

基于 RSSI 的改进加权质心定位修正算法

龙 佳^{1,3}, 卑璐璐², 李 轶^{1,3}, 张 申^{1,3}

(1 中国矿业大学 物联网(感知矿山)研究中心, 江苏 徐州 221008; 2 徐州工程学院 信电工程学院, 江苏 徐州 221111; 3 中国矿业大学 信息与电气工程学院, 江苏 徐州 221008)

摘 要: 针对现有无线传感器网络中 RSSI 定位算法易受外部环境影响、定位精度低的问题, 提出一种基于 RSSI 的改进加权质心定位修正算法。该算法先根据 RSSI 测距值, 利用极大似然法对未知节点位置进行初步估计, 根据估计坐标值计算未知节点与 RSSI 信标节点间的近似距离, 剔除误差较大的测量组, 然后根据“能与未知节点通信的三个信标节点构成的三角形三边相等时定位误差最小”这一理论, 得出权值公式, 利用加权质心定位算法, 结合 TDOA 信标节点计算未知节点的坐标并修正。仿真结果表明, 该算法较传统的 RSSI 定位算法可有效减小定位误差, 提高定位精度。

关键词: 无线传感器网络; 接收信号强度指示; 极大似然法; 加权质心定位算法; 校正

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2017)04-0089-05

Improved Weighted Centroid Localization Correction Algorithm Based on RSSI

LONG Jia^{1,3}, BEI Lu-lu², LI Yi^{1,3}, ZHANG Shen^{1,3}

(1 Internet of Things Perception Mine Research Center, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China; 2 School of Information and Electrical Engineering, Xuzhou Institute of Technology, Xuzhou 221111, China; 3 School of Information and Electrical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

Abstract: Aiming at problem that the RSSI localization algorithm is vulnerable to the environment and it has low localization precision in wireless sensor networks, this paper proposed an improved weighted centroid localization correction algorithm based on RSSI. The algorithm estimated roughly the coordinate of unknown node by using RSSI values through maximum likelihood estimation, then it used the coordinate to calculate the approximate distance between the unknown node and the beacon nodes. The algorithm removed the measurement group whose error were large and it got the weighted formula by the theory that the positioning had the least error when the triangle was trilaterally equal and consisted of three beacon nodes which can communicated with the unknown nodes. The algorithm calculated and corrected the coordinate of unknown node with the help of TDOA beacon nodes through weighted centroid localization algorithm. The simulation shows that the algorithm can effectively reduce positioning errors compared with traditional RSSI localization algorithm and it can also improve localization accuracy.

Key words: wireless sensor networks; RSSI; maximum likelihood estimation; weighted centroid localization algorithm; correction

1 引言

在无线传感器网络^[1]中, 移动节点的定位已成

为研究的热点。通过在目标监测区域内随机部署大量通信能力强、成本低的传感器节点, 能够获得监测区域内的人员和设备的位置、数据信息, 因此在军事

管理、智慧城市、灾害监控、智能交通等方面得到广泛应用^[2-3].

无线传感器网络定位方法主要分为两类:距离无关(range-free)的定位算法和距离相关(range-based)的定位算法.距离无关的定位算法是根据无线传感网络节点组成网络的连通性来确定未知节点的位置信息,主要包括质心算法、SPA 相对定位算法、DV-Hop 算法等^[4];距离相关的定位算法则是根据测量到的距离或者角度值信息,利用三边测量法、极大似然法等计算未知节点的位置,经典的测距算法主要包括 AOA、TOA、TDOA、RSSI 等^[5].随着无线通信技术的发展,新的测距定位技术不断出现,高精度定位在生产、交通等领域起着越来越重要的作用,科研人员在高精度定位方面提出了很多新的想法:文献[6]通过分析无线信号传播的路径损耗模型,对定位算法进行估计建模,以定位误差的倒数作为计算权值,并讨论了参考节点的数量对定位误差的影响;文献[7]以加权质心定位算法为出发点,选择满足特定要求的信标节点作为校正节点,实现对未知节点初始坐标的校正以提高精度;文献[8]以类正态分布密度曲线为基础,建立定位的 TDOA 误差模型,利用卡尔曼滤波对初始 TOA 测量值进行预处理,然后把处理后的 TOA 值作为卡尔曼滤波器的输入,以实现 TDOA/AOA 混合定位.本文提出一种基于 RSSI 的改进加权质心定位修正算法以提高节点的定位精度.

