,为了验证不同节点传输模型的差异性,我们测试了 3 组不同节点组成的发送接收节点对.

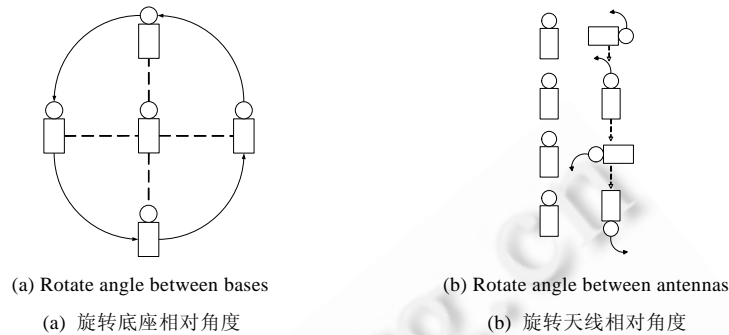


Fig.2 Test methods

图 2 测试方法

实验环境与本文系统验证部分的室外测试环境相同(如后文的图 6 所示),我们把节点放置在空旷区域的三脚架上.详细的测试参数见表 1.

Table 1 Transmission model test parameters

表 1 传输模型测试参数设置

参数	设置
实验场景	室外环境
节点类型	MICAz
发射功率	最大功率(0dBm)
发送接收节点对	1-2,1-3 和 2-3 号节点
测试距离	1,2,3(m)
节点摆放高度	1.3(m)

2.2 节点自身差异性

若不同节点的信号传输模型存在差异,那么我们称这类节点是异质的.如果节点异质性较为严重,则其对定位算法的影响是显而易见的.为此,我们首先需要了解 MICAz 传感节点的异质性.为测试节点本身存在的异质性程度,我们使用了 3 组发送节点和接受节点对:1-2,1-3 和 2-3.实验数据显示,1-2 和 1-3 的信号强度分布极图基本完全相同.而图 3(本文中,RSSI 值的单位都为 dBm)显示了在 1m,2m 和 3m 这 3 个距离上,节点对 1-3 和 2-3 的信号强度极图.

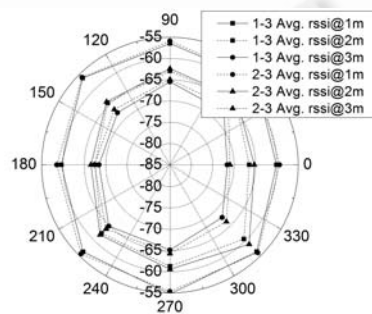


Fig.3 RSSI distribution of different node pairs

图 3 不同节点对的信号强度分布图

从该图我们发现,不同节点对的信号传输模型基本上是相近的.异质性造成的差异都在 $\pm 1\text{dBm}$ 之内,而节点信号强度分布是各方向上的差异要远大于这个值.因此,在本文接下来的讨论中,我们忽略节点自身异质性的影响而重点关注节点的各向异性特性的影响.

2.3 测试数据分析

由于节点异质性可以忽略,我们选取 1-2 节点对测试得到的数据为代表来分析节点信号传输模型的特性.按照上述实验设置进行详尽的实验后,我们得到大量的实验数据^[18].

仔细分析这些原始数据,可以发现节点信号传输模型与传统的圆盘模型相差甚远,但却具有各向异性的特点.我们可以从原始数据中提取一些数据对此问题进行说明.

表 2 为从原始的实验数据中选取几个不同底座夹角,相同天线夹角以及相同底座夹角,不同的天线夹角情况下在不同距离上得到的实验数据.从该表不难发现,接收节点接收到的信号强度并不仅仅与它和发送节点的距离有关.在同等距离情况下,底座夹角、天线夹角的不同也会导致接收节点接收到的信号强度值存在差异.

