

无线传感器网络中基于 RSSI 算法的优化^①

龙铁光, 黄廷磊

(桂林电子科技大学 电子工程与自动化学院, 桂林 541004)

摘要: 研究表现煤矿井下巷道狭长、信号多径效应明显、通信条件差, 井下无线传感器节点定位对环境敏感, 导致节点定位误差较大. 基于传统的 RSSI 算法基础上, 提出一种给出衰减校正因子的三边加权质心定位算法. 算法通过对 RSSI 衰减测量值补偿校正, 近似接近节点间实际真实值; 取任意的三点的校正距离算出未知节点的估计值后, 求估计值的加权质心坐标为节点估计坐标. 仿真结果表明, 在相同的实验环境下, 该改进的算法比传统的 RSSI 算法有更小的定位误差, 提高算法对环境的适应性和定位精度, 为井下无线传感器网络节点定位提供了依据.

关键词: 无线传感器网络; 衰减校正因子; RSSI

Optimization of RSSI Algorithm in Wireless Sensor Network

LONG Tie-Guang, HUANG Ting-Lei

(School of Electronic Engineering and Automation, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: The researches show that there are various questions in the coal mine, such as the long-narrow underground roadway, significant the signal multipath effect, poor communication conditions, and so on. Underground wireless sensor is sensitive to the environment which will lead large error to the node location. On the basis of traditional RSSI algorithm, this paper proposed a trilateral weighted centroid location algorithm with a given attenuation calibration factor. Firstly, the measured attenuation value of RSSI is compensated to approximate the actual between the nodes. Secondly, the weighted centroid coordinates of estimates are calculated to be node coordinates after obtaining the estimates of unknown nodes by taking any three of the calibration distance. Simulation results demonstrate that, in the same experimental environment, the proposed RSSI algorithm performs smaller location error than the traditional, improves the adaptability to environment and positioning accuracy, and provides the basis for underground wireless sensor network node location.

Key words: WSN; attenuation calibration factor; RSSI

在无线传感器网络(WSN)的许多应用中, 监测到事件的位置信息至关重要, 定位技术是 WSN 关键的技术之一. 根据无线传感器节点定位机制的不同, 无线传感器网络节点定位分为基于测距的定位算法(range-based)和距离无关(range-free)的定位算法. 基于距离的定位中, 常采用的方法有: 基于到达时间(time of arrival, TOA)的定位、基于到达时间差(time difference of arrival, TDOA)的定位、基于接受信号强

度指示(received signal strength indicator, RSSI)的定位和基于到达角度测量(angle of arrival, AOA)的定位等. 与距离无关的定位算法主要有: 质心算法、DV-Hop 算法、Amorphous 算法、APIT 算法等. 其中最常用的是利用信标节点到未知节点的 RSSI(接受信号强度指示)值来估算未知节点到信标节点的距离, 由于无线传感器节点都有无线电发射能力, 不需要添加任何额外的硬件设备, 只是在现有的硬件基础上读取信号的场强

^① 基金项目: 国家自然科学基金(61163059)

收稿时间: 2012-06-21; 收到修改稿时间: 2012-07-31

值再经过数据处理和算法实现便可实现定位。

然而 RSSI 在煤矿安全监测节点定位实际应用中, 由于煤矿井下巷道狭小, RSSI 对环境的变化十分敏感, 相同的节点和距离在不同环境下测出的 RSSI 值差异可能非常大; 即使相同条件下, 不同方向和区域均会引起 RSSI 值不同. 煤矿井下巷道内的温度变化, 机车和人员流动, 都会引起某无线传感节点的信号强度变化, 从而导致节点定位误差较大, 定位精度不是十分理想, 有时会产生 50% 的定位误差^[1].