2 测距思想

RSSI 测距的低成本使得它被广泛应用到定位当中. RSSI 测距是根据接收到的信号强度的衰减来计算节点间的距离.由于无线信号的传播容易受到多径的影响,导致 RSSI 值不准确,因此,要合理选择传播损耗模型.在这里,我们把自由空间损耗模型和对数-常态分布模型^[9]相结合,来计算节点间的距离值.

自由空间损耗模型如式(1):

$$PL(d_0) = 32.44 + 10\lg d_0 + 10\lg f \quad (1)$$

式中, d_0 表示传播距离, n 表示路径损耗因子, f 表示发射信号的频率, $PL(d_0)$ 表示自由空间的路径损耗.

对数-常态分布模型如式(2):

$$PL(d) = PL(d_0) + 10\lg(d/d_0) + \xi_n \quad (2)$$

式中, $PL(d)$ 表示传播距离是 d 时系统的路径损耗, $PL(d_0)$ 表示传播距离是 $d_0 = 1$ m 时的路

径损耗, n 表示发射信号的衰减系数,取值范围在 2 ~ 5 之间, ξ_n 表示均值为 0 的高斯随机分布函数.

由以上两式可得信号强度值为

$$RSSI = P_{\text{send}} + P_{\text{amplify}} - PL(d) \quad (3)$$

在式(3)中,RSSI 表示节点间的信号强度, P_{send} 表示发射功率, P_{amplify} 表示天线增益, $PL(d)$ 表示路径损耗.由式(1)~(3)可求得节点间的测量距离 d .

RSSI 测距的一大缺点是测距精度不高,而 TDOA 测距^[10]是利用射频信号和超声波到达同一接收节点所产生的时间差来计算节点间的距离,其测距精度可达厘米级,准确性要远高于 RSSI.因此,本文算法选择部分 TDOA 测距的信标节点参与定位并修正定位结果,提高定位精度.

3 节点定位算法

3.1 极大似然法

在节点定位中,当未知节点获得其与信标节点的距离后,可以通过极大似然法计算自身的位置.极大似然法通过建立信标节点与未知节点间的距离方程组,利用最小二乘的思想,各节点协同计算定位出未知节点的坐标.极大似然法要求信标节点的个数要大于 3 个,否则无法完成定位.

3.2 加权质心定位算法

加权质心定位算法^[11-12]是一种距离无关的定位算法,它利用测量到的 RSSI 值计算信标节点的权值,由于每个信标节点的权值都不相同,它们对于质心坐标的影响程度也不相同,利用质心定位算法和求得的权值,便可计算出未知节点的坐标.

假设 n 个信标节点的坐标分别为 $(x_1, y_1), (x_2, y_2) \cdots (x_n, y_n)$,未知节点 P 的坐标为 $P(x, y)$,则加权质心定位算法的公式可表示为

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n w_n \cdot x_n}{\sum_{i=1}^n w_n} \quad (4)$$

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n w_n \cdot y_n}{\sum_{i=1}^n w_n} \quad (5)$$

式中, w_n 表示信标节点的权值,此权值为信标节点与未知节点之间距离的函数.距离越近的节点权值越大,距离越远的节点权值越小.