Table 2 Anisotropic transmission model verification
表 2 传输模型各向异性验证

α	β	RSSI 值(1m)	RSSI 值(2m)	RSSI 值(1m)
0	0	-69	-79	-73
0	180	-59	-65	-69
45	0	-54	-63	-67
90	0	-56	-61	-65

也就是说,接收节点接收到的消息的信号强度值与其和发送节点的间距、底座夹角和天线夹角三者都有关系.这对设计基于 RSSI 的定位算法是一个非常大的挑战,因为悖于常理认识的情况可能会出现.比如说,在底座夹角一定的情况下,接收节点离发送节点越远,但其接收消息信号强度不一定会越小.原因在于,即使在远距离,如果天线夹角合适,RSSI 值仍有可能出现甚至超过近距离的情况.图 4 很好地说明了此种情况.该图所示为不同 α 和不同距离对应的 β 最大、最小信号强度值.因此我们应该尝试寻找能够消除其中一些影响因素的策略.考虑到不同的 β 可在原地旋转产生,我们可以考虑平均接收节点在其各 β 上收集的 RSSI 值,得到不同 α 和不同距离对应的信号强度分布,如图 5 所示.

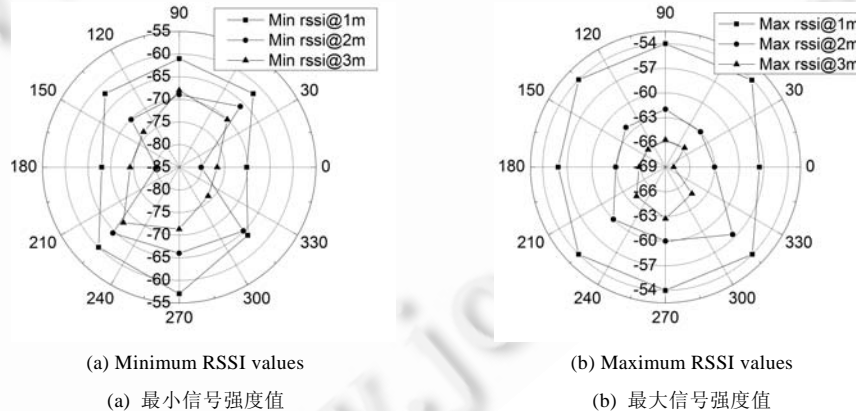


Fig.4 The β maximum and β minimum RSSI distribution in different α and distance

图 4 不同 α 和不同距离对应的 β 最大,最小信号强度分布图

从图 5 我们发现,平均各天线夹角对应的 RSSI 值后得到的信号强度分布图具有较好的性质.在同一底座夹角方向上,距离越远,信号强度值越小.另外,不同的发送,接收节点对具有相近的信号强度分布.如此,我们便可以利用 RSSI 经验值来进行定位.要实现平均各天线夹角的目的,我们可以把发送节点(锚节点)放在一个匀速转盘上发送信息.由于锚节点在网络中所占比例通常很小,所以由此造成的额外开销基本可以忽略.在消除天线夹角

的影响之后,我们接下来针对距离和底座夹角两个变化因素设计了一种基于 RSSI 全向拟合经验图的节点自定位算法.

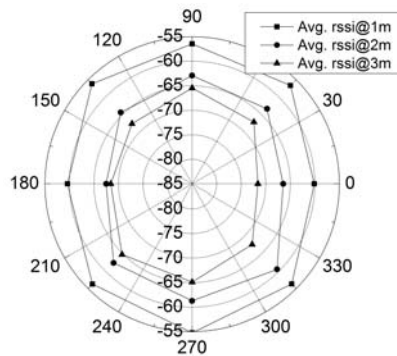


Fig.5 β average RSSI distribution in different α and distance

图 5 不同 α 角和不同距离对应的 β 角平均信号强度分布图

3 基于 RSSI 全向拟合经验图的节点自定位算法

从前文的介绍我们知道,要利用 RSSI 进行定位,首先要做的就是收集 RSSI 经验值.传统的基于 RSSI 的定位系统通常都是收集信号强度值与距离或坐标的对应关系作为定位依据.通过前文详尽的实验和分析,我们知道这种方法在信号传输模型各向异性的影响下,其赖以实施定位的常理假设可能都不成立.与传统方法不同,在本文的方法中,我们收集包含 α 角和距离信息的二元信息来实现定位,即我们收集不同的底座夹角上不同距离对应的信号强度信息.

