

An Improved Centroid Localization Algorithm for Wireless Sensor Network

ZHU Bo, CHEN Shu*

(School of Information Science and Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China)

Abstract: This paper proposes a improved centroid localization algorithm. The algorithm computes a weighting factor θ by using the RSSI for the Centroid Localization algorithm, improves the accuracy of the initial localization, and then uses a correction mechanism to correct the initial localization. The algorithm has lower computational complexity, communication spending is similar to the centroid localization algorithm. Simulation results show that, the improved algorithm's accuracy has a greatly improvement than the traditional centroid localization algorithm.

Key words: WSNs; distributed localization; centroid localization; localization correction.

EEACC: 6150P

一种无线传感器网络质心定位改进算法

朱博, 陈曙*

(山东大学信息科学与工程学院, 济南 250100)

摘要: 提出一种改进型的质心定位算法。该算法利用 RSSI 计算影响因子 θ 对质心算法进行加权, 提高初次定位的准确性, 并通过一种校正机制对初次定位位置进行校正。该算法运算复杂度较低, 通信开销与传统的质心算法相仿。仿真表明改进算法的定位精度较传统的质心定位算法有了极大的提高。

关键词: 无线传感器网络; 分布式定位; 质心定位; 定位校正。

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2010)06-0868-05

无线传感器网络就是由部署在监测区域内大量的廉价微型传感器节点组成, 通过无线通信方式形成的一个多跳自组织网络。它可以广泛应用于军事、环境、医疗、家居等领域, 具有广阔的前景。定位技术作为无线传感器网络的基础技术, 具有十分重要的地位和研究价值^[1]。

根据定位机制, 可将现有的传感器网络自身定位算法分为两类, Range-based 和 Range-free, 即基于测距的定位算法和无需测距的定位算法^[2]。前者通过测量节点间的距离或角度等信息, 利用三边定位法、三角定位法等方法计算出节点位置; 后者并不直接测量距离等数据, 而是利用网络连通性等间接信息计算节点位置。目前典型的基于测距的定位算法有 RSSI、TOA、TDOA、AOA 等^[3]; 无需测距的定位算法有: 质心定位算法^[4], DV-Hop 算法^[5], 凸规划算法^[6], APIT 算法^[7], MDS-MAP 算法^[8]等。

传感器节点自身具备通信能力, 其通信模块通常可以测量 RSSI 值, 故而提供了一种低成本低复杂

度的定位信息。虽然在实际应用中, RSSI 由于反射、多径传播、天线增益等问题都会产生显著的传播损耗和较大的误差^[9]。但在无需测距的粗粒度定位算法基础上, 充分利用 RSSI 提供的信号强度信息提高定位精度, 具有较大的实用价值。本文以此为出发点, 将 RSSI 定位信息引入到质心定位算法中, 提出了一种改进算法。

1 质心定位算法

质心定位算法是一种仅基于网络连通性的室外定位算法。首先, 锚节点周期性地向邻居节点广播信标分组, 信标分组中包含锚节点的标识和位置信息。当未知节点接收到来自某一锚节点的信标分组数量超过某个门限或一定时间后, 就确定该锚节点处于自己的通信范围内, 未知节点以所有的在其通信范围内的锚节点的几何质心作为自身的估计位置。

假设某一未知节点其通信范围内的一组锚节点为: $P_1(X_1, Y_1), P_2(X_2, Y_2), \dots, P_n(X_n, Y_n)$ 。则该未

知节点的估计位置为:

$$(X, Y) = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \right) \quad (1)$$

显然, 质心定位算法非常简单, 运算复杂度低, 完全基于网络的连通度。但是, 质心算法若想达到较为理想的定位精度, 必须提高锚节点密度, 并且对锚节点分布的均匀性要求高。在实际中, 具有非常大的限制^[10]。

2 改进质心定位算法

针对质心算法存在的定位误差过大, 以及实际应用中的局限性, 我们提出一种改进质心定位算法, 该算法利用 RSSI 对质心定位算法进行加权, 提高初次定位的准确性, 然后利用一种校正算法对初次定位的结果进行校正。本节对该算法进行详细的介绍。