4 基于 RSSI 的改进加权质心定位修正算法

文献[13]证明了“当未知节点位于信标节点组

成的三角形内部且此三角形为等边三角形时,利用质心定位算法求得的定位误差最小”理论,根据此理论,把三角形的最大角倒数的幂值作为新的权值公式:

$$w_n = \left(\frac{1}{\beta_n}\right)^a \quad (6)$$

式中, β_n 表示每个符合条件的三角形所对应的最大角,其取值范围是 $\pi/3 < \beta < \pi$; a 为权值修正系数,通过改变 a 的值可以调整权值修正的程度. 由权值公式可知,当 β 越小时, $1/\beta$ 的值越大,它所对应的三角形在最终定位结果中具有更大的决定权.

4.1 算法流程

假设 n 个信标节点的坐标分别为 $(x_1, y_1), (x_2, y_2) \dots (x_n, y_n)$, 未知节点 P 的坐标为 $P(x, y)$. 在 n 个信标节点中,有 t 个信标节点采用 TDOA 方式与未知节点 P 进行通信, r 个信标节点采用 RSSI 方式与未知节点 P 进行通信, r 个 RSSI 信标节点到点 P 的距离为 $d_i (i = 1, 2, \dots, r)$.

根据以上分析,基于 RSSI 的改进加权质心定位修正算法具体实现流程如下.

(1) 根据 r 个 RSSI 测距值,首先利用极大似然法估计未知节点的坐标,得到初步估计坐标 $PP(xx, yy)$.

(2) 计算 $PP(xx, yy)$ 到 r 个 RSSI 信标节点的距离 $D_i (i = 1, 2, \dots, r)$,根据式(7)得到阈值 α ,选择前 rr 个阈值较小的 RSSI 信标节点参与步骤(3).

$$\alpha_i = \left| \frac{D_i - d_i}{d_i} \right| \quad (7)$$

(3) 令 $t + rr = m$,则共 m 个信标节点参与定位,建立参与定位节点的集合 $M = \{M_1, M_2, \dots, M_m\}$,其中 m 为所有参与定位的节点的个数.

(4) 集合 M 中任意三个节点可构成三角形,共得到 C_m^3 个三角形.若未知节点位于三角形内部,则称此三角形为定位三角形.建立所有的定位三角形集合 $C = \{\dots, (R_i, R_j, R_k), \dots\}; 1 \leq i, j, k \leq m$,假设定位三角形共 h 个.根据余弦公式计算集合 C 中每个定位三角形对应的最大角,分别为 $\beta = \{\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_h\}; \pi/3 < \beta < \pi$.

(5) 对于步骤(4)中的 h 个定位三角形,利用三边质心定位算法计算出它们的质心坐标分别为 $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_h, Y_h)$,再根据新的权值公式,将得到的质心坐标通过加权质心定位算法求得未知节点 P 的初始估计位置坐标 $p'(x', y')$,其中:

$$x' = \frac{\left(\frac{1}{\beta_1}\right)^a \times X_1}{\left(\frac{1}{\beta_1}\right)^a + \left(\frac{1}{\beta_2}\right)^a + \dots + \left(\frac{1}{\beta_h}\right)^a} + \frac{\left(\frac{1}{\beta_2}\right)^a \times X_2}{\left(\frac{1}{\beta_1}\right)^a + \left(\frac{1}{\beta_2}\right)^a + \dots + \left(\frac{1}{\beta_h}\right)^a} + \dots + \frac{\left(\frac{1}{\beta_h}\right)^a \times X_h}{\left(\frac{1}{\beta_1}\right)^a + \left(\frac{1}{\beta_2}\right)^a + \dots + \left(\frac{1}{\beta_h}\right)^a} \quad (8)$$

$$y' = \frac{\left(\frac{1}{\beta_1}\right)^a \times Y_1}{\left(\frac{1}{\beta_1}\right)^a + \left(\frac{1}{\beta_2}\right)^a + \dots + \left(\frac{1}{\beta_h}\right)^a} + \frac{\left(\frac{1}{\beta_2}\right)^a \times Y_2}{\left(\frac{1}{\beta_1}\right)^a + \left(\frac{1}{\beta_2}\right)^a + \dots + \left(\frac{1}{\beta_h}\right)^a} + \dots + \frac{\left(\frac{1}{\beta_h}\right)^a \times Y_h}{\left(\frac{1}{\beta_1}\right)^a + \left(\frac{1}{\beta_2}\right)^a + \dots + \left(\frac{1}{\beta_h}\right)^a} \quad (9)$$

