

一种改进的无线传感器网络质心定位算法^{*}

An Improved Algorithm for the Centroid Localization of Wireless Sensor Network

胡咏梅, 张 欢

HU Yong-mei, ZHANG Huan

(辽宁工程技术大学电子与信息工程学院, 辽宁 葫芦岛 125105)

(School of Electronics and Information Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China)

摘 要:在无线传感器网络中,确定节点位置或事件发生的位置对其监测活动至关重要。节点自身的准确定位不仅是提供监测事件或监测目标位置信息的前提,也是提供网络拓扑自配置、提高路由效率、向部署者报告网络的覆盖质量以及为网络提供命名空间等网络功能的基础。为此,本文对无线传感器网络定位技术中的质心定位算法进行了改进,对未知节点大致位置的算法做了新的修正,并对未知节点位置确定算法中的加权因子进行了优化,使未知节点的定位误差和定位精度更加精确。相比原加权质心定位算法,本文仿真结果表明,改进的质心定位算法无论在定位误差还是在定位精度方面都有很大的提高。

Abstract: In wireless sensor networks, it is critical for monitoring activities to determine the node location or the location of an incident. The exact location of a node is not only the premise of providing monitoring events or monitoring the target location information, but also the basis of providing network topology configuration, improving routing efficiency, reporting network coverage quality, providing namespace for the network and other network functionalities. Therefore, in the paper, a centroid location algorithm for wireless sensor networks' positioning is improved. For the general location of the unknown nodes, the algorithm has new amendments. The weighting factors in the unknown node location determining algorithm are optimized. These improvements make the unknown node positioning error and positioning precision more accurate. Compared with the previous weighted centroid location algorithm, the simulation results in this paper show that the improved centroid location algorithm has greatly improved in positioning error and positioning precision.

关键词:无线传感器网络;定位算法;未知节点;信标节点;路径损耗;

Key words: wireless sensor networks; location algorithm; unknown node; beacon nodes; path loss

doi:10.3969/j.issn.1007-130X.2012.02.009

中图分类号:TP393

文献标识码:A

1 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, 简称 WSN)^[1,2]是一种全新的信息获取平台,能够实时监测和采集网络分布区域内的各种检测对象

的信息,并将这些信息发送到网关节点,以实现复杂的指定范围内目标检测与跟踪,具有快速展开、抗毁性强、覆盖面广、布局方便灵活等特点,对传统传感技术的发展起到重要作用,在很多领域有着广阔应用前景。随着无线传感器网络的不断发展,其关键技术节点定位技术中的节点定位算法越来越

^{*} 收稿日期:2010-11-25;修订日期:2011-04-08

通讯地址:125105 辽宁省葫芦岛市龙湾南大街188号 辽宁工程技术大学电子与信息工程学院

Address: School of Electronic and Information Engineering, Liaoning Technical University, 188 Longwan St South, Huludao, Liaoning 125105, P. R. China

受到国内外研究者的重视。

节点定位算法从定位手段上被分为基于测距的定位算法(Range-Based)和非测距的定位算法(Range-Free)^[3]两大类。基于测距的算法主要有^[4]TOA(Time of Arrival,简称TOA)、AOA(Angle of Arrival,简称AOA)、TDOA(Time Difference of Arrival,简称TDOA)和基于RSSI^[5,6]等,这些方法都是通过测量节点间的距离或角度信息,使用三边测量、三角测量或最大似然估计法来计算未知节点的位置。基于测距的算法存在需要专用硬件、使传感器节点成本和体积加大的缺点,从而限制了其可用性。非测距的算法则不需要知道未知节点到信标节点的距离或者不需要直接测量此距离,在成本和功耗方面比基于测距的方法具有一定优势。非测距的算法^[7]有质心算法、APIT算法、DV-hop算法^[8]和DV-distance算法等。

本文首先对无线电传播路径损耗模型进行了分析,在此基础上又对无线传感器网络中已有加权质心定位算法进行了改进,将其加权因子进行了优化。使得改进的加权质心定位算法在定位误差和定位精度方面都得到了很大提高。