为了降低 RSSI 测量误差, 中国电子科技集团公司第十三研究所陈昌祥、达维、周洁^[2]等人提出了基于 RSSI 的无线传感器网络距离修正定位算法, 该算法具有很高的容忍性, 但是无法保证三个圆相交存在三个交点, 同时说明相交区域近似质心作为节点坐标估计存在很大的局限性; 海军工程大学的冯成旭、刘忠、程远国^[3]等人提出了三角形质心模型和加权质心的权重系数上进行优化, 此方案采用了 APIT 三角形内点测试法是重要思想, 无疑使 RSSI 定位更加复杂化. 而本文中提出衰减校正因子, 直接根据信标节点的位置信息, 测量估计环境和衰减等原因的测量值变化, 对未知节点的 RSSI 测量值进行校正. 不仅不需判断任意三个信标节点通信区域是否有交点, 而且在计算上简单实用, 极大的减少了累积误差的出现.

1 基于RSSI的定位算法

基于 RSSI(Received Signal Strength Indication)的定位算法^[4], 是一种基于接受信号强度指示测距的定位算法. 算法通过测量发送功率和接受功率, 计算传播损耗, 将无线信号的传输损耗转换成节点间间距, 其信号传播的衰减模型^[5]为:

$$RSSI(d) = RSSI(d_0) - 10\lambda \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + \zeta_\tau \quad (1)$$

其中, $RSSI(d)$: 指离发射源距离为 d 处接收到的 RSSI 强度值, 单位为 dBm ; $RSSI(d_0)$: 指对应 d_0 处未知节点收到的 RSSI 强度值, 单位为 dBm ; d : 指发射端到接收端的距离, 单位为 m ; d_0 : 指参考距离值, 单位为 m ; ζ_τ : 表示标准偏差, 取值一般在 1~5; λ : 表示路径的衰减指数, 周围环境和障碍物与之密切相关.

由公式(1)可知:

$$d = 10^{\frac{RSSI(d_0) - RSSI(d) + \zeta_\tau}{10\lambda}} \times d_0 \quad (2)$$

根据式(1)计算出基站接收到待测节点发送的无线信号强度后, 与基站接收到参考点 d_0 处的发送信号的强度比较, 就可以根据式(2)解出待测节点和基站之间的距离, 在此基础之上, 通过三边测量法求解未知节点的位置坐标.

三边测量法(Trilateration)如图(1)所示, 已知 A, B, C 三个信标节点的坐标分别为 (x_a, y_a) 、 (x_b, y_b) 、 (x_c, y_c) , 到未知节点 D 的距离分别为 d_a 、 d_b 、 d_c , 节点 D 的坐标为 (x, y) .

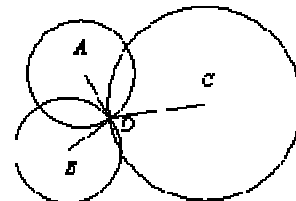


图 1 三边测量图

则有如下的公式:

$$\begin{cases} \sqrt{(x - x_a)^2 + (y - y_a)^2} = d_a \\ \sqrt{(x - x_b)^2 + (y - y_b)^2} = d_b \\ \sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2} = d_c \end{cases} \quad (3)$$

由上式(3)可得 D 的坐标为:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2(x_a - x_c) & 2(y_a - y_c) \\ 2(x_b - x_c) & 2(y_b - y_c) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_a^2 - x_c^2 + y_a^2 - y_c^2 + d_c^2 - d_a^2 \\ x_b^2 - x_c^2 + y_b^2 - y_c^2 + d_c^2 - d_b^2 \end{bmatrix}$$

2 RSSI的定位算法优化

2.1 RSSI 定位误差分析

RSSI 距离的定位原理是收集网络中的所有节点间的 RSSI 值, 然后根据传播模型推导计算出所有节点间距离的相对关系. 在一个传感器网络中, 根据信标节点和未知节点间的距离相对关系, 三边测量计算出未知节点的坐标位置信息. 同时也可以通过非线性规划和线性规划来进行求解. 但是, 由于环境的干扰和电磁场信号的无规则衰减, 导致信标节点到未知节点的 RSSI 值换算出来的距离值远远大于从未知节点到信标节点的实际距离真实值, 由 RSSI 换算值得出的模型实际情况如图 2 所示. 未知节点的坐标位置应该是一个区范

围内的某点的坐标, 然而传统的 RSSI 定位算法却是把这个区当做一个理想真实的坐标点来计算.