(6) 从步骤(4)中的 h 个定位三角形中筛选出包含 TDOA 信标节点的三角形,共 f 个,重复步骤(5),得到未知节点 P 的修正坐标为 $p''(x'', y'')$,则未知节点 $P(x, y)$ 的最终坐标可表示为

$$x = x' \times \frac{h}{h+f} + x'' \times \frac{f}{h+f} \quad (10)$$

$$y = y' \times \frac{h}{h+f} + y'' \times \frac{f}{h+f} \quad (11)$$

4.2 误差评价

定位完成后,采用定位误差 ER 对算法性能进行评估.设未知节点的真实坐标为 (X, Y) ,实测坐标为 (x, y) ,则定位误差 ER 可表示为

$$ER = \sqrt{(X-x)^2 + (Y-y)^2} \quad (12)$$

5 仿真分析

为验证本文所提出算法的有效性,利用 Matlab 2014a 对算法进行仿真分析.所有节点分布在 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ 的正方形区域内,在该区域内设置信标节点和未知节点,所有节点都由随机函数生成.重复进行 100 次算法仿真,结果取 100 次的平均值,如下图所示.

图 1 为当 RSSI 信标节点为 30 个,采用 TDOA 测距的信标节点 t 为 2 个,权值修正系数 a 为 1 时,加权质心定位算法、基于 RSSI 的差分修正加权质

心定位算法和本文算法的定位误差随 RSSI 信标节点通信半径变化图。由图 1 可知,在相同的条件下,随着通信半径的增加,三种定位算法的误差都逐渐减小,并且本文算法的定位精度更高。当 RSSI 信标节点的通信半径为 50 m 时,定位误差最小可达 0.3 m。这是因为当信标节点个数不变时,伴随着 RSSI 信标节点通信半径的增大,能与未知节点通信的 RSSI 信标节点个数也逐渐增加,相应的参与到定位当中的 RSSI 信标节点和定位三角形的个数就会更多,加权修正后计算的结果也更精确。

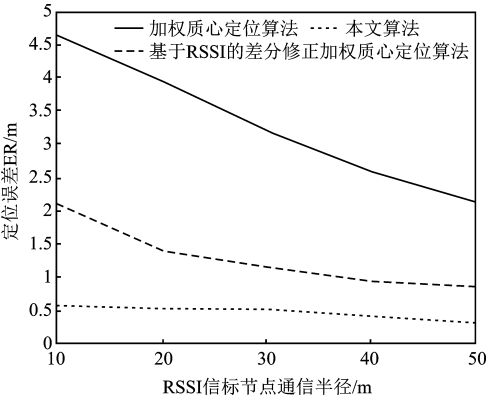


图 1 定位误差随 RSSI 信标节点通信半径变化仿真图

图 2 为当 RSSI 信标节点通信半径为 30 m,采用 TDOA 测距的信标节点 t 为 2 个,权值修正系数 a 为 1 时,三种算法的定位误差随 RSSI 信标节点数目变化图。同样的,随着 RSSI 信标节点个数的增多,三种定位算法的定位误差都逐渐减小。当 RSSI 信标节点个数大于 30 时,本文算法的定位误差几乎没有变化,性能更加稳定。