2.1 无线信号 RSSI 及其模型

RSSI —— 接收的信号强度指示, 通过该指标即可近似计算信号发送点与接收点间的距离, 可以为无线传感器网络提供一种定位信息。

无线信号常用的传播路径损耗模型有: 自由空间传播模型; 对数距离路径损耗模型; 哈它模型; 对数一常态分布模型等^[11]。其中最常用的是对数一常态分布模型。假设节点 A 发射信号到节点 B , 损耗的功率 P_{AB} , 传播的距离为 d , 则该模型可用下列等式表示:

$$P_{AB} = P_0 + 10n_p \lg(d_{AB}/d_0) + X_\sigma \quad (2)$$

其中, P_0 信号参考传输距离为 d_0 时的接收信号强度, 典型取 $d_0 = 1m$, n_p 为射频信道衰减指数, n_p 由大量的现场测量确定, 一般取 2 ~ 4 之间, X_σ 为均值为 0 的高斯随机数, 其方差为范围为 4 ~ 10 之间^[12]。整理式(2)可得:

$$d_{AB} = 10^{(P_{AB} - P_0 - X_\sigma)/10n_p} = 10^{(P_i - P_r - P_0 - X_\sigma)/10n_p} \quad (3)$$

其中, P_i 是节点 A 的信号发射功率, P_r 是节点 B 接收到的信号功率。实际应用中, 可以通过多次通信来取得接收功率的平均值来有效的降低 RSSI 的系统误差。

2.2 影响因子 θ 及质心加权

质心定位算法只单纯考虑了网络的连通度, 未考虑锚节点与未知节点的远近程度对未知节点定位的影响。显然, 当某锚节点与未知节点距离越近时, 该锚节点的坐标对未知节点的定位结果影响越大; 反之, 则影响越小。据此, 我们提出了一影响因子 θ , 该因子与锚节点到未知节点的距离的 n 次方成反比。取 $\theta = k/d^n$ 。考虑式(3), 未知节点对距离进行估计时采用理想模型, 省去 X_σ , 可得:

$$\theta = \frac{k}{10^{n(P_i - P_r - P_0)/10n_p}} = \frac{k \cdot 10^{nP_0/10n_p}}{10^{n(P_i - P_r)/10n_p}} = \frac{k'}{10^{n(P_i - P_r)/10n_p}} \quad (4)$$

其中, k' 为一常数。

利用影响因子 θ 对质心定位算法进行加权可得新的质心定位公式如下:

$$(X, Y) = \left(\frac{\sum_{i=1}^n X_i \theta_i}{\sum_{i=1}^n \theta_i}, \frac{\sum_{i=1}^n Y_i \theta_i}{\sum_{i=1}^n \theta_i} \right) \quad (5)$$

θ_i 为未知节点与锚节点 P_i 的影响因子。

2.3 初次定位的校正机制

利用上述 θ 加权质心定位算法, 仍无法解决节点分布不均匀带来的定位误差较大的问题, 对此我们提出一种对初次定位的校正机制。

定义 1 定位误差 ε 估计位置与实际位置的距离差相对于节点无线射程的大小。计算公式为:

$$\varepsilon = \frac{\sum_{i=1}^n |p_i - p'_i|}{nR} \quad (6)$$

其中, P_i 表示未知节点 N_i 的实际位置, P'_i 表示 N_i 的估计位置, n 定位节点数。

定义 2 总体距离误差系数:

$$\alpha_{ij} = \sum_{k=1}^n \left| \frac{d_k - d'}{d_k} \right| \quad (7)$$

其中, d_k 为未知节点与锚节点的实际距离, d' 为该位置到锚节点的距离, k 为未知节点可以接收到的锚节点个数, α_{ij} 为在坐标点 (i, j) 的总体距离误差系数。

如图 1 所示, $S_1 \sim S_5$ 为锚节点位置, N 为未知节点的实际位置, N' 为某一估计位置。由总体距离误差系数得定义可得, 当 N' 从 N 点出发远离 N 点时, 其所在位置的总体距离误差系数在逐渐增大。根据上述理论, 我们采取一种分布区域逐渐逼近的算法取得校正位置。