表 3 中的二元经验表包含了 3 个距离和 8 个 α 角度对应信号强度分布情况.该表就是我们实现定位的依据.不难发现,上面的二元经验表只涵盖了有限个距离和 α 角度对应的信号强度经验值,而要实现最终定位,我们需要知道任意距离和底座相对角度上的信号强度值.因此,我们必须能够基于已有的信息来推导得到任意值.可以利用角度拟合和距离拟合两种推导方法来达到此目的.通过角度拟合,我们可有由某距离对应的有限个方向上的 RSSI 经验值推导出任意方向的 RSSI 值.而距离拟合则是由某方向对应的有限个距离上的 RSSI 经验值推导出该方向上任意距离的 RSSI 值.如此,我们便可以得到覆盖整个定位区域的全向 RSSI 经验图.

Table 3 Two-Factor experience table

表 3 二元经验表

α	RSSI 值(1m)	RSSI 值(2m)	RSSI 值(3m)
0	-60	-66	-72
45	-57	-63	-67
90	-56	-63	-65
135	-56	-64	-68
180	-60	-67	-68
225	-56	-62	-65
270	-55	-61	-65
315	-56	-61	-68

3.1 角度拟合

在笛卡尔坐标系里,已知某些离散点的坐标,要推导其他离散点的坐标,比较常用而有效的方法是通过曲线拟合.根据我们采集的各 α 角度对应的信号强度值绘成的极坐标图可以发现,如果我们以 $Interval=90^\circ$ 为间隔将 α 分成 $0\sim 90, 90\sim 180, 180\sim 270$ 和 $270\sim 360$ 这 4 个区间,每个区间上,信号强度值与 α 的关系近似为线性.如果在小区间内至少有两个参考经验值 $(\alpha_i, rssi_i)$,那么,我们可以利用线性拟合方法^[19,20]得到拟合函数.根据拟合函数,可以得到该区间内任意一点对应的信号强度值. $Interval$ 值应根据采集的经验值分布来选取.合理的 $Interval$ 值必须保证根据其划分后得到的区间至少要包含两个参考经验值.

3.2 距离拟合

路径衰减模型(path loss model)通常被用来形式化信号强度与距离之间的关系.如果节点在距离 d 处接收到的信号能量平均值为 $\overline{\text{Pr}(d)}$ (单位 mW),在参考距离 d_0 处接收到的平均能量值为 $\text{Pr}(d_0)$,那么我们可以按下式计算 $\overline{\text{Pr}(d)}$:

$$\frac{\text{Pr}(d_0)}{\overline{\text{Pr}(d)}} = \left(\frac{d}{d_0} \right)^\beta \quad (1)$$

β 是路径衰减系数.信号强度 RSSI 的单位是 dBm,它与能量之间的转换公式为 $\text{mW}=10^{\text{dBm}/10}$.由此,我们可以推导得到信号强度(dB)与距离之间的关系:

$$\text{RSSI}_d = \text{RSSI}_{d_0} - 10 \cdot \beta \cdot \log_{10}(d) \quad (2)$$

基于参考距离 d_0 (在本文中为 1m)的 RSSI 值,我们可以利用公式(2)推导得到 2m 和 3m 处的强度值.表 4 显示出通过公式计算推导得到 2m 和 3m 处的强度值和通过公式计算得到的强度值与实际测量得到的强度值的差值.

由表 4 我们发现,采用以 1m 处为基准的路径衰减模型得到的 2m 和 3m 处的强度值与实际值的差异大部分都在 α 值为 2) 范围以内,因此,由路径衰减模型来推导更多的数据在近距离范围内具有一定的合理性.另一方面,根据我们之前的观察,随着距离的增加,路径衰减模型的推导值与实际值的差值越来越大.所以,随着距离的增加,仅仅利用路径衰减模型对信号强度进行估计很可能与实际值产生较大的偏差.如果出现该情况,我们利用角度拟合中类似的办法对已有的经验值进行拟合,从而推导得到与观察规律不一致的距离对应的信号强度值.与角度拟合不同的是,我们不以信号强度 $\text{RSSI}(\text{dB})$ 为目标函数,而是以公式(1)中的 $\text{Pr}(d)$ 为目标函数.如果 $\beta=2$, $\text{Pr}(d)$ 与 d 成二次关系,那么根据距离最近的几个距离得到的信号强度值(mW)容易通过二次曲线拟合推导出最终的目标函数(mW).通过 mW 和 dB 的转换公式,我们可以通过该目标函数求取任意距离对应的信号强度值(dB).