2 算法模型

2.1 无线电传播路径损耗模型分析

由于无线电信号在传播过程中不同程度的损耗会影响算法的定位精度,因而选取合适的传播路径损耗模型非常重要。常用的传播路径损耗模型有^[9]对数-常态分布模型(Log-Distance Distribution)、对数距离路径损耗模型(Log-Distance Path Loss Model)、自由空间传播模型(Free Space Propagation Model)、Hata模型(Hata Model)等。由于无限传感器网络经常应用于复杂的野外环境,因而会受到复杂环境中不定性因素的影响,针对这种情况,在这里选择了自由传播模型和对数-常态分布模型进行模拟仿真。

自由空间传播路径损耗模型如下:

$$Loss = 32.44 + 10 \times n \times \lg(d_0) + 10 \times n \times \lg(f) \quad (1)$$

其中,Loss是无线电信号传输 d_0 距离后的路径损耗, d_0 是距信标节点的距离, n 为环境中信号的衰减系数,通常取2~5, f 是传输信号的频率。

由于环境中各种因素的影响,用下述的对数-

常态分布模型计算节点收到信标信息时的路径损耗更加合理。

对数-常态分布模型如下:

$$PL(d) = \overline{PL}(d_0) - 10n \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) - \partial \quad (2)$$

其中, $PL(d)$ 是信号传输距离为 d 的路径损耗, $PL(d_0)$ 是信号传输距离为 d_0 的路径损耗,该项可以通过式(1)取 $d_0 = 1\text{m}$ 来计算Loss即 $PL(d_0)$ 。 ∂ 为平均值为0的高斯分布随即变数,其标准差范围为4~10。

则由以上分析可知传感器接收到的RSSI值满足如下关系:

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

其中,RSSI是接收到的功率, P_{send} 是发射功率, $P_{amplify}$ 是天线的增益, $PL(d)$ 是路径损耗。

由以上分析并通过实验证明可知:接收到的RSSI与收发距离 d 成对数关系,即:较大的RSSI值计算得到的距离值误差较小,而较小的RSSI值计算得到的距离值误差较大。

2.2 一般加权质心定位算法的基本原理

在一般的加权质心定位算法中通常利用改进的Euclidean定位方法^[10]计算出三个未知节点的近似位置 (x_1, y_1) 、 (x_2, y_2) 、 (x_3, y_3) ,然后利用一般加权质心定位算法计算出未知节点的位置,公式如下:

$$x_i = \frac{\frac{x_1}{d_1 + d_2} + \frac{x_2}{d_2 + d_3} + \frac{x_3}{d_3 + d_1}}{\frac{1}{d_1 + d_2} + \frac{1}{d_2 + d_3} + \frac{1}{d_3 + d_1}}$$

$$y_i = \frac{\frac{y_1}{d_1 + d_2} + \frac{y_2}{d_2 + d_3} + \frac{y_3}{d_3 + d_1}}{\frac{1}{d_1 + d_2} + \frac{1}{d_2 + d_3} + \frac{1}{d_3 + d_1}}$$

其中, $\frac{1}{d_1 + d_2}$ 、 $\frac{1}{d_2 + d_3}$ 、 $\frac{1}{d_3 + d_1}$ 为加权因子, (x_i, y_i) 即为所得的未知节点的位置。此种定位方法利用了信标节点的内在关系,在一定程度上提高了定位精度。

2.3 改进的加权质心定位算法

本节在一般加权定位算法的基础上,一方面为了进一步提高定位精度,降低近似未知节点计算过程中产生的误差;另一方面,也为了减小定位过程中的通信开销,节约能耗。采用如下方法对加权定位算法做了进一步的改进,通过这种方法不但提高了定位精度,也使定位误差大大降低,更好地反映了信标节点内在的关系。

