

基于虚拟信标节点的改进加权质心定位修正算法

龙 佳^{1,3}, 卑璐璐², 张 申^{1,3}, 胡青松^{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节点定位精度较低的问题, 提出一种基于虚拟信标节点的改进加权质心定位修正算法(IWLCA-VBN). 该算法通过计算信标节点与未知节点之间的距离, 选取虚拟信标节点参与定位. 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, 然后通过质心定位算法计算符合条件的三角形的质心坐标, 再利用加权质心定位算法得到未知节点的初步坐标. 选取离此坐标距离最近的两个定位节点作为参考节点, 对初步定位坐标进行修正, 得到未知节点的最终坐标. 仿真结果表明: IWLCA-VBN 算法能有效地减小定位误差, 提高定位精度.

关键词: 无线传感器网络; 接收信号强度指示; 加权质心定位算法; 节点定位

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2017)03-0074-05

Improved Weighted Centroid Localization Correction Algorithm Based on Virtual Beacon Nodes

LONG Jia^{1,3}, BEI Lu-lu², ZHANG Shen^{1,3}, HU Qing-song^{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 low positioning precision in wireless sensor networks, this paper proposed an improved weighted centroid localization correction algorithm based on virtual beacon nodes(IWLCA-VBN). On the basis of calculating the distances between unknown nodes and beacon nodes, the algorithm selected some virtual beacon nodes to help positioning. The algorithm 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, then the coordinates of the centroid of the suitable triangles were located through centroid localization algorithm and the initial coordinates of unknown nodes were calculated by weighted centroid localization algorithm. The two positioning nodes whose distances were the nearest to the initial coordinates were selected as the reference nodes to make the final coordinates of unknown nodes more accurate. The simulation experiments show that the algorithm can effectively reduce positioning errors, and it can get higher positioning accuracy.

Key words: wireless sensor networks; RSSI; weighted centroid localization algorithm; anchor localization

1 引言

无线传感器网络^[1]是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, 通过无线通信功能形成的一个多跳自组织的无线网络系统, 它能够获得监测区域内的人员和设备的位置、

数据信息,在灾害监测、交通管理、智慧城市、军事部署等方面得到广泛应用.节点定位技术是无线传感器网络的关键性技术之一,已成为国内外研究的热点^[2].

在目前的定位算法中,主要分为两类:基于非测距的(range-free)定位算法和基于测距的(range-based)定位算法.基于非测距的定位算法主要是根据无线传感器网络节点组成网络的连通性来确定未知节点的位置坐标,主要包括质心算法、APTT算法、DV-Hop算法等.基于测距的定位算法则是根据得到的距离或者角度值,使用三边测量法、三角定位法等计算未知节点的位置坐标.经典的测距算法主要包括AOA、TOA、TDOA、RSSI等. AOA需要配备特殊的智能天线阵列,对硬件的要求较高,节点能耗大^[3];TOA和TDOA测距方法简单,但对节点间时钟同步要求高^[4];RSSI是一种能耗低、成本低的测距方法,被广泛应用于定位当中^[5].

针对传感器节点定位问题,科研人员在研究了大量文献的基础上提出了很多新的想法:文献[6]提出了一种基于节点校正的定位算法,文献[7]提出了将RSSI测量方法和三角形质心算法相结合的定位方法,文献[8]提出了一种采用信标节点的能量级信息作为加权因子的质心定位方法.本文提出一种基于虚拟信标节点的改进加权质心定位修正算法(IWLCA-VBN)以提高节点的定位精度.

2 RSSI 测距

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)所示.

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

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)所示:

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

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时系统的路径损耗; 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

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

式中,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)求得节点间的测量距离 d .

3 传统定位算法

3.1 质心定位算法

质心定位算法是一种利用网络连通性求解未知节点坐标的定位算法.它的定位过程如下:网络中的信标节点按照固定的时间周期向附近节点发送消息包,消息包中附有信标节点自身的ID号和位置信息,未知节点把接收到的不同信标节点的消息包依次存储下来,当消息包数量达到预设门限或者接收时间超限时,停止接收消息包.根据消息包中的ID号和位置信息确定定位多边形,则多边形的质心就表示未知节点的位置.假设未知节点的坐标为 (x, y) ,参与定位的 N 个信标节点的位置坐标分别为 $(x_1, y_1), (x_2, y_2) \cdots (x_n, y_n)$,如图1所示,则未知节点的位置可表示为

$$(x, y) = \left(\frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n}, \frac{y_1 + y_2 + \cdots + y_n}{n} \right) \quad (4)$$

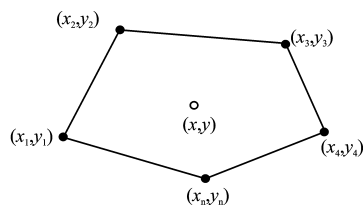


图1 质心定位算法

在质心定位算法定位过程中,无需节点之间的协调,节点能耗较小,计算简单且易于实现.但是该算法的定位精度和信标节点的密度和分布情况有很大关系,网络中信标节点的密度越大,分布越均匀,其定位精度也越高.