Table 4 Path loss model verification
表 4 路径衰减模型验证

α	1m 平均值	2m 平均值	2m 模型值	2m 差值	3m 平均值	3m 模型值	3m 差值
0	-60	-66	-66	0	-72	-70	2
45	-57	-63	-63	1	-67	-66	1
90	-56	-63	-62	0	-65	-66	-1
135	-56	-64	-62	2	-68	-66	2
180	-60	-67	-66	2	-68	-69	-1
225	-56	-62	-62	0	-65	-66	-1
270	-55	-61	-61	1	-65	-64	1
315	-56	-61	-62	-2	-68	-66	2

基于预先测试得到的二元经验表和上述两种推导方法,我们推测出任意 α 和任意距离上的 RSSI 值,即每个待定位节点可以得到一个 RSSI 全向经验图.基于这个经验图,我们便能对节点进行定位.

3.3 定位过程

假设区域中待定位节点接收到来自 4 个锚节点的消息信号强度分别为 $\text{RSSI}_1, \text{RSSI}_2, \text{RSSI}_3$ 和 RSSI_4 .基于 RSSI 全向拟合经验值的节点自定位算法执行如下步骤定位出待定位节点的位置坐标:

- 1) 将定位区域分成一个 1×1 的小网格 SGrid,取 SGrid 的质心 $G(x,y)$ 作为其代表.对每一个小网格的质心 G ,我们可以知道以下信息:
 - G 到 4 个锚节点的距离分别为 D_1, D_2, D_3 和 D_4 .
 - G 和 4 个锚节点的 α 角分别为 $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 和 θ_4 .
- 2) 接下来,我们将对质心 G 赋予一个权值 wG .该值由其从 4 个锚节点获得的信息而得到的 4 个权值 wG_1, wG_2, wG_3 和 wG_4 来评估.不妨设 G 点根据全向拟合经验图推导得到其来自锚节点 i 的信息的 RSSI 值为 GRSSI_i .如果这个值在 $\text{RSSI}_i \pm \sigma$ 范围内,则 $wG_i=1$.那么,我们可以由下式求得 wG 的值:

$$wG = \frac{\sum_{i \in \{\text{Beacon ID}\}} wG_i}{\text{size of Beacon set}} \quad (3)$$

- 3) 经过第 2 步后,网络中每个网格的质心 G 得到一个权值 wG ,由此我们可以得到待定位节点的最终坐标位置:

$$\begin{cases} X = \frac{\sum_{wG > 0.5} G(x) \cdot wG}{\sum_{wG > 0.5} wG}, wG \in \{SGrids\} \\ Y = \frac{\sum_{wG > 0.5} G(y) \cdot wG}{\sum_{wG > 0.5} wG}, wG \in \{SGrids\} \end{cases} \quad (4)$$

可以说,基于 RSSI 全向拟合经验图定位算法汲取了前文提到的基于经验值拟合和基于经验值匹配两种方法的优点.在本文的定位算法中,我们同样进行了拟合.但是我们进行拟合的时候充分考虑了信号强度分布各向异性等因素.因此,本文得到的 RSSI 推导值与实际值的吻合程度要高于传统的拟合方法.另一方面,尽管我们同样需要预先收集 RSSI 经验值信息,但本文的方法只与节点通信半径有限范围内的 RSSI 经验值有关而与区域的大小无关.因此,本文方法的扩张性也更好.

4 系统验证

在本节,我们搭建了一个包含 14 个 MICAz 节点的简易实验床,对本文的基于 RSSI 全向拟合经验图的节点自定位算法进行系统验证.

4.1 实验设置及结果

实验床的运行环境和节点摆放拓扑如图 6 所示.表 5 罗列出本次实验的详细参数.



Fig.6 Tested scenario and topology
图 6 实验场景和节点摆放拓扑图

Table 5 Experiment parameters

表 1 实验参数设置

参数	设置
实验场景	房间和广场
室内区域大小	2m×2m
室外区域大小	4 m×4m
节点类型	MICAz
锚节点	1~4 号节点
待定位节点	5~12 号节点
Sink 节点	0 号节点
节点高度	1.3m

这里,我们没有对比本文算法与传统的基于经验值拟合的定位算法的性能.传统的基于经验值拟合的方法只收集一组距离和 RSSI 值的对应关系.从前文的分析可以知道,信号强度值具备各向异性的特点就这种方式得到的定位结果极不准确.经验值匹配也是同样的道理.因为即使在同一坐标位置,原地旋转传感节点锚节点得到的信息都会产生很大的变化.与其比较,不足以反映我们方法的有效性,故选择 W-Centroid 算法^[21]作为对比对象.W-Centroid 算法是经典的基于信号强度信息的定位算法.在 W-Centroid 中,待定位节点只需根据其接收到的来自锚节点的信号强度信息就可以实行定位,而并不需要预先收集经验值信息.图 7 和图 8 显示出两种定位算法在室内、外两种情况下的定位结果对比情况.