如图 1 所示,三个信标节点分别为: $A(x_A, y_A)$, $B(x_B, y_B)$, $C(x_C, y_C)$, D 点为未知节点。 D 点到 A 、 B 、 C 点的距离为 d_1 、 d_2 、 d_3 。由未知节点 D 到信标节点 A 、 B 的距离,得到下面两个方程:

$$\begin{cases} (x_A - x_D)^2 + (y_A - y_D)^2 = d_1^2 \\ (x_B - x_D)^2 + (y_B - y_D)^2 = d_2^2 \end{cases} \quad (4)$$

解方程(4),当 $L_{AB} \leq d_1 + d_2$ 时有实数解,从而可以得到两个位置点 D_1 、 D_2 (取等号时, D_1 、 D_2 两点重合)。由于在实际环境中 RSSI 值会随机分布,则可能出现 $L_{AB} > d_1 + d_2$ 的情况。对于这种情况我们选择在复数域内解方程组(4),可得到复数域内的两个解。为了方便计算,我们取这两个解的实部,则得到实数域内的两点 D_1 和 D_2 。由于 C 点到 D 点的距离为 d_3 ,可以通过比较 $|d_3 - L_{CD_1}|/L_{CD_1}$ 和 $|d_3 - L_{CD_2}|/L_{CD_2}$ 就能确定 D 的位置,即绝对值小的就是未知节点 D 的近似位置 (x_1, y_1) 。同理,由未知节点 D 到信标节点 B 、 C 的距离和到信标节点 C 、 A 的距离联立的方程可得到另外两个近似点 (x_2, y_2) 、 (x_3, y_3) 。这种对未知节点近似位置的计算方法,大大降低了定位过程中产生的误差。

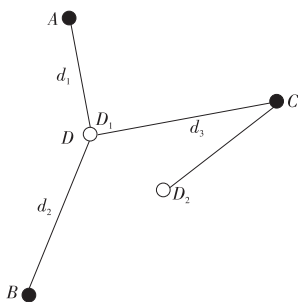


图 1 三点定位方法

下面我们利用一种改进的质心定位算法取这三个点的质心,可得到更为精确的 D 点的位置 (x_D, y_D) ,公式如下:

$$x_D = \frac{x_1 \times \left(\frac{1}{d_1^n} + \frac{1}{d_2^n}\right) + x_2 \times \left(\frac{1}{d_2^n} + \frac{1}{d_3^n}\right) + x_3 \times \left(\frac{1}{d_3^n} + \frac{1}{d_1^n}\right)}{2 \times \left(\frac{1}{d_1^n} + \frac{1}{d_2^n} + \frac{1}{d_3^n}\right)}$$

$$y_D = \frac{y_1 \times \left(\frac{1}{d_1^n} + \frac{1}{d_2^n}\right) + y_2 \times \left(\frac{1}{d_2^n} + \frac{1}{d_3^n}\right) + y_3 \times \left(\frac{1}{d_3^n} + \frac{1}{d_1^n}\right)}{2 \times \left(\frac{1}{d_1^n} + \frac{1}{d_2^n} + \frac{1}{d_3^n}\right)}$$

其中, $\frac{1}{d_1^n} + \frac{1}{d_2^n}$ 、 $\frac{1}{d_2^n} + \frac{1}{d_3^n}$ 、 $\frac{1}{d_3^n} + \frac{1}{d_1^n}$ 为改进的加权因子,它是在以往的加权质心定位算法的基础上进行的改进,改变了权重中 d_1 和 d_2 的主导地位并增加

了幂值,改善了权值决定权。其主要改进过程如下式所示:

$$\frac{1}{d_1 + d_2} \Rightarrow \frac{1}{d_1^n} + \frac{1}{d_2^n}$$

其改进避免了次要数据起主要作用的现象。例如:假设 A 到 D 的距离 d_1 大于 B 到 D 的距离 d_2 ,则 d_2 在定位中应该起主要作用,而在 $1/(d_1 + d_2)$ 中起主要作用的却是 d_1 ,这样就淹没了起主要作用的数据,但在改进的加权因子 $1/d_1^n + 1/d_2^n$ 中起主要作用的就是 d_2 。式中 n 为修正系数,通过调整 n 可以调整改进的程度。

