

基于 RSSI 的无线传感器网络加权质心定位算法*

陈维克^{1,2)} 李文锋¹⁾ 首珩³⁾ 袁兵¹⁾

(武汉理工大学物流工程学院¹⁾ 武汉 430063) (湖南冶金职业技术学院²⁾ 株洲 412000)
(湖南铁道职业技术学院³⁾ 株洲 412000)

摘要: 节点定位是无线传感器网络中的关键技术之一. 文中通过对无线电传播路径损耗模型的分析, 提出了加权质心定位算法, 用信标节点对未知节点的不同影响力来确定加权因子, 以提高定位精度. 并且在理论分析的基础上, 提出了优选信标节点进行节点定位计算的规则, 以此进一步提高节点定位精度. 加权质心定位算法计算简单, 定位过程中节点间无通信开销. 节点定位精度较常用的极大似然估计算法高, 具有较普遍的应用意义.
关键词: 无线传感器网络; 定位; 质心算法; 信标节点; 极大似然估计
中图分类号: TP212.6

0 引言

无线传感器网络是一种全新的信息获取平台, 可以在广泛的应用领域内实现复杂的大范围监测和追踪任务, 而网络节点自身定位是大多数应用的基础和前提. 目前, 已发展了许多算法来解决节点自身定位问题. 但是, 每种算法常只适合某类应用, 没有一个通用的算法. 无线传感器网络节点自身定位的困难在于节点能量和资源的不足.

目前的定位算法从定位手段上分两大类, 基于测距算法 (range-based) 和无需测距算法 (range-free)^[1]. 基于测距算法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定位法计算节点位置. 常用的测距技术有 RSSI^[2], TOA, TDOA 和 AOA; 无需测距定位算法则不需要距离和角度信息, 算法根据网络连通性等信息来实现节点定位.

文中在充分研究现有无需测距算法的基础上, 通过对无线电传播路径损耗模型的分析, 提出了通信开销小、硬件要求低、适合传感器节点处理的加权质心定位算法. 算法基于接收信号强度指示 RSSI, 达到了较好的定位精度.

1 算法模型

各种节点自身定位算法适合于不同的应用环境, 本算法针对大规模随机散布野外应用环境, 这类应用大都不需要节点进行精确定位, 只需要知道节点的大概区域就可满足需求, 同时要求硬件成本低、定位过程通信开销小、节能. 和许多其他定位算法一样, 本算法也是利用信标节点进行传感器节点定位.

1.1 改进 Euclidean 定位计算^[3-4]

在无线传感器网络中, 理论上通过 3 个信标节点的 RSSI 信息就可用三边测量法决定一个未知节点的位置. 实际应用环境中, 因为 RSSI 值会有随机分量, 无法精确计算未知节点位置. 所以, 只能用质心法和极大似然估计法^[4].

如图 1, 当一个未知节点 A 收到信标节点 B, C 发出的定位信号时, 根据 RSSI 值和信标 B, C 的位置, 可以得到 $d_1 = L_{AB}$; $d_2 = L_{AC}$; 由此得到 2 个三角形: $\triangle BCA_1, \triangle BCA_2$. A_1 和 A_2 是节点 A 的 2 个可能位置. 而当传感器节点 A 能收到第 3 个信标节点 D 发出的定位信号时, 可以得到 $d_3 = L_{AD}$; 通过比较 $|L_{AD} - L_{A_1D}| / L_{A_1D}$ 与 $|L_{AD} - L_{A_2D}| / L_{A_2D}$ 的

收稿日期: 2005-11-12
陈维克: 男, 41 岁, 博士生, 高级工程师, 主要研究领域为无线传感器网络、机器人技术
* 国家自然科学基金项目资助 (批准号: 60475031); 湖北青年杰出人才基金项目资助 (批准号: 2005 ABB021)
©1994-2019 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

大小就可确定节点 A 的位置,即值小的为传感器节点 A 的近似位置 (X_1, Y_1) . 同样的取边 BD 和边 CD ,可以得到另外 2 个近似位置 (X_2, Y_2) 和 (X_3, Y_3) . 取这 3 个点的质心,可以得到 A 的近似位置.

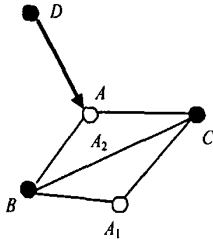


图 1 Euclidean 定位方法

当节点 A 收到 m 个信标节点信号时,可以构成 C_m^3 个三角形,每个三角形可产生一个近似的未知节点坐标位置.再次利用质心算法即可求出节点 A 的最终位置坐标.

