

# 基于 Zigbee 井下无线传感器网络的定位方法

张治斌, 徐小玲, 阎连龙

(河南理工大学 电气工程与自动化学院, 河南 焦作 454000)

**摘要:** 根据井下人员定位系统对定位方法的要求, 提出了基于 RSSI (Received Signal Strength Indicator) 的加权质心定位算法, 它综合了基于测距的定位和非测距的定位, 并将固定锚节点之间的距离和信号强度信息考虑进来对固定锚节点的权值进行校正. 实验结果证明, 所提出的算法能够提高定位精度.

**关键词:** Zigbee; 无线传感器; 定位方法

中图分类号: TD655.3 文献标识码: A

## Underground localization algorithm of wireless sensor network based on Zigbee

ZHANG Zhi-bin, XU Xiao-ling, YAN Lian-long

(School of Electric Engineering and Automation, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

**Abstract:** For the requirement of underground localization, RSSI (Received Signal Strength Indicator) based centroid-weighted localization algorithm was proposed. The algorithm combined range-based and range-free localization methods and considered the information of distance and signal strength between fixed anchors to correct the weight coefficients. Simulation results demonstrate that the algorithm can improve the localization accuracy.

**Key words:** Zigbee; wireless sensor; localization algorithm

ZigBee<sup>[1]</sup>技术具有功耗小、时延短、网络容量大和安全等优点, 在短距离、低功耗、无线通信中具备特有的技术优势, 本文主要针对大中型煤矿基于 ZigBee 技术的井下人员定位系统设计出支持 Zigbee 技术的 CC2430 模块的定位方法.

## 1 井下人员定位算法

### 1.1 井下人员定位算法的确定

根据定位机制, 可将现有无线传感器网络定位算法<sup>[2]</sup>分为2类: 基于测距技术的定位算法和无需测距的定位算法. 基于距离的方法使用 TOA (Time of Arrival), TDOA (Time Difference of Arrival), AOA (Angle of Arrival), RSSI (Received Signal Strength Indicator) 等方法. 无需测距的定位算法中质心、凸规划、DV-Hop、MDS-MAP 和 APIT 也是比较流行的. 通过分析, 笔者决定采用 RSSI 定位方法与非测距定位算法中的质心定位算法相结合的方法以适合井下大规模低能耗的无线传感器网络. 主要采用将2种算法相结合来对井下固定的未知位置节点进行定位计算, 这也是对移动节点进行定位跟踪的一个重要环节.

## 1.2 无线传感器网络节点的定位算法

在以往的研究成果中有提出将 RSSI 测距和质心算法相结合来进行定位的相关算法<sup>[3]</sup>。如文献 [3] 的加权质心算法中, 主要是利用固定锚节点和未知节点之间的 RSSI 值作为依据来计算每个固定锚节点的权值, 通过权值来体现固定锚节点对质心坐标决定权的大小, 利用权值来体现固定锚节点对质心位置的影响程度, 反映它们之间的内在关系。网络中的  $n$  个固定锚节点, 锚节点  $B_i$  已知位置坐标为  $(x_i, y_i)$ , 其中  $1 \leq i \leq n$ , 未知节点  $M$  的估测位置坐标为  $(x, y)$ 。那么加权质心计算公式为

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, y = \frac{\sum_{i=1}^n w_i y_i}{\sum_{i=1}^n w_i},$$

其中,  $w_i$  为每个固定锚节点的权值。但是在现实应用中, 由于受到环境因素的影响, 相同的距离得到的 RSSI 可能相差很多。于是本文提出一种对加权定位算法的改进, 将测量得到的信号强度信息和固定锚节点间的实际距离同时作为参考, 利用这些已知信息对各固定锚节点的权值进行校正, 这样可以增加加权定位算法对不同环境的适应性, 提高其算法精度。

## 2 基于 RSSI 校验的加权质心定位算法

### 2.1 信号传播模型

基本的无线电传播模型有 3 个: 自由空间模型、双向的地面反射模型和屏蔽模型。自由空间模型和双向的地面反射模型通过传播距离的确定性函数来预测接收信号的功率。这 2 个模型都将通信范围描述为理想的圆。实际上, 由于多路径损耗的影响, 在某个距离上接收到的信号功率是个随机值。屏蔽模型将理想的圆形模型扩展为更合适的统计模型, 因而更具有一般性而被广泛采用。研究表明, 尽管煤矿内部环境复杂, 但由于煤矿安全监测布局无线传感器网络节点间传输可用屏蔽模型来表述, 模型为  $P_r(d_0)/P_r(d) = (d/d_0)^\alpha + \zeta$ , 其中,  $\alpha$  为路径损耗指数, 通常通过实际测量来确定。屏蔽模型包括 2 部分: 第 1 部分是路径损耗模型, 即在距离  $d$  上的接收平均功率, 用  $P_r(d)$  表示。通过采用接近中心的距离  $d_0$  作为参考,  $P_r(d)$  的值根据  $P_r(d_0)$  来计算; 第 2 部分为  $\zeta$  在某个距离上接收信号功率的变化, 并为对数正态随机变化。