改进后的公式不仅合理地安排了信息的权重,而且增加了 RSSI 数据的信息,节约了能耗,使得定位误差大大降低,定位精度得到很大提高,为无线传感器网络在某一特定环境的发展和应作出巨大贡献。

3 算法步骤

(1) 信标节点周期性地向周围环境中发送包括节点 ID、自身位置信息等的自身信息。

(2) 未知节点在收到信标节点发来的信息后,只记录同一个信标节点的 RSSI,然后对一定数量的 RSSI 取均值做为接收到的 RSSI 值。

(3) 未知节点在收到一定数量的(超过阈值 m)信标节点信息后,就停止接收信标节点信息,并将接收到的信标节点信息按 RSSI 值从大到小排序,并建立三个集合。

① 信标节点集合: $B_set = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$;

② 未知节点到信标节点距离集合: $D_set = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}, d_1 < d_2 \dots < d_m$;

③ 信标节点位置集合: $P_set = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_m, y_m)\}$ 。

(4) 依据 2.1 节中对无线电传播路径损耗模型的分析结论,进一步提高定位精度,优先选择 RSSI 值大的信标节点组合成下面的三角形集合:

$$T_set = \{(b_1, b_2, b_3), (b_1, b_2, b_4), \dots, (b_1, b_3, b_4), (b_1, b_3, b_5), \dots\}$$

(5) 对 T_set 中任意三角形,用 2.2 节的改进加权质心定位算法重复计算,然后去平均值,便可得到未知节点相对较精确的坐标 (x, y) 。

4 仿真结果

仿真区域假定在一个 $8m \times 8m$ 自由空间环境

中,分别设置 9 个信标节点,20 个未知节点。未知节点的位置由 Matlab 随机生成函数生成并随机分布,信标节点的位置设置在四个顶点、区域的中心以及四条边的中心。然后由式(1)~式(3)生成 RSSI 数据,并在生成的 RSSI 数据中添加高斯噪声(均值为 0,方差为 7.5),代替实际环境中多种因素带来的影响。取衰减系数为 4,然后按照改进算法的步骤,并利用自由空间传播模型和对数-常态分布模型进行仿真定位。图 2、图 3 分别是加权质心定位算法仿真结果和改进加权质心定位算法仿真结果。

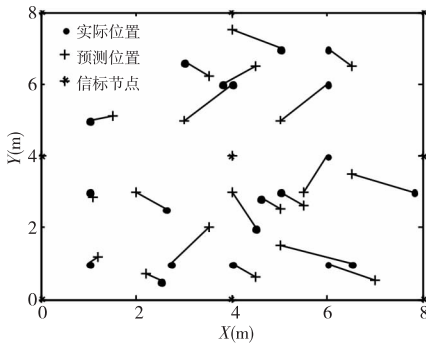


图 2 加权质心定位算法

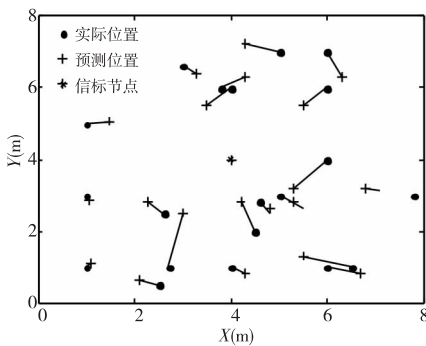


图 3 改进加权质心定位算法

从图 2 和图 3 中可以看出,改进的加权质心定位算法未知节点的预测位置(即计算得到的位置)与实际位置之间的距离明显比普通加权质心定位算法要小得多,也就是说改进的算法误差比加权质心定位算法的要小。为了进一步证实以上观点,通过计算,对 $n=4$ 时两种算法的对应未知节点的定位误差做了仿真,如图 4 所示。