采用改进 Euclidean 定位,可以确定信标节点三角形 $\triangle BCD$ 以外的传感器节点位置.所以,改进 Euclidean 定位方法不需要信标节点一定要布置在边界附近.

1.2 无线电传播路径损耗模型分析

无线电传播路径损耗对于 RSSI 定位算法的定位精度有很大影响.常用的传播路径损耗模型有^[5]:自由空间传播模型(free space propagation model);对数距离路径损耗模型(log-distance path loss model);哈它模型(hata model);对数-常态分布模型(log-distance distribution)等.文中针对野外应用环境,采用自由空间传播模型和对数-常态分布模型,用于分析和仿真.自由空间无线电传播路径损耗模型如下.

$$Loss = 32.44 + 10 \times k \times \log_{10}(d) + 10 \times k \times \log_{10}(f) \quad (1)$$

式中: d 为距信源的距离, km; f 为频率, MHz; k 为路径衰减因子.

在实际应用环境中,由于多径 绕射 障碍物等因素,无线电传播路径损耗与理论值相比有些变化.下述对数-常态分布模型^[5]将更加合理,式(2)可用于计算节点收到信标信息时的路径损耗.

$$PL(d) = \overline{PL}(d_0) + 10k \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + X^e \quad (2)$$

式中: $PL(d)$ 为经过距离 d 后的路径损耗, dB; X^e 为平均值为 0 的高斯分布随机变数,其标准差范围为 4~10. 式中 k 的范围在 2 至 5 之间.取 $d = 1$ m,代入式(1),可得到 $Loss$,即 $\overline{PL}(d_0)$ 的值. 这样根据上式可得各未知节点接收信标节点信号时的信号强度为

$$RSSI = \text{发射功率} + \text{天线增益} - \text{路径损耗} (PL(d))$$

图 2 是用对数-常态分布模型绘制的 RSSI 曲线图.从图 2 中可以看出,节点到信号源的距离越近,由 RSSI 值的偏差产生的绝对距离误差越小.而当距离大于 80 m 时,由于上述式(2)中 X^e 的影响,由 RSSI 波动造成的绝对距离误差将会很大.基于上面的分析,文中提出信标节点影响力概念,即在定位算法中,信标节点对未知节点位置都有影响力, RSSI 越大的信标节点,影响力越大,对节点位置有更大的决定权.如图 1,未知节点 A 收到了 3 个信标节点的信号,那么节点 A 受到 3 个信标的影响, RSSI 最大的信标节点对 A 的位置有最大的决定权.信标选择原则:一个未知节点可能收到 n 个信标节点的信号,应当采用 RSSI 值大的前几个信标节点进行定位计算.在保证参与定位计算的信标节点数大于 3 个的情况下,将距离大于 80 m (视应用环境而定)的信标节点去除,以免造成定位误差扩大.后面进行的仿真计算也证明了这点.

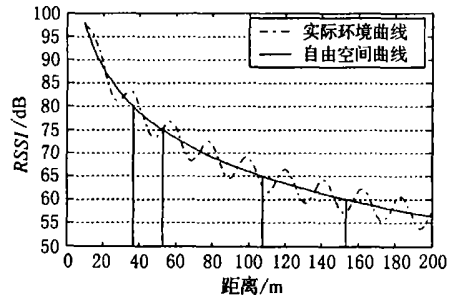


图 2 接收信号强度

1.3 加权质心定位计算

通过对无线电传播路径损耗模型的分析,可以发现利用普通质心算法,没有反映出信标节点对节点位置的影响力的大小,影响了定位精度.文中设计了加权质心算法,它的基本思想是:在质心算法中,通过加权因子来体现信标节点对质心坐标决定权的大小,利用加权因子体现各信标节点对质心位置的影响程度,反映它们之间的内在关系.通过下式中的加权因子来体现这种约束力.

$$x_i = \frac{\frac{x_1}{d_1 + d_2} + \frac{x_2}{d_2 + d_3} + \frac{x_3}{d_3 + d_1}}{\frac{1}{d_1 + d_2} + \frac{1}{d_2 + d_3} + \frac{1}{d_3 + d_1}} \quad (3)$$

$$y_i = \frac{\frac{y_1}{d_1 + d_2} + \frac{y_2}{d_2 + d_3} + \frac{y_3}{d_3 + d_1}}{\frac{1}{d_1 + d_2} + \frac{1}{d_2 + d_3} + \frac{1}{d_3 + d_1}} \quad (4)$$