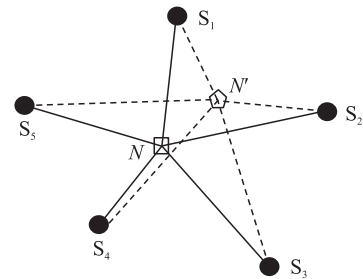


图 1 定位校正算法基本原理示意图

如图 2 所示, O 点为初次定位位置, 以 O 点为轴心建立直角坐标系。设在该锚节点分布下的定位平均误差为 ε (实际应用中以区域内锚节点的平均密度进行估计), 建立一个以 O 点为几何中心, 边长为 $4\varepsilon R$ 的正四边形作为未知节点的可能存在区域。该正四边形被坐标轴平分为四个小正四边形, 取其几何中心

分别为 A_1, A_2, A_3, A_4 , 计算出其总体距离误差系数 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$, 其中总体距离误差系数最小的点距离未知节点的实际位置最近, 从而以该点所在的小正四边形作为新的未知节点可能存在区域。以该点建立新的坐标系, 重复以上过程, 缩小未知节点可能存在区域, 直到该区域面积小于某阈值 key 后结束, 取最后的小正四边形的几何中心为未知节点的校正位置。

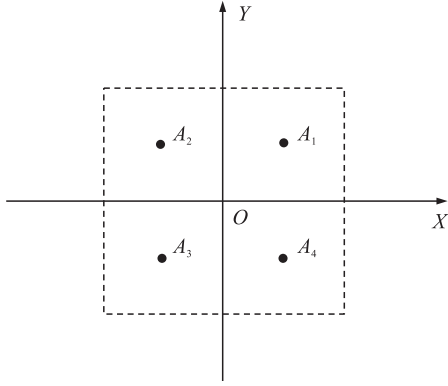


图2 校正算法示意图

该校正算法为一递归算法, 该算法伪码如下:

```
function LOC ( X, Y, DIST)
  A1 ← (X + DIST/2, Y + DIST/2)
  A2 ← (X - DIST/2, Y + DIST/2)
  A3 ← (X - DIST/2, Y - DIST/2)
  A4 ← (X + DIST/2, Y - DIST/2)
  repeat
    En ← TE (An)
    n ← n - 1
    if (n = 1) then break
  end if
end
CUR_POSITION ← MIN (En)
if (DIST/2 < KEY) then
  return (CUR_POSITION.X, CUR_POSITION.Y)
else
  LOC(CUR_POSITION.X, CUR_POSITION.Y,
    DIST/2)
end if
end function
function TE ( A )
  TOTLE ← 0, m ← the number of maojiedian
  repeat
    RESULT ← (|A - Pm| - Dm)/Dm
    TOTLE ← RESULT + TOTLE
    m ← m - 1
    if (m = 1) then break
```

end if

end

return TOTLE

end function

2.4 改进质心算法流程

(1) 在目标区域内随机布设完节点之后, 各个锚节点按其最大发射功率广播它们的信标信息(包括锚节点编号和位置信息), 广播 $T (T \geq 1)$ 轮。

(2) 各未知节点接收来自锚节点的信标信息, 记录下收到各锚节点的信标信息的次数 C_i 和各锚节点的平均接收功率。广播结束后, 各未知节点统计其收到的 $C_i (\frac{T}{2} + 1)$ 的锚节点, 将锚节点的编号、位置信息和平均接收功率存储到自身的信息表中。

(3) 各未知节点利用自身的信息表中的某一锚节点的平均接收功率计算出影响因子 θ_i 和估计距离 d_i 存储到信息表中相应的项中。

(4) 各未知节点利用公式(5)计算出初次定位位置。

(5) 各未知节点利用与各锚节点的估计距离 d_i 和初次定位位置, 按照校正机制进行校正, 获得定位位置。

3 算法仿真与分析

3.1 仿真环境设置

为了验证本算法的正确性, 本文在 Matlab 环境中进行了仿真实验。

在测试中, 我们在仿真区域为 $500 \text{ m} \times 500 \text{ m}$ 的范围内随机放置一定数量的锚节点, 使其更贴近实际应用。由于锚节点一般具有未知节点更强大通信能力, 我们令 ANR 为锚节点通信半径与未知节点通信半径的比值。