由图 4 可以更直观地看出改进算法的定位误差明显降低。

下面我们对改进的算法反复进行 500 次,并对其仿真数据取平均值,画出平均定位误差曲线,如图 5 所示。

从图 5 中可以看出,改进算法的平均定位误差明显优于加权质心定位算法,加权质心定位算法的平均定位误差始终为 0.662 5m,而改进方法的平

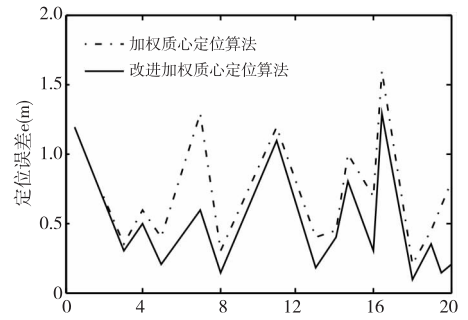


图 4 定位误差曲线

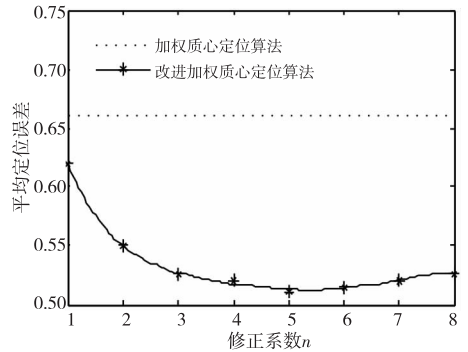


图 5 两种算法的平均定位误差

均定位误差随着修正系数 n 的变化而不断变化,在 $n=1$ 时达到最高,但也比普通算法的平均定位误差要低,在 $n=5$ 时,精度达到最高,平均定位误差仅为 0.512 5m,相对加权质心定位算法得到很大提高。

由以上仿真结果可以更清晰地看出改进算法在定位误差和定位精度等各方面的优点。

5 结束语

本文在以往的加权质心定位算法的基础上,将权重改为距离倒数的和,并添加了加权系数,通过调整加权系数能够调整改进的程度。并且经过对无线电传播路径损耗模型的分析,充分利用了 RSSI 数据信息,使得定位误差和定位精度都得到了很大提高,并通过仿真对这一结果得到进一步验证。不过,这一算法对未知节点还不能实现精确定位,还有待进一步研究提高,但是实现了在某个特定区域内一定程度的提高。

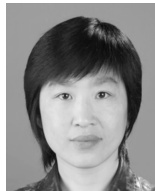
参考文献:

- [1] 李晓维,徐勇军,任丰原. 无线传感器网络技术[M]. 北京:北京理工大学出版社,2007.
- [2] 李善仓,张克旺. 无线传感器网络原理与应用[M]. 北京:机械工业出版社,2008.
- [3] He T, Huang C D, Blum B M, et al. Range-Free Localization Schemes for Large Scale Sensor Networks[C]//Proc of the

Ninth Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, 2003.

- [4] Arias J, Zuloaga A. An RSSI Based Ad Hoc Location Algorithm[J]. Microprocessors and Microsystems, 2004, 28(5): 403-405.
- [5] 任维政, 徐连明, 邓中亮. 基于 RSSI 的测距差分修正定位算法[J]. 传感技术学报, 2008, 21(7): 1247-1250.
- [6] Luthy K A, E Grant D, Henderson T C. Leveraging RSSI for Robotic Repair of Disconnected Wireless Sensor Networks [C]//Proc of 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2007: 3659-3664.
- [7] 李文峰. 无线传感器网络与移动机器人控制[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [8] Niculescu D, Nath B. DV Based Positioning in Ad Hoc Networks[J]. Journal of Telecommunication System, 2003, 22(1/4): 267-280.
- [9] Rappaport T. Wireless Communications Principles and Practice[M]. Prentice Hall PTR, 1996.

- [10] 陈维克, 李文峰, 首珩. 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, 2006, 20(12): 2695-2700.



胡咏梅(1969-), 女, 辽宁阜新人, 硕士, 工程师, 研究方向为物理学和网络教育。E-mail: 523419858@qq.com

HU Yong-mei, born in 1969, MS, engineer, her research interests include physics and online education.



张欢(1988-), 女, 山东单县人, 硕士, 研究方向为无线传感器网络。E-mail: whoami_102@163.com

ZHANG Huan, born in 1988, MS, her research interest includes wireless sensor networks.