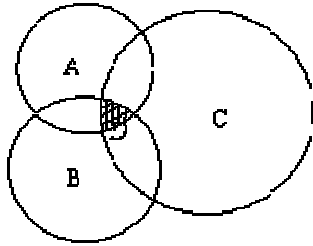


图 2 三边测量误差图

2.2 算法优化的改进原理

在现有的定位算法机制中, 多数算法都需有少数已知坐标节点. 如果令传感器网络中信标节点的真实位置为 (x_0, y_0) , 信标节点间传播损耗 RSSI 转换三边估计值为 (\hat{x}_0, \hat{y}_0) , 偏离误差为 $(\Delta x_0, \Delta y_0)$. 则有:

$$\begin{cases} x_0 = \hat{x}_0 + \Delta x_0 \\ y_0 = \hat{y}_0 + \Delta y_0 \end{cases} \text{而单一测距表示为:}$$

$$d_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} = f(x, y)$$

因此, 有: $f(x_0, y_0) = f(\hat{x}_0 + \Delta x_0, \hat{y}_0 + \Delta y_0)$

按泰勒级数展开成:

$$f(\hat{x}_0 + \Delta x_0, \hat{y}_0 + \Delta y_0) \approx f(\hat{x}_0, \hat{y}_0) + \frac{\partial f(\hat{x}_0, \hat{y}_0)}{\partial \hat{x}_0} \Delta x_0 + \frac{\partial f(\hat{x}_0, \hat{y}_0)}{\partial \hat{y}_0} \Delta y_0$$

为了消除非线性, 通过对上式求偏导, 整理后可得:

$$\begin{cases} \Delta x = \frac{\sum_{i=1}^N a_{xi} \Delta d_i \sum_{i=1}^N a_{yi}^2 - \sum_{i=1}^N a_{yi} \Delta d_i \sum_{i=1}^N a_{xi} a_{yi}}{\sum_{i=1}^N a_{xi}^2 \sum_{i=1}^N a_{yi}^2 - (\sum_{i=1}^N a_{xi} a_{yi})^2} \\ \Delta y = \frac{\sum_{i=1}^N a_{yi} \Delta d_i \sum_{i=1}^N a_{xi}^2 - \sum_{i=1}^N a_{xi} \Delta d_i \sum_{i=1}^N a_{xi} a_{yi}}{\sum_{i=1}^N a_{xi}^2 \sum_{i=1}^N a_{yi}^2 - (\sum_{i=1}^N a_{xi} a_{yi})^2} \end{cases} \quad (4)$$

其中,

$$\begin{cases} \hat{d}_i = \sqrt{(x_i - \hat{x}_0)^2 + (y_i - \hat{y}_0)^2} \\ \Delta d_i = \hat{d}_i - d_i \\ a_{xi} = \frac{x_i - \hat{x}_0}{\hat{d}_i}, a_{yi} = \frac{y_i - \hat{y}_0}{\hat{d}_i} \end{cases}$$

定义 $\Delta d_i = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$ 为一个测量估计误差值, 然而 RSSI 的衰减因各种干扰、衍射、障碍物等不确定因素导致衰减强度随节点间距离 d 变化成无规则性变化. 为了误差校正因子的线性性和合理性, 设定定位区域内任意两节点间的测量距离与其衰减干扰及损耗产生的误差值 $\varphi(d)$ 存在如下关系式: $\varphi(d) = \alpha d + \beta$. 其中, α 为一次线性误差校正系数, 为线性误差校正常数. β 为求解系数, 可令:

$$D(\alpha, \beta) = \sum_{i=1}^n [\alpha d_i + \beta - \varphi(d_i)]^2 \quad (5)$$