未知节点的通信半径均为 $R = 50$, 随机分布在该场景内, 未知节点数目为 200。

对于 RSSI 模型, 为了模拟真实性, 取如下典型值, $P_0 = -30 \text{ dBm}$, $d_0 = 1 \text{ m}$, $n_p = 3$, $\sigma = 2$ 。对于校正算法, 取结束阈值 $\text{key} = 25$ 。

3.2 仿真结果分析

3.2.1 最优 θ 因子的确定

由前述可得, 我们取影响因子 $\theta = k/d^n$, 当 n 值越大时, 则离未知节点越近的锚节点对定位影响越大, 但当 n 增大到一定的值时, 不仅带来了更大的运算量, 而且也会使得距离未知节点较远的锚节点失去了定位作用。图3, 图4 分别为 $\text{ANR} = 3$ 和 $\text{ANR} = 6$ 时, θ 因子取 $n = 1, 2, 3$ 的仿真图。从上两图可得, 当 $\text{ANR} = 3, n = 2$

或 3 时,获得较好的定位精度;当 $ANR = 6, n = 3$ 时,获得较好的定位精度。所以, θ 因子中 n 的取值与 ANR 有关,当 ANR 较大时,此时未知节点收到较大范围内的锚节点数据,故合理的 n 值较大;反之则较小。我们通过仿真获得了比较合理的一组值如下: $ANR = 1$ 时, $n = 1$; $ANR = 2, 3, 4$ 时, $n = 2$; $ANR = 5, 6$ 时, $n = 3$ 。

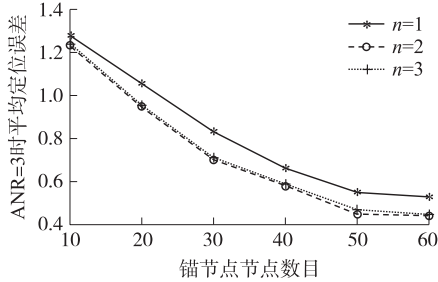


图 3 ANR = 3 时 θ 中 n 的取值对定位结果的影响

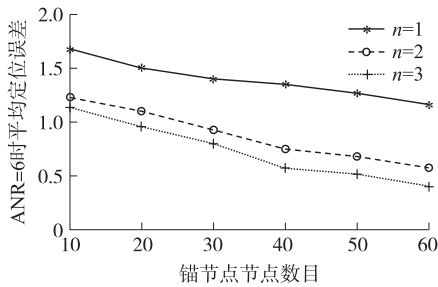


图 4 ANR = 6 时 θ 中 n 的取值对定位结果的影响

3.2.2 质心算法与改进算法的比较

由图 5 所示,随锚节点数目的上升,各算法平均定位误差都呈现先快速下降,后趋于平稳下降的趋势。随着锚节点的增加,初次定位后的平均误差较质心算法更快的下降,提高了定位精度 50% ~ 100%。校正后的平均误差较质心算法有了更大的提高,并且受到锚点密度的影响较小,当锚节点数目为 30 时,平均定位误差为 20% 左右,较质心算法提高精度 400%。