(x_i, y_i) 就是用加权质心算法求出的未知节点坐标.式中: d_1, d_2, d_3 为未知节点获得的到 3 个信标

节点的近似距离 (参见图 1); $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3)$ 为利用改进 Euclidean 定位方法计算出的 3 个未知节点的近似位置. 因子 $\frac{1}{d_1 + d_2}, \frac{1}{d_2 + d_3}, \frac{1}{d_3 + d_1}$ 体现了距离未知节点越近的信标节点对其坐标位置的影响力越大. 通过这种内在关系的反映, 来达到提高定位精度的目的.

2 算法过程

- 1) 信标周期性发送自身信息: 节点 ID 自身位置信息.
- 2) 普通节点在收到信息后, 只记录同一个信标节点的 RSSI 均值.
- 3) 普通节点在收到超过阈值 m 个信标信息后, 对信标节点依其 RSSI 值从大到小排序, 并建立 RSSI 值与节点到信标节点距离的映射. 建立 3 个集合.
信标节点集合 Beacon-set = $\{a_1, a_2, \dots, a_m\}$
未知节点到信标节点距离集合 Distance-set = $\{d_1, d_2, \dots, d_m\}, d_1 < d_2 < \dots < d_m$.
信标节点位置集合 Position-set = $\{(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_m, Y_m)\}$.
- 4) 采用 RSSI 值大的前几个信标节点进行自身定位计算.

① 在 Beacon-set 中依据前述对无线电传播路径损耗模型的分析结论, 优先选择 RSSI 值大的信标节点组合成下面的三角形集合, 这是提高定位精度的关键.

Triangle-set = $\{(a_1, a_2, a_3), (a_1, a_2, a_4), \dots, (a_1, a_3, a_4), (a_1, a_3, a_5), \dots\}$.

② 对 Triangle-set 中任一个三角形 (a_i, a_{ij}, a_{kk}) , 采用 1.3 的加权质心计算方法. 用式 (3) 和式 (4) 求出由信标节点 (a_i, a_{ij}, a_{kk}) 确定的未知节点坐标 $k_i(x_{k_i}, y_{k_i})$. 为方便表达, 将 $(d_{(1)}(k_i), d_{(2)}(k_i), d_{(3)}(k_i))$ 设为: 由 RSSI 值得到的信标节点 (a_i, a_{ij}, a_{kk}) 到未知节点的距离. 对 Triangle-set 中的每个三角形重复上述计算, 可以得到未知节点近似位置坐标集 $\{k_1, k_2, k_3, \dots, k_p\}$.

③ 对近似位置坐标集 $\{k_1, k_2, k_3, \dots, k_p\}$ 再次求加权质心

$$x = \frac{\sum_{i=1}^p [x_{k_i} / (d_{(1)}(k_i) + d_{(2)}(k_i) + d_{(3)}(k_i))]}{\sum_{i=1}^p [1 / (d_{(1)}(k_i) + d_{(2)}(k_i) + d_{(3)}(k_i))]}$$

$$y = \frac{\sum_{i=1}^p [y_{k_i} / (d_{(1)}(k_i) + d_{(2)}(k_i) + d_{(3)}(k_i))]}{\sum_{i=1}^p [1 / (d_{(1)}(k_i) + d_{(2)}(k_i) + d_{(3)}(k_i))]}$$

该坐标 (x, y) 就是经过加权质心定位计算后的未知节点坐标.

3 仿 真

在 UNIX 平台上, 用 C 语言编程, 对上述算法进行了计算机仿真. 仿真条件: 信标节点参照 MICA2 mote, 取 200~300 m 的室外发射半径. RSSI 值与距离的关系由式 (1) 和式 (2) 决定, 因为随机散布无线传感器网络常常位于室外环境, 路径损耗较自由空间大, 所以式 (1) 和式 (2) 中的衰减因子 k 设为 3. 2, 高斯分布随机变数 X_c 的标准差取为 4. 为方便计算取 d_0 为 1 m. 传感区域为 200 m × 200 m, 信标节点较“均匀”地分布于传感区域. 普通节点随机布置于传感区域. 普通节点数为 220 个. 信标节点数目有 6 种情况: 9, 12, 16, 20, 25, 30 个信标. 仿真采用加权质心算法和极大似然估计法分别计算. 图 3 和图 4 是仿真结果, 从图中可以看出加权质心算法有较好的定位精度, 特别是在信标节点密度较低的情况下, 具有明显优势. 表 1 是仿真数据和加权质心算法误差下降比例. 表 2 为当参与定位计算信标数变化时, 极大似然仿真结果 (只采用 RSSI 值最大的信标). 表 2 显示, 在 RSSI 测距方式下, RSSI 值大的信标节点参与定位计算会增加定位误差, 这与前面的分析结论是一致的.