其中, d_i 为节点间距离测量值, $\varphi(d_i)$ 为距离测量的衰减误差值, 式(5)的误差线性校正系数 α, β , 可通过已知的信标节点间的坐标值及测量值, 通过多元函数的极值求法对其求偏导, 即:

$$\begin{cases} \frac{\partial D}{\partial \alpha} = 2 \sum_{i=1}^n [\alpha d_i + \beta - \varphi(d_i)] = 0 \\ \frac{\partial D}{\partial \beta} = 2 \sum_{i=1}^n [\alpha d_i + \beta - \varphi(d_i)] = 0 \end{cases} \quad (6)$$

根据二元一次方程可对式(6)求解:

$$\begin{cases} \alpha = \frac{\sum_{i=1}^n d_i \varphi(d_i) - \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n d_i \right] \left[\sum_{i=1}^n \varphi(d_i) \right]}{\sum_{i=1}^n d_i^2 - \frac{1}{n} \left[\sum_{i=1}^n d_i \right]^2} \\ \beta = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi(d_i) - \alpha \sum_{i=1}^n d_i}{n} \end{cases} \quad (7)$$

当 α, β 可知, 初步 RSSI 衰减转化值得知时, 则得节点间测距校正值为:

$$\Delta d = (\Delta d_i + \varphi(d)) / 2 \quad (8)$$

式(8)中的校正值 Δd 就是本文提出的衰减校正因子. 利用监测区域布置的信标节点已知实际坐标信息及 RSSI 测距转换值, 获取区域内的误差差值、校正系数及常数, 进而利用得到这些值的来校正补偿未知节点的 RSSI 测距估计值. 对 RSSI 衰减模型测量值进行校正, 其校正公式如下所示:

$$d_{i(RSSI')} = d_{i(RSSI)} - \Delta d \quad (9)$$

此外, 对 RSSI 衰减转化值校正后, 对校正值通过三边测量法计算出的坐标, 进行加权质心处理, 最后

的质心坐标为本文设计的未知节点估计值。假设一个巷道里布置 N 个传感器节点, M ($M \geq 4$) 个信标节点能与待测节点连通, 则一个未知节点有 C_M^3 三边校正, 设它们的坐标分别为 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_i, y_i) \dots (1 \leq i \leq C_M^3)$; 设三边校正权值系数为 Q_i , 则 $Q_i = 1 / (d_{iA} + d_{iB} + d_{iC})$, 其中 d_{iA}, d_{iB}, d_{iC} 为任意三个锚节点到未知节点的衰减校正, 共有 C_M^3 组; 则未知节点的坐标估计值为 (\hat{x}, \hat{y}) , 有:

$$\begin{cases} \hat{x} = \sum_{i=1}^{C_M^3} Q_i x_i / \sum_{i=1}^{C_M^3} Q_i \\ \hat{y} = \sum_{i=1}^{C_M^3} Q_i y_i / \sum_{i=1}^{C_M^3} Q_i \end{cases} \quad (10)$$

2.3 算法优化的流程

本文优化算法具体实现程如下:

①信标节点向周围节点以相同功率周期性地广播信息, 信息中包括节点 ID 和坐标。

②待测节点接受超过一定阈值的信标节点信息后就不接收新的信息, 然后待测节点根据 RSSI 的值从强到弱对信标节点进行排序, 并根据 RSSI 值, 由式(1)建立节点到信标节点转换距离的映射。

③建立连通信标节点集合、待测节点到信标节点的距离映射集合和节点位置集合, 此三个集合描述为: 信标节点集合: $Beacon-set = (a_1, a_2, \dots, a_M)$ 待测节点到连通信标节点的距离映射集合: $D-set = (d_1, d_2, \dots, d_M), d_1 \leq d_2 \leq \dots \leq d_M$ 信标节点位置集合:

$$BP-set = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_M, y_M)\}$$

④由 $BP-set$ 根据式(4)、(7)算出误差定量 Δd_1 和衰减校正系数 α 与常数 β 后, $D-set$ 根据式(9)衰减校正误差后重新建立 $D-set = (d_1, d_2, \dots, d_M)$