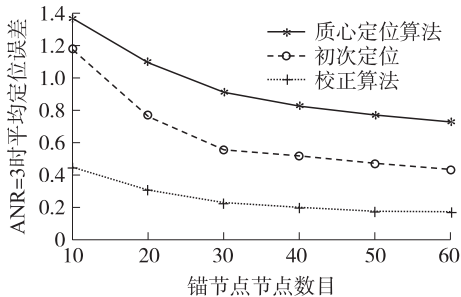


图 5 ANR = 3 时锚节点数目对定位精度影响的比较

由图 6 所示,随 ANR 的提高,质心算法定位误差上升趋势较快,说明锚节点的通信范围对质心算法影响较大。而当锚节点通信范围较小时,则导致无法充

分利用到区域内锚节点的位置信息,部分未知节点无法定位,在该仿真条件下,当 $ANR = 1$ 时,40% 的节点无法进行定位。由于初次定位考虑了距离加权,而校正算法的总体距离误差系数是以距离比值的形式进行计算的,定位位置的偏离相对于距离近的锚节点所造成的误差要远远大于距离远的锚节点,故距离未知节点越近的锚节点对定位结果影响越大,所以相对于 ANR 升高,其平均误差与质心算法相比不敏感。

图 7 为仿真区域内随机部署 30 个锚节点的场景。取 $P(350, 160)$ (图中 O 所在位置)为未知节点的实际位置。圆形区域为 $ANR = 3$ 时,该节点可以感知的锚节点的范围。从图中可以看出,未知节点 P 感知范围内的锚节点分布严重不均匀,全部分布在一侧,而另一侧产生了巨大的空洞。我们在该特殊场景下对 P 节点进行定位,其定位结果如表 1 所示。

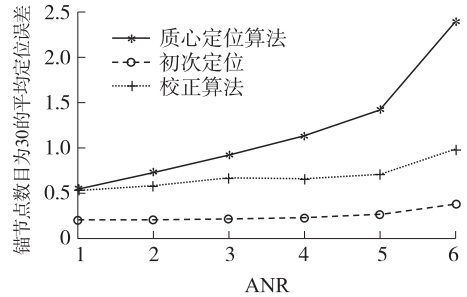


图 6 锚节点为 30 时 ANR 对定位精度影响的比较

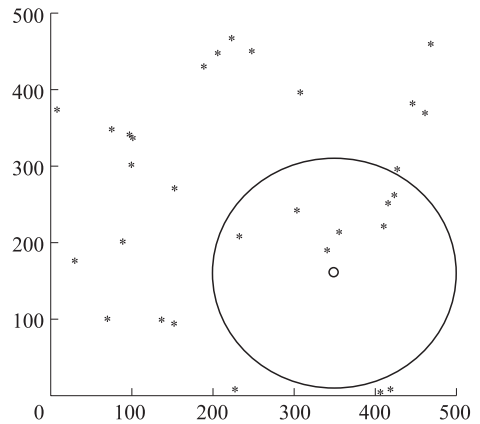


图 7 锚节点随机分布产生空洞的场景

表 1 未知节点在空洞场景下的定位结果比较

| | 定位位置 | 定位误差 ε |
|------|------------|--------------------|
| 质心定位 | (354, 227) | 134 % |
| 初次定位 | (348, 205) | 90 % |
| 校正定位 | (354, 172) | 25 % |

由表 1 我们可以看出,当未知节点可感知的锚节点分布不均匀时,由于质心定位算法利用重心定位,所以定位位置会偏移到锚节点密集处,造成较大的定位误差;校正算法利用未知节点与锚节点之间的距离

关系,有效的修正了这一偏差,提高了定位精度。

3.2.3 RSSI 误差对仿真结果的影响

表 2 为 $ANR = 3$, 锚节点数 30 时, RSSI 误差对定位误差的影响, σ 值越大则 RSSI 误差越大, 估计距离误差也越大。当 $\sigma = 0$ 时, 此时估计距离误差为 0, 则定位误差仅与递归结束阈值 key 有关。当 $\sigma = 1, 2, 3$ 时, 本算法的定位误差小于估计距离平均误差, 这是由于总体距离误差系数的方法, 相当于利用全部锚节点位置信息对未知节点的定位进行约束, 提高了其定位的准确性。在实际应用中, 采取多次接受锚节点信号, 获得平均接收功率的方法, 可以有效的消除随机误差, 进一步提高定位精度。

表 2 RSSI 对定位误差的影响 ($ANR = 3$, 锚节点数 30)

| σ | 估计距离平均误差 | 定位误差 |
|----------|----------|--------|
| 0 | 0 | 3.1 % |
| 1 | 10.6 % | 9.2 % |
| 2 | 18.5 % | 16.5 % |
| 3 | 26.7 % | 25.3 % |