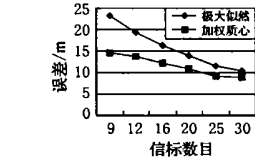


图 3 平均误差

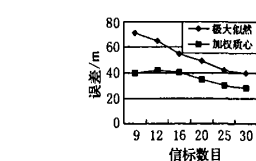


图 4 最大误差

4 结 论

加权质心定位算法采用了具有较大的无线发射功率的信标节点, 其发射半径远大于普通节点的通信半径, 这样可以减少信标节点数目, 并且对硬件的要求不高, 对信标节点的密度要求也下降了, 具有较好的综合效果. 它为不需要节点精确定位的大规模传感器网络应用, 提供了一种新的定

表 1 误差统计表

		信标总数 个											
		30		25		20		16		12		9	
		平均 误差	最大 误差	平均 误差	最大 误差	平均 误差	最大 误差	平均 误差	最大 误差	平均 误差	最大 误差	平均 误差	最大 误差
极大似然估计	/m	10. 3	39. 3	11. 5	42. 0	13. 9	49. 0	16. 3	54. 4	18. 8	64. 7	19. 1	71. 2
加权质心算法	/m	8. 89	27. 7	9. 2	30. 0	10. 8	34. 6	12. 2	40. 6	13. 6	41. 9	14. 5	39. 7
误差下降比例	%	13	30	19	28	23	29	25	25	28	35	24	44

表 2 极大似然 误差对比表

参与定 位信标 数 个	信标总数 个					
	30	25	20	16	12	9
4	10. 35	11. 50	13. 99	16. 39	18. 87	19. 08
5	11. 74	13. 95	15. 39	19. 04	21. 02	28. 54

注: 未注单位为 m.

位方法 .文中提出的信标节点影响力概念可以应用在 DV-Hop, DV -distance^[3]等定位算法中,用于改善算法,提高定位精度 .另一方面,算法在各向异性环境中如何提高定位精度,仍是一个有待解决的问题 .这也是大多数定位算法的共性问题.

参 考 文 献

[1] 王福豹, 史 龙,任丰原. 无线传感器网络中的自身定位系统和算法. 软件学报, 2005, 16(5): 1 148-

1 157

[2] Bahl P, Padmanabhan V N. RADAR an in-build-ing RF-based user location and tracking system. // Proc. of the IEEE INFOCOM, 2000, 2, Tel Aviv: IEEE Computer and Communications Societies, 2000 775-784

[3] Niculescu D, Nath B. DV based positioning in ad hoc networks. Journal of Telecommunication Sys-tems, 2003, 22(1/4): 267-280

[4] Doherty L, Pister K S J, Ghaoui L E. Convex po-sition estimation in wireless sensor networks. // Proc. of the IEEE INFOCOM, 2001, 3, Anchor-age IEEE Computer and Communications Soci-eties, 2001: 1 655-1 663

[5] Theodore S Rappaport. Wireless communications principles and practice. [S. l]: Prentice Hall PTR, 1996

Weighted Centroid Localization Algorithm Based on RSSI for Wireless Sensor Networks

Chen Weike^{1, 2)} Li Wenfeng¹⁾ Shou Heng³⁾ Y uan Bing¹⁾

(School of Logistics Eng. ,WUT, Wuhan 430063)¹⁾

(Dept. of Mechanical Eng. , Hunan Metallurgical

Professional Technology Co llege, Zhuzhou 412000)²⁾

(Hunan Railway Professional Technology College, Zhuzhou 412000)³⁾

Abstract

Localization of nodes is a key technology for application of wireless sensor network. By analyzing the model of radio wave propagation loss, this paper provides a weighted centroid localization algo-rithm that uses coefficients, which are decided by the influence of beacons to unknown nodes, to prompt localization accuracy. A criterion which is used to select beacon nodes for computing the posi-tion of nodes and improving localization accuracy is also suggested. Weighted centroid localization al-gorithm is simple and no communication is needed while locating