3.2 加权质心定位算法

传统的质心定位算法并没有考虑信标节点与未知节点间的距离对定位结果的影响,而是将参与定位的信标节点的作用等同化,这就使定位结果出现很大的误差.加权质心定位算法^[10-11]是利用测量到的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.

假设无线传感器网络中布设有 n 个信标节点, 其坐标分别为 $(x_1, y_1), (x_2, y_2) \cdots (x_n, y_n)$, 令未知节点的坐标为 $D(x, y)$, 则加权质心定位算法的公式可表示为

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

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n w_n \cdot y_n}{\sum_{i=1}^n w_n} \quad (6)$$

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.

在 RSSI 测距过程中, 由于外界环境所造成的信号传播途径改变使信号能量出现衰减, 导致测量距离和真实距离有较大差别, 同一个节点测得的 RSSI 值也会相差较大, 在这种情况下, 使用加权质心定位算法求得的未知节点的坐标虽然较使用质心算法求得的未知节点的坐标精度高, 但在某些环境下还是达不到要求.

4 基于虚拟信标节点的改进加权质心定位修正算法(IWLCA-VBN)

文献[12]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, 根据这一理论, 定义权值公式:

$$w_n = \frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} + \cdots + \frac{1}{\beta_n} \quad (7)$$

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 $\pi/3 < \beta < \pi$. 由权值公式可知, 当 β 越小时, 对应的权值越大, 反之, β 越大时, 对应的权值越小.

在定位过程中, 由于信标节点是随机产生的, 一般情况下, 能够与未知节点通信的信标节点个数较少, 因此, 我们采用增加虚拟信标节点的方法提高定位精度.

把所有能够与未知节点通信的信标节点两两相邻连接, 可组成一个多边形. 对于每两个相邻的信标节点和未知节点组成的三角形而言, 未知节点到信标节点的距离小于通信半径, 取两信标节点连线的中点, 则未知节点与此中点的距离也小于通信半径, 可以把此中点作为虚拟信标节点, 如图 2 所示,

$A(x_a, y_a), B(x_b, y_b)$ 为信标节点, $P(x_p, y_p)$ 为未知节点, 由余弦公式可得:

$$\cos \alpha = (d_{AO}^2 + d_{PA}^2 - d_{PO}^2) / (2 \times d_{AO} \times d_{PA}) \quad (8)$$

$$\cos \alpha = (d_{AB}^2 + d_{PA}^2 - d_{PB}^2) / (2 \times d_{AB} \times d_{PA}) \quad (9)$$

联立公式, 得:

$$d_{PO} = \sqrt{(d_{PA}^2 + d_{PB}^2 - (d_{AB}^2/2)) / 2} \quad (10)$$

虚拟信标节点的坐标为

$$O(x_o, y_o) = (A(x_a, y_a) + B(x_b, y_b)) / 2 \quad (11)$$

用同样的方法, 可获得其他虚拟信标节点的坐标和到未知节点的相应距离值.

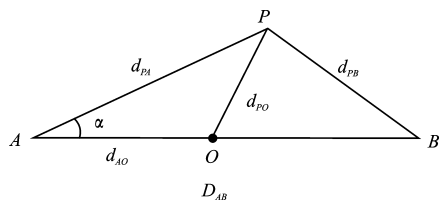


图 2 虚拟信标节点选取

4.1 算法流程

根据以上分析, IWLCA-VBN 算法具体实现流程如下.

(1) 信标节点按照一定的时间周期向未知节点发送带有自身节点 ID 号及位置坐标的信息.

(2) 未知节点接收信息并存储, 当存储的信息量达到设定值时, 不再接收新信息. 建立信标节点的集合 $A = \{A_1, A_2, \cdots, A_s\}$, 其中 s 为能够通信的信标节点的个数. 利用粒子滤波对存储的 RSSI 值进行平滑处理, 并换算为距离值.