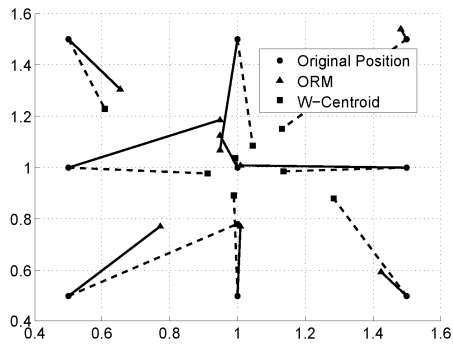


Fig.7 Indoor localization result comparison
图 7 室内定位结果对比

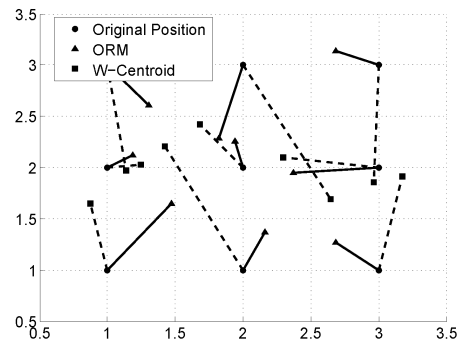


Fig.8 Outdoor localization result comparison
图 8 室外定位结果对比

从图 7 和图 8 我们发现,与 W-Centroid 算法相比,本文的基于 RSSI 拟合经验图的定位算法定位结果分布得更加分散,具有更高的定位精度.特别是对外围节点来说,我们的算法定位结果更为精确.统计结果显示,在室内情况下,我们的定位算法的平均定位精度为 0.29m,而 W-Centroid 定位算法为 0.38m.我们的方法比 W-Centroid 要提高大约 23.7%.而对于外围节点,我们算法的平均定位精度为 0.31m,而 W-Centroid 方法为 0.42m.提高约 26.2%.在室外环境下,我们的定位算法的平均定位精度为 0.48m,而 W-Centroid 为 0.83m.前者比后者提高 42% 左右.在室外环境下,边界节点的效果没有在室内明显.这是因为,在室内,外围节点越靠近定位区域边界,越接近房间里面的墙体,多径反射对 RSSI 值的影响就更为显著.而在室外环境下,由于环境比较理想,多径反射的效果就不那么明显.

5 结束语

本文首先通过详尽的实际系统测试实验验证了节点信号传输模型各向异性特点.接下来,通过对实验数据进行详尽分析,我们得到一定规律,并基于此提出了基于 RSSI 全向拟合经验图的节点自定位算法.在该方法中,我们首先利用角度和距离两种拟合方式得到一张 RSSI 全向拟合经验图.利用该图,我们便能够对节点进行定位.总的来说,该方法综合经验值拟合和经验值匹配方法的优点,既考虑实际中节点传输模型各向异性的影响又兼顾算法的扩展性,因此,本文的方法具有很强的实用价值.通过搭建一个包含 14 个 MICAz 节点的实验床,我们验证了本文方法在实际环境中的应用效果.

References:

- [1] Elnahrawy E, Li X, Martin R. The limits of localization using signal strength: A comparative study. In: Proc. of the 1st Annual IEEE Communications Society Conf. on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks. Santa Clara: IEEE, 2004. 406–414.
- [2] Whitehouse K, Karlof C, Culler D. A practical evaluation of radio signal strength for ranging-based localization. ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, 2007,11(1):41–52.
- [3] Whitehouse K, Karlof C, Woo A, *et al.* The effects of ranging noise on multihop localization: an empirical study. In: Proc. of the 4th Int'l Symp. on Information Processing in Sensor Networks. Los Angeles: IEEE, 2005. 73–80.
- [4] Crossbow Technology Inc. MICAz Datasheet. http://www.openautomation.net/uploads/productos/micaz_datasheet.pdf
- [5] Hightower J, Borriello G. Location systems for ubiquitous computing. Computer, 2001,34(8):57–66.
- [6] Patwari N, Hero A, Costa J. Learning sensor location from signal strength and connectivity. In: Secure Localization and Time Synchronization for Wireless Sensor and Ad Hoc Networks. 2007. 57–81.
- [7] Bahl P, Padmanabhan V. RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system. In: INFOCOM 2000. Tel-Aviv: IEEE, 2000. 775–784.
- [8] Roos T, Myllymaki P, Tirri H. A statistical modeling approach to location estimation. IEEE Trans. on Mobile Computing, 2002,1(1):59–69.

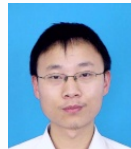
- [9] Krishnan P, Krishnakumar A, Ju W, *et al.* A system for LEASE: Location estimation assisted by stationary emitters for indoor RF wireless networks. In: Proc. of the 23rd Annual Joint Conf. of the IEEE Computer and Communications Societies. Hong Kong: IEEE, 2004. 1001–1011.
- [10] Ray S, Lai W, Paschalidis I. Deployment optimization of sensor net-based stochastic location-detection systems. In: Proc. of the 24th Annual Joint Conf. of the IEEE Computer and Communications Societies. Miami: IEEE, 2005. 2279–2289.
- [11] Ji Y, Biaz S, Pandey S, *et al.* ARIADNE: A dynamic indoor signal map construction and localization system. In: MobiSys 2006. Uppsala: IEEE, 2006. 19–22.
- [12] Varshavsky A, de Lara E, Hightower J, *et al.* GSM indoor localization. Pervasive and Mobile Computing, 2007,3(6):698–720.
- [13] Yedavalli K, Krishnamachari B. Sequence-Based localization in wireless sensor networks. IEEE Trans. on Mobile Computing, 2008,7(1):81–94.
- [14] Zhou G, He T, Krishnamurthy S, *et al.* Models and solutions for radio irregularity in wireless sensor networks. ACM Trans. on Sensor Networks (TOSN), 2006,2(2):221–262.
- [15] Hwang J, He T, Kim Y. Exploring insitu sensing irregularity in wireless sensor networks. IEEE Trans. on Parallel and Distributed Systems, 2009, 547–561.
- [16] Ma J, Chen Q, Zhang D, *et al.* An empirical study of radio signal strength in sensor networks using MICA2 nodes. Technical Report, Hong Kong: Hong Kong University of Science and Technology, 2006.
- [17] He T, Huang C, Blum B, *et al.* Range-Free localization schemes for large scale sensor networks. In: MobiCom 2003. San Diego: ACM, 2003. 81–95.
- [18] Experiment Data (in Chinese). <http://home.ustc.edu.cn/~xyyyeah/rssidata.xls>
- [19] Guest P. Numerical Methods of Curve Fitting. Cambridge University Press, 1961.
- [20] Zhang Y, Xi M, Chen C. Numerical Calculation Methods and Algorithms. Beijing: Science Press, 2000 (in Chinese).
- [21] Shen X, Wang Z, Jiang P, *et al.* Connectivity and RSSI based localization scheme for wireless sensor networks. In: Huang DS, Zhang XP, Huang GB, eds. Proc. of the ICIC 2005. LNCS 3645, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. 578–587.

附中文参考文献:

- [18] 实验数据. <http://home.ustc.edu.cn/~xyyyeah/rssidata.xls>
- [20] 张韵华, 奚梅成, 陈长松. 数值计算方法和算法. 北京: 科学出版社, 2000.



徐学永(1985—),男,博士,主要研究领域为无线传感器网络,移动 ad-hoc 网络.



徐宏力(1980—),男,博士,主要研究领域为无线传感器网络,分布式计算.



黄河(1983—),男,博士,主要研究领域为无线传感器网络定位算法,博弈论.



张银东(1986—),男,博士,主要研究领域为无线传感网络,无线协作网.



黄刘生(1957—),男,教授,博士生导师,主要研究领域为无线传感器网络,信息安全,分布式计算.



刘刚(1986—),男,博士,主要研究领域为无线传感网络,无线协作网.