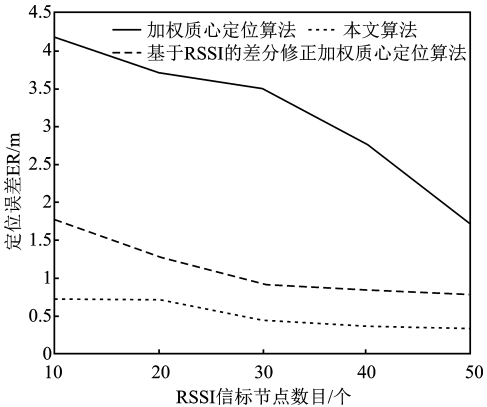


图 2 定位误差随 RSSI 信标节点数目变化仿真图

图 3 为当 RSSI 信标节点通信半径为 30 m,采用 TDOA 测距的信标节点 t 为 2 个,权值修正系数 a 分别为 1,2,3 时,本文算法的定位误差随 RSSI 信

标节点数目变化图。由图 3 可知,三种情况下,随着 RSSI 信标节点个数的增多,定位误差呈逐渐下降的趋势。在相同的条件下,当权值修正系数 a 为 1 时,未知节点的定位误差最大,而随着修正系数的逐渐增大,定位误差越来越小,这是因为当 a 增大时,在上述满足算法条件的三角形中,对应的最大角越小的三角形在计算过程中具有越大的决定权,定位结果精度更高。

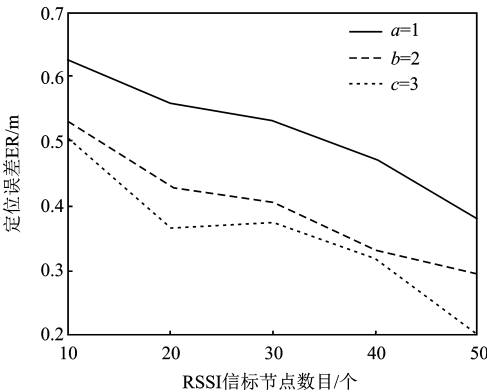


图 3 权值修正系数 a 取不同值时定位误差与 RSSI 信标节点数目关系图

图 4 为当 RSSI 信标节点通信半径为 30 m,权值修正系数 a 为 2,采用 TDOA 测距的信标节点 t 分别为 1,2,3 时,本文算法的定位误差随 RSSI 信标节点数目变化图。三种情况下的定位误差都随着 RSSI 信标节点个数的增多逐渐下降。当采用 TDOA 测距的信标节点个数为 3 时,定位误差最小,当 RSSI 信标节点个数为 50 时,误差可达 0.18 m。

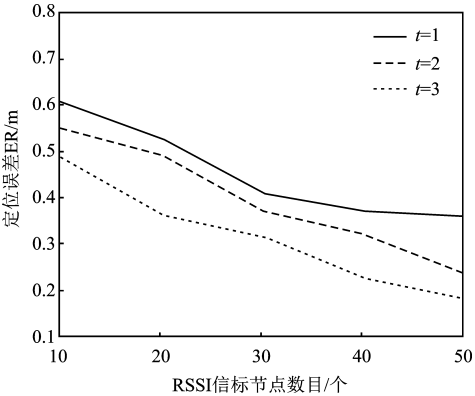


图 4 TDOA 信标节点 t 取不同值时定位误差与 RSSI 信标节点数目关系图

6 结束语

与传统的加权质心定位算法和基于 RSSI 的差分修正加权质心定位算法相比,本文提出的定位算法能够取得更好的定位效果,且稳定性也更高。算法

首先使用最大似然法估计初始坐标,由此筛选出符合条件的 RSSI 信标节点,然后根据权值公式和加权质心定位算法,在定位过程中加入 TDOA 信标节点以修正定位结果,提高定位精度. 在本文算法中,权值修正系数 a 和参与定位的 TDOA 信标节点的个数 t 的取值不同,会影响算法的性能和计算量. 下一步需要解决的主要问题是 在保证定位精度的同时,使算法能耗和计算量尽量较小.