(3) 按照上述虚拟信标节点的概念, 计算虚拟信标节点的坐标和到未知节点的相应距离值, 把虚拟信标节点当作可通信节点进行定位, 建立定位节点的集合 $B = \{B_1, B_2, \cdots, B_n\}$, 其中 n 为所有参与定位的节点的个数.

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

(5) 对于步骤(4)中集合 C 内的 m 个三角形, 利用三边质心定位算法计算出它们的质心坐标分别为 $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \cdots, (X_m, Y_m)$, 将得到的质心坐标

通过加权质心定位算法求得初始估计位置 $D(x', y')$

$$x' = \frac{\frac{1}{\beta_1} \times X_1}{\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} + \dots + \frac{1}{\beta_m}} + \frac{\frac{1}{\beta_2} \times X_2}{\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} + \dots + \frac{1}{\beta_m}} + \dots + \frac{\frac{1}{\beta_m} \times X_m}{\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} + \dots + \frac{1}{\beta_m}} \quad (12)$$

$$y' = \frac{\frac{1}{\beta_1} \times Y_1}{\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} + \dots + \frac{1}{\beta_m}} + \frac{\frac{1}{\beta_2} \times Y_2}{\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} + \dots + \frac{1}{\beta_m}} + \dots + \frac{\frac{1}{\beta_m} \times Y_m}{\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2} + \dots + \frac{1}{\beta_m}} \quad (13)$$

(6) 针对步骤(5)中求得的初始估计位置 $D(x', y')$, 计算 D 与 n 个定位节点间的距离, 取前 2 个最短距离 r_1, r_2 , 对应的定位节点分别为 N_1, N_2 , 分别以 N_1, N_2 为圆心, r_1, r_2 为半径画圆, 则未知节点最终的坐标位置如下。

① 如果两圆外离(如图 3(a) 所示), 过圆心 N_1, N_2 作直线, 此直线与两个圆有两个交点, 则两交点的中点即为未知节点 D 的最终坐标。

② 如果两圆相切(如图 3(b)、(c) 所示), 则此切点即为未知节点 D 的最终坐标。

③ 如果两圆相交(如图 3(d) 所示), 过圆心 N_1, N_2 作直线, 此直线与两个圆相交区域有两个交点, 则两交点的中点即为未知节点 D 的最终坐标。

④ 如果两圆内含(如图 3(e) 所示), 过圆心 N_1, N_2 作直线, 此直线与两个圆有四个交点, 取与两圆相交的距离最近的两个点, 则此两点的中点即为未知节点 D 的最终坐标。

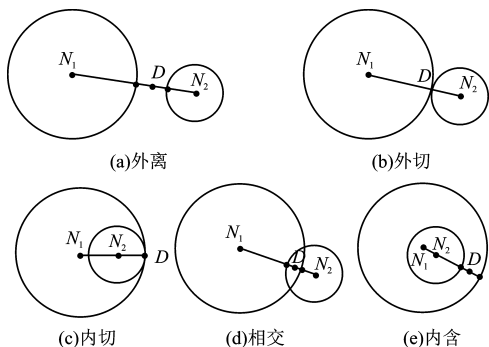


图3 未知节点坐标修正图

4.2 误差评价

定位完成后, 采用定位误差 ER 来评价算法性

能的好坏。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

$$ER = \sqrt{(X - x)^2 + (Y - y)^2} \quad (14)$$

5 仿真分析

为验证算法的有效性和稳定性, 利用 Matlab 2014a 对基于虚拟信标节点的改进加权质心定位修正算法(IWLCA-VBN)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, 同时设置 50 个未知节点, 所有节点都由随机函数生成。重复进行 100 次仿真实验, 结果取 100 次的平均值。仿真结果如图 4、图 5 所示。