3.3 算法效率分析

利用 θ 因子对质心算法进行改进, 一方面提高初次定位精度, 减小了校正算法的运算范围, 尤其当锚节点密度上升时, 初次定位的误差会下降, 对校正算法运算量的上升起到了缓解的作用; 另一方面, 计算 θ 因子所带来的多余运算量大部分可用于后续的校正算法的使用。

校正算法采取了逐次递进的方法, 每进行一次递归运算, 运算范围减小为原来的 $1/4$, 故运算范围成 $1/4^n$ 缩小 (n 为校正算法的递归运算次数)。我们假设 $\varepsilon = 50\%$ 时, 运算范围缩小到锚节点的通信范围的 1% 以下, 仅需计算 4 次。实际应用中, 校正算法一般只需 4 ~ 5 次递归运算, 即可得到较好的定位效果。

4 结论与展望

本文提出了一种质心定位改进算法。通过仿真表明: 该算法在未增加通信开销, 运算复杂度相对较

低的基础上, 改进了质心定位算法对锚节点密度和均匀性过高的要求; 利用总体距离误差系数来进行定位校正, 定位效果相对于锚节点通信范围的升高不敏感, 并且极大的提高了定位精度。将该算法扩展到三维定位, 并且进一步提高定位精度是我们下一步工作的重点。

参考文献:

- [1] 任丰原, 黄海宁, 林闯, 等. 无线传感器网络[J]. 软件学报, 2003, 14(7): 1282 - 1291.
- [2] 史龙, 王福豹, 段渭军, 等. 无线传感器网络 Range-Free 自身定位机制与算法[J]. 计算机工程与应用, 2004, 23: 127 - 130.
- [3] 杨凤, 史浩山, 朱灵波, 等. 一种基于测距的无线传感器网络智能定位算法[J]. 传感技术学报, 2008, 21(1): 135 - 140.
- [4] Nirupama Bulusu, John Heidemann, Deborah Estrin. GPS-less Low Cost Outdoor Localization for Very Small Devices[J]. IEEE Personal Communications, 2000, 7(5): 28 - 34.
- [5] Dragos Niculescu, Badri Nath. Ad Hoc Positioning System (APS) [C]//Global Telecommunications Conference, 2001, Vol. 5: 2926 - 2931.
- [6] Lance Doherty, Kristofer S J Pister, Laurent El Ghaoui. Convex Position Estimation in Wireless Sensor Networks [C]//Proceedings of Twentieth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, 2001, Vol. 3: 1655 - 1663.
- [7] He Tian, Huang Chengdu, Blum B M, et al. Range-Free Localization Schemes in Large Scale Sensor Networks [C]//9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, 2003, 81 - 95.
- [8] Yi Shang, Ruml W, Ying Zhang. Localization from Mere Connectivity [C]//MobiHoc'03, Annapolis, Maryland, USA, 2003: 201 - 210.
- [9] 任维政, 徐连明, 邓中亮, 等. 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.
- [10] 李兆斌, 魏占祯, 徐凤麟, 等. 无线传感器网络增强的质心定位算法及性能分析[J]. 传感技术学报, 2009, 22(4): 1247 - 1250.
- [11] 王珊珊, 殷建平, 蔡志平, 等. 基于 RSSI 的无线传感器网络节点自身定位算法[J]. 计算机研究与发展, 2008, 45(Suppl.): 385 - 388.
- [12] 周全, 朱红松, 徐勇, 等. 基于最小包含圆的无线传感器网络定位算法[J]. 通信学报, 2008, 29(11): 84 - 90.



朱 博(1984 -), 男, 山东济南人, 山东大学信息科学与工程学院电路与系统专业 2007 级硕士研究生, 主要研究方向为无线传感器网络协议, 联系邮箱 steven_chu@yahoo. cn;



陈 曙(1954 -), 男, 山东济南人, 山东大学信息科学与工程学院副教授, 主要研究方向为智能测控网络技术应用, 无线传感器网络理论。