⑤由 $Beacon-set = (a_1, a_2, \dots, a_M)$ 中任意三个信标节点与 $D-set = (d_1, d_2, \dots, d_M)$ 相对应的衰减校正, 根据三边测量法计算得出待测节点的估计值。

⑥根据所有的估计值, 根据式(10)加权质心处理得出未知节点的坐标估计值。

3 算法优化仿真及分析

在 $200 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ 的方形区域随机部署 100 个节点, 节点的传播半径相同, 且都为圆形区域, 参考距离 $d_0 = 5 \text{ m}$, ζ_τ 、 λ 分别为 3 和 2 的实验室环境。对

待测节点的定位误差 (ER) 进行定义, 计算公式为: $ER = \sqrt{(x - \hat{x})^2 + (y - \hat{y})^2}$ 。每次仿真结果都是通过运行算法 100 次, 然后取平均值得到的。

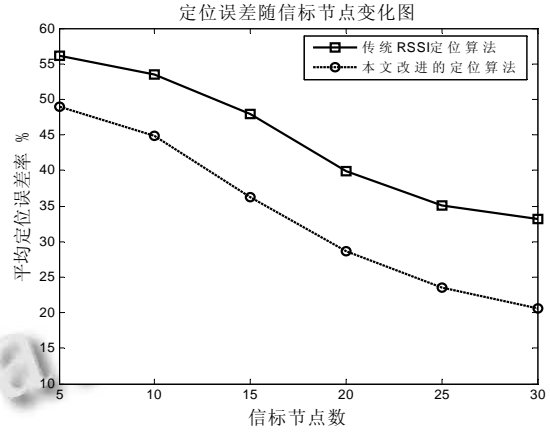


图 3 不同信标节点数误差图

从图 3 可知, 当信标节点数目低于 10% 时,

表 1 不同信标节点求导结果

信标数目	Δd_1	α	β	平均误差	误差下、降比率
10	11.85	3.21	0.78	44.93	16.2%
20	9.26	3.18	0.72	28.67	28.1%

节点定位误差百分比很高, 这说明节点分布稀疏时, 通信距离越长, RSSI 定位算法的衰减误差越大; 从表 1 的 Δd_1 值比较也能说明这点, 同时从误差下降比率 16.2% 和 28.1% 能说明本文直接校正补偿算法优化的高效性。此外, 本文的优化算法有效地提高节点定位精度, 随着信标节点的数目增加, 本文算法比传统的 RSSI 算法平均定位误差降低的较快, 误差率也明显降低很多。

4 结语

针对煤矿井下无线传感器网络节点定位精度低、误差大的难问题, 本文提出了一种基于 RSSI 的衰减校正因子的三边加权质心的优化算法的改进方案。在不增加硬件设备的条件下, 小规模求导运算符合小型传感器的设计要求的, 而且仿真结果验证了本文算法的有效性, 并且表明在信标节点比例较低的情况下, 本文算法的定位精度仍然比较高。同时与传统基于 RSSI 定位算法相比, 本文改进的算法在相同条件下节点定位精度更高, 稳定性能更好。

(下转第 151 页)