参考文献:

[1] 张少平,李国徽. 无线传感器网络最小测距误差估计定位算法[J]. 小型微型计算机系统, 2011, 32(2): 218-223.

[2] Liu Y, Yang Z, Wang X, et al. Location, localization, and localizability[J]. Journal of Computer Science and Technology, 2010, 25(2): 274-297.

[3] 曹春萍,陈平. 混合定位算法在复杂室内环境下的应用研究[J]. 计算机应用研究, 2015, 32(5): 1424-1427.

[4] 李福芳,罗飞,齐德昱,等. 无线传感网节点自适应优化定位研究[J]. 微电子学与计算机, 2012, 29(10): 18-21.

[5] 王振朝,张琦,张峰. 基于 RSSI 测距的改进加权质心定位算法[J]. 电测与仪表, 2014, 51(21): 63-66.

[6] 崔法毅,邵冠兰. 基于 RSSI 多边定位误差的加权质心定位算法[J]. 红外与激光工程, 2015, 44(7): 2162-2168.

(上接第 88 页)

[5] 郝志鹏,曾声奎,郭健彬,等. 知识与数据融合的可靠性定量模型建模方法[J]. 北京航空航天大学学报, 2016, 42(1): 101-111.

[6] 方平. 基于 Petri 网的知识表示方法研究[D]. 武汉:武汉理工大学, 2013.

[7] 刘心,印桂生,张磊. 一种面向对象模糊 Petri 网建模方法的研究[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(11): 4060-4062.

[8] 周芳,刘玉战,韩立岩. 基于模糊集理论的知识融合方法研究[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2013, 15(3): 67-73.

[9] Wang Lei, Chen Qing, Gao Zhanjun, et al. Knowledge representation and general Petri net models for power

[7] 熊海龙,刘漫丹,刘庆威. 基于校正的无线传感器网络加权定位算法[J]. 华东理工大学学报(自然科学版), 2014, 40(2): 225-229.

[8] 张怡,席彦彪,李刚伟,等. 基于卡尔曼滤波的 TDOA/AOA 混合定位算法[J]. 计算机工程与应用, 2015, 51(20): 62-66.

[9] 陈维克,李文锋,首珩,等. 基于 RSSI 的无线传感器网络加权质心定位算法[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2006, 30(2): 265-268.

[10] 孟令军,王建亮,潘峰. 基于 TDOA 定位机制的无线传感器网络节点设计[J]. 传感器与微系统, 2009, 28(6): 101-103.

[11] Yang X, Pan W, Zhang Y. A positioning algorithm for node of WSN based on received signal Sstrength [M]. Springer Berlin Heidelberg, 2011: 441-446.

[12] 郭瑞,马寅飞. 基于 RSSI 的三角形质心定位算法的优化策略[J]. 微电子学与计算机, 2014, 31(3): 111-114.

[13] 史跃飞,冯秀芳,高昊. 一种基于动态锚节点的改进加权定位算法[J]. 计算机应用与软件, 2013, 40(10): 151-154.

作者简介:

龙 佳 男, (1991-), 硕士. 研究方向为无线传感器网络. E-mail: 1530843361@qq.com.

卑璐璐 女, (1981-), 博士, 讲师. 研究方向为矿山通信与微波技术.

grid fault diagnosis[J]. IET Generation, Transmission & Distribution, 2015, 9(9): 866-873.

[10] 江志斌. Petri 网及其在制造系统建模与控制中的应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004: 39-43.

作者简介:

湾 玥 女, (1989-), 硕士研究生. 研究方向为 Petri 网理论、机器人控制, E-mail: 917964549@qq.com.

袁 杰 男, (1975-), 博士, 副教授. 研究方向为智能控制、Petri 网理论、机器人控制.

加尔肯别克 男(哈萨克族), (1990-), 硕士研究生. 研究方向为机器视觉、机器人控制.