通过实验, 在下述方法中取  $\alpha = 2.8889$ ,  $\zeta = -0.0635$ 。通过计算可知, 不计算  $\zeta$  得到的测量误差不大, 因此, 为了简易计算, 将第 2 部分忽略不计, 得

$$P_r(d_0)/P_r(d) = (d/d_0)^\alpha. \quad (1)$$

在下述方法中, 接收节点对一系列连续的信标信号进行采样, 以降低 RSSI 测量的不确定性。

### 2.2 RSSI 测距数据<sup>[4]</sup>

CC2430 芯片自身具有测定 RSSI 的功能。CC2430 芯片具有内置的 RSSI (接收信号强度) 指示器。CC2430 芯片的 RSSI 是一个 8 位的寄存器值, RSSI\_VAL 为转换前 RSSI 功率值, 单位为  $\text{dB} \cdot \text{m}$ 。其中 RSSI\_VAL 可以通过式 (2) 转化为与 RF 管脚相关的功率  $P$ 。RSSI\_OFFSET 为与射频模块天线等因素有关的一个能量修正值, 对于在不同的环境参数或具体的射频模块来说, 它的数值一般是不同的, 需要对射频模块进行测距实验进行测定。然后通过式 (1) 将它转换为节点间距离, 从而才能进行定位计算。

$$\text{RSSI\_VAL} = \text{RSSI} - 256 (\text{dB} \cdot \text{m}), P = \text{RSSI\_VAL} + \text{RSSI\_OFFSET} (\text{dB} \cdot \text{m}), \quad (2)$$

其中, RSSI\_OFFSET 大约为  $-45 \text{ dB} \cdot \text{m}$ 。在实验室室内的环境中, 用多块 CC2430 模块测量不同距离下 RSSI 值 (表 1), RSSI 值并不表示接受功率的值, 而是测 RSSI 寄存器中的 16 进制数。

从对 CC2430 模块的实际测量可知, RSSI 值在  $0x56 \sim 0x97$  之间, 当距离太远时, 由于 RSSI 值受到环境、多径效应和节点自身增益等影响, 收到的信号强度值与距离的关系很难稳定得到, 使测得的 RSSI 值将变得无效。因此在定位计算时, 设定当接收到的场强低于某一值时, 对接收到较小的场强值不予考虑, 也即定位时该节点不参与计算。然后利用 Matlab 的多项式拟合函数进行数据拟合。得  $D = 0.0082 \text{RSSI}^2 - 2.1212 \text{RSSI} + 137.1512$ 。该公式不是在所有的环境都适合, 只在该系统演示环境中适合, 因此在具体的

定位计算时，还需要根据应用环境重新进行拟合，确定适合应用环境的拟合函数。

表 1 RSSI 与距离的关系  
Table 1 The relationship between RSSI and the distance

RSSI	D/cm	RSSI	D/cm	RSSI	D/cm	RSSI	D/cm	RSSI	D/cm
0x92	10	0x77	160	0x5E	700	0x57	1 100	0x55	1 500
0x8B	20	0x73	200	0x5C	800	0x56	1 200	0x56	1 600
0x83	40	0x71	240	0x58	900	0x56	1 300	0x55	1 700
0x7D	80	0x6A	360	0x57	1 000	0x56	1 400	⋮	⋮
0x79	120	0x6A	600						

### 2.3 加权质心算法的权值计算

在该算法中，选择所有锚节点进行定位计算时，RSSI 值较小的锚节点离未知节点一般比较远，由于 RSSI 值受环境的影响很大，可能会造成一定的定位误差。且在该算法中需通过测量锚节点之间的 RSSI 值，如果距离太远而导致锚节点之间不能通信也将对定位精度产生一定的影响。因此首先将未知节点接收到的所有固定锚节点的 RSSI 值进行分析排序，采用 RSSI 值大的前几个锚节点进行节点定位计算。具体做法为定位节点在收到  $m$  个锚节点信息后，对锚节点依其 RSSI 值从大到小排序，然后选择 RSSI 值较大的  $n$  个锚节点并建立 RSSI 值与节点到锚节点距离的映射。建立 2 个集合：锚节点 RSSI 值集合  $RSSI - set = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ ；锚节点位置集合  $Position - set = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\}$ 。

对于  $n$  个固定锚节点  $B_1(x_1, y_1), B_2(x_2, y_2), \dots, B_n(x_n, y_n)$ ，未知节点  $M(x, y)$  到其距离分别为  $d_1, d_2, \dots, d_n$ 。首先，只考虑 2 个节点  $B_1, B_2$ ，假设 2 质点的质心在  $B_{12}$ ，位置为  $(x_{12}, y_{12})$ ， $B_{12}$  到  $B_1$  和  $B_2$  的距离分别为  $d_1, d_2$ 。显然可知存在  $(x_{12} - x_1)/d_1 = (x_{12} - x_2)/d_2$  和  $(y_{12} - y_1)/d_1 = (y_{12} - y_2)/d_2$ 。可得  $x_{12} = (x_1/d_1 + x_2/d_2) / (1/d_1 + 1/d_2)$ ， $y_{12} = (y_1/d_1 + y_2/d_2) / (1/d_1 + 1/d_2)$ 。由此，可以简单的假设  $1/d_i$  为权值，因为这体现出距离未知节点距离近的锚节点的权值大，其误差会比较小；而距离未知节点距离远的锚节点的权重小，其误差会比较大，显然这样选择加权因子能体现各个锚节点对于未知节点的决定权的大小，其约束力符合加权质心算法的要求。基于上面的假设，可以得到最终加权质心的计算式为

$$x_{123\dots n} = \frac{x_1/d_1 + x_2/d_2 + x_3/d_3 + \dots + x_n/d_n}{1/d_1 + 1/d_2 + 1/d_3 + \dots + 1/d_n}, y_{123\dots n} = \frac{y_1/d_1 + y_2/d_2 + y_3/d_3 + \dots + y_n/d_n}{1/d_1 + 1/d_2 + 1/d_3 + \dots + 1/d_n}$$

权值的选择： $w_i = 1/d_i$ 。

### 2.4 未知节点与锚节点之间距离的校正计算<sup>[5]</sup>

在下面的描述中， $RSSI_i$  为未知节点  $M$  接收到固定锚节点  $B_i$  信号的 RSSI 平均值， $dB \cdot m$ ； $P_i$  为未知节点  $M$  接收到固定锚节点  $B_i$  的信号强度平均值， $mW$ 。两者的转换关系  $P_i = 10^{RSSI_i/10}$ 。

计算未知节点与固定锚节点的距离时，以固定锚节点对之间的距离和测量的 RSSI 值作为参考，考虑固定锚节点之间的距离和信号强度信息对固定锚节点的权值进行校正，从而提高算法的精度。 $RSSI_{ij}$  为固定锚节点  $B_i$  接收到固定锚节点  $B_j$  信号 RSSI 平均值， $dB \cdot m$ ， $P_{ij}$  为固定锚节点  $B_i$  接收到固定锚节点  $B_j$  信号强度平均值， $mW$ ，同理有  $P_{ij} = 10^{RSSI_{ij}/10}$ 。

$B_{d_{ij}}$  为固定锚节点  $B_i$  和  $B_j$  之间的距离。 $d_i^j$  为以固定锚节点对  $B_i$  和  $B_j$  为参考时代入式 (1) 计算得到的从未知节点  $M$  到固定锚节点  $B_i$  距离。由  $P_{ij}/P_i = [d_i^j / (B_{d_{ij}})]^\alpha$ ，从而得到  $d_i^j = P_{ij}^{1/\alpha} B_{d_{ij}} / P_i^{1/\alpha}$  ( $i \neq j$ )。因此未知节点到固定锚节点  $B_i$  的距离  $d_i$  可表示为所有的  $d_i^j$  对于所有  $j$  的可能值的平均值，即  $d_i = (d_i^1 + d_i^2 + \dots + d_i^n) / (n - 1)$ 。

### 2.5 误差定义

根据计算的  $d_i$ ，利用  $w_i = 1/d_i$  计算未知节点  $M$  的位置，定义定位误差  $E_R$ ，假设计算得到的未知节点的位置为  $(x, y)$ ，其真实位置为  $(x_e, y_e)$ 。则定位误差  $E_R = [(x - x_e)^2 + (y - y_e)^2]^{1/2}$ 。

### 3 实验及结果分析

采用 Matlab 进行定位仿真, 检验算法性能. 首先采用一个  $30\text{ m} \times 40\text{ m}$  的区域内进行仿真. 将锚节点坐标定为 4 个顶点, 在这个区域内, 任取格点  $(10, 10)$ ,  $(10, 20)$ ,  $(10, 30)$ ,  $(20, 10)$ ,  $(20, 20)$ ,  $(20, 30)$  为未知节点的位置, 进行定位计算. 图 1 (a) 为未知节点摆放在上述 6 个位置时定位误差之间的关系. 当锚节点个数不变时, 质心算法对不同位置的未知节点定位误差影响较大, 而改进后的算法有更好的定位精度. 其次, 通过固定一个未知节点位置为  $(20, 20)$  和增加的锚节点的个数来检测基于 RSSI 检验的加权质心算法与加权质心算法的定位误差. 由图 1 (b) 可以看出, 基于 RSSI 检验的加权质心算法的定位误差低于加权质心算法的定位误差, 当锚节点个数大于 2 个时, 节点位置误差低于  $5\text{ m}$ , 因此, 在实际测量中, 一般要求未知节点至少能与 3 个节点保持通信, 从而提高定位精度. 在实验过程中, 可以固定两锚节点例如  $(0, 0)$ ,  $(40, 30)$ , 移动两锚节点  $(0, 30)$ ,  $(40, 0)$ , 锚节点的位置由矩形向锯齿型再到直线的变化过程中, 计算未知节点定位误差, 可知定位误差逐渐增加. 因此在定位精度允许的范围内, 可以将锚节点位置布置成直线形式, 从而降低锚节点的数量.

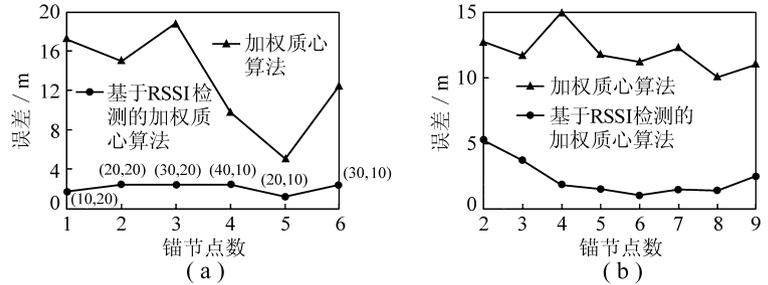


图 1 锚节点个数不变和增加时定位误差的比较

Fig. 1 The localization error comparison at the same number and the increasing number of anchor nodes

### 4 结 语

根据目标定位中的低成本、低通信开销、高准确度的要求, 提出基于 RSSI 检验的加权质心定位方法. 它综合了基于测距的定位和非测距的定位, 克服了定位算法对硬件的额外需求和通信开销大的缺点, 提高了定位精度.

### 参考文献:

- [1] 湛浩旻, 孙长嵩, 吴 珊, 等. ZigBee 技术在煤矿井下救援系统中的应用 [J]. 计算机工程与应用, 2006, 42 (24): 181 - 183.  
Zhan Haomin, Sun Changsong, Wu Shan, et al. The application of the ZigBee technology in coal mine rescue system [J]. Computer Engineering and Applications, 2006, 42 (24): 181 - 183.
- [2] 马玉秋. 基于无线传感器网络的定位技术研究及实现 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2006.  
Ma Yuqiu. Research and implementation of positioning technology based on wireless sensor network [D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2006.
- [3] 林瑞仲. 面向目标跟踪的无线传感器网络研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2005.  
Lin Ruizhong. The research the wireless sensor network of goal-oriented track [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2005.
- [4] 李 响, 邓中亮, 王 川, 等. 基于 Zigbee 的无线传感器网络定位系统的研究 [EB/OL]. <http://www.paper.edu.cn>, 2007 - 09 - 29.  
Li Xiang, Deng Zhongliang, Wang Chuan, et al. The research on positioning system for wireless sensors network based on Zigbee [EB/OL]. <http://www.paper.edu.cn>, 2007 - 09 - 29.
- [5] 汪 炆. 无线传感器网络定位技术研究 [D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2007.  
Wang Yang. A research on the localization technology of wireless sensor networks [D]. Hefei: China University of Science and Technology, 2007.