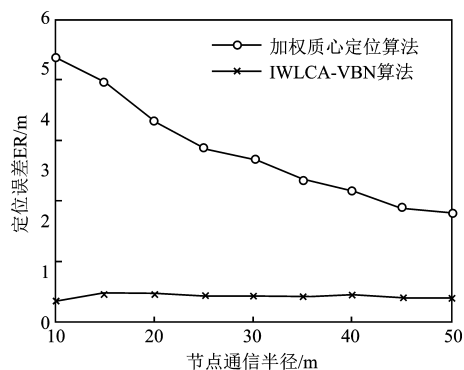


图4 定位误差随信标节点通信半径变化的仿真结果图

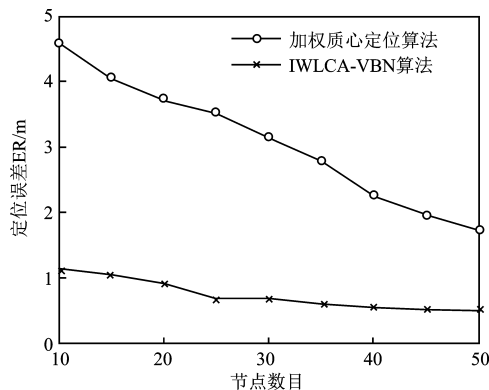


图5 定位误差随信标节点变化的仿真结果图

由图 4 可知, 随着信标节点通信半径的不断增大, 加权质心定位算法和 IWLCA-VBN 算法的定位误差都在不断减小, 但是, IWLCA-VBN 算法的定位误差要小很多, 最小可达 0.39 m , 定位精度更加准确, 且该算法性能更加稳定, 不会出现较大的偏差。这是因为当信标节点的个数不变时, 伴随着通信半径的增加, 能和未知节点通信的信标节点数量和算法选取的虚拟信标节点数量也在增加, 相应的, 参与定位当中的三角形的组合数就会更多, 因此,

IWLCA-VBN 算法定位精度会更高。

由图 5 可知,当节点通信半径为 30 m 时,随着信标节点数目的增多,2 种定位算法的定位误差都逐渐减小,但 IWLCA-VBN 算法定位误差最大为 1.07 m,最小为 0.49 m。当信标节点个数大于 30 时,定位误差基本不变。IWLCA-VBN 算法利用参与定位的三角形的最大角作为权值计算未知节点的坐标,较传统质心定位算法中以距离函数作为权值而言,测距误差对定位结果的影响减小了很多。同时,在求得初步定位坐标后,利用定位节点校正初步定位坐标也会使定位结果更加准确。

6 结束语

从仿真结果可以看出,在相同的条件下,基于虚拟信标节点的改进加权质心定位修正算法(IWLCA-VBN)的定位精度要远高于加权质心定位算法,且稳定性也更好。IWLCA-VBN 算法是通过对测得的 RSSI 值进行滤波处理得到测量距离,选取虚拟信标节点参与定位,利用权值公式和加权质心定位算法得到初步定位坐标,再利用定位节点校正初步坐标,得到未知节点的最终坐标。但是,随着信标节点数目的增加以及通信半径的增大,虚拟信标节点的个数也会增多,这就导致 IWLCA-VBN 算法的计算量会增大很多。如何在保证定位精度的前提下,减小算法的计算量,提高其实用性,是下一步需要解决的主要问题。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Ni L M, Liu Y, Lau Y C, et al. LANDMARC: indoor location sensing using active RFID[J]. Wireless networks, 2004, 10(6): 701-710.
- [3] 杨浩,周俊奇,孟庆民. 一种基于 TDOA/AOA 的混合三维定位算法[J]. 南京邮电大学学报(自然科学版), 2012, 32(6): 31-36.

- [4] 丁锐,钱志鸿,王雪. 基于 TOA 和 DOA 联合估计的 UWB 定位方法[J]. 电子与信息学报, 2010, 32(2): 313-317.
- [5] Mazuelas S, Bahillo A, Lorenzo R M, et al. Robust indoor positioning provided by real-time RSSI values in unmodified WLAN networks[J]. Selected Topics in Signal Processing, IEEE Journal of, 2009, 3(5): 821-831.
- [6] 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.
- [7] 林玮,陈传峰. 基于 RSSI 的无线传感器网络三角形质心定位算法[J]. 现代电子技术, 2009, 32(2): 180-182.
- [8] 白进京,严新平,张存保,等. 基于加权质心和 DV-Hop 混合算法 WSN 定位方法研究[J]. 计算机应用研究, 2009, 26(6): 2248-2250.
- [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] Yang X, Pan W, Zhang Y. A positioning algorithm for node of WSN based on received signal strength[J]. Multimedia, Software Engineering and Computing, 2011, 1(128): 441-446.
- [11] 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.
- [12] 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, 30(10): 151-154.

作者简介:

龙佳男, (1991-), 硕士. 研究方向为无线传感网络.
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.

张申 男, (1957-), 博士, 教授. 研究方向为矿山通信.

胡青松 男, (1978-), 博士, 副教授. 研究方向为无线传感器网络与矿山物联网.