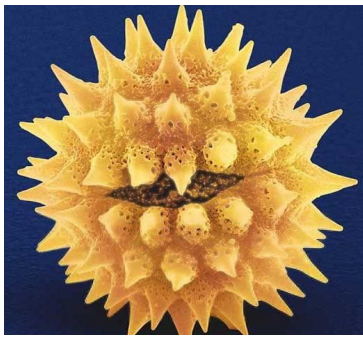


图 7 融合图像

方差和标准差反映了图像灰度相对于灰度平均值的离散情况. 复杂影像的灰度值离散程度大^[7]. 标准差反映的是灰度相对于平均值的离散程度, 通常, 如果一幅影像的标准差越大, 说明影像的灰度级别分布越分散, 即影像的动态变化范围越大, 地物间的可分性较好, 反映出更多的信息. 选择标准差作为评价指标可以同时从信息量和影像空间分辨率的提高两个角度来评价融合效果^[8]. 方差计算公式为:

$$\delta^2 = \frac{1}{m * n * 3} \sum_{k=0}^2 \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n (f\{i\}_{(i,j)} - \mu)^2 \quad (4)$$

式中, μ 为图像的均值. 标准差即方差的平方根.

计算源图像与实验效果图像的灰度均值与方差:

表 1 各图像灰度均值与方差值

	灰度均值	方差
源图像 1	331.850040	163590.939742
源图像 2	331.778369	163491.238559
源图像 3	331.815635	163634.040621
融合图像	335.182774	166594.486034

由上表可见, 图像的灰度均值与方差, 在融合之后都有显著增加. 这说明, 经过融合, 图像的轮廓边界

信息有所增加. 更重要的是, 我们在融合过程中从未分离过任何一张图像上的任何一点的三个通道值, 从而也就没有把这三通道的关联给切断, 最终我们的融合结果基本保证了不会产生大的颜色偏差.

5 结语

传统的图像融合方法一样, 本文通过小波变换的方法取得融合第一步所需要的基础依据, 但不同的是在具体实施融合数据时, 采用了 R、G、B 空间三个通道绑定式融合, 即从众多源图像中直接取我们所认为更有效的数据. 这样不仅在三通道的数据相关性上来说, 保持了原先的, 而且在算法的复杂性上来说, 也大大地简化了, 提高了融合的效率.

参考文献

- 1 葛哲学, 沙威. 小波分析理论与 MATLAB R2007 实现. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- 2 孙延奎. 小波分析及其应用. 北京: 机械工业出版社, 2005, 3.
- 3 鄢树. 基于小波变换的图像融合性能的研究. 微计算机信息, 2010, 1.
- 4 陶冰洁, 王敬儒. 采用小波分析的图像融合方法评述. 北京: 计算机工程与应用, 2005.
- 5 Gonzalez RC, Woods RE, Eddins SL. 数字图像处理 (MATLAB 版). 北京: 电子工业出版社, 2005.
- 6 周薇茹, 冯仲科, 聂敏莉, 刘赘. CBERS 与 ALOS 卫星影像融合前后图像质量对比与评价. 林业调查规划, 2009, 6.
- 7 袁金国. 遥感图像数字处理. 北京: 中国环境科学出版社, 2006.
- 8 柳文祎, 何国金, 张兆明, 刘慧婵. ALOS 全色波段与多光谱影像融合方法的比较研究. 科学技术与工程, 2008, 6.

(上接第 110 页)

参考文献

- 1 狄婧. 传感器网络节点定位算法在煤矿安全中的应用. 计算机仿真, 2011, 24(12): 88-91.
- 2 陈昌祥, 达维, 周洁. 基于 RSSI 的无线传感器网络距离修正定位算法. 通信技术, 2011, 44(2): 65-69.
- 3 冯成旭, 刘忠, 程远国. 一种基于 RSSI 的无线传感器网络的改进定位算法. 舰船电子工程, 2010, 18(10): 69-71.
- 4 Jiang AT, Zhou Z. Centroid localization lagorimforwireless

sensor networks. Computer Engineering and Applications, 2007, 43(20): 136-138.

- 5 Peng Y, Luo Q, Liu ZQ. An Automatic Evaluation System for IEEE1588 Synchronization Clock Unit IEEE. The Ninth International Conference on Electronic Measurement & Instruments. Beijing: IEEE Publications, 2009, 27(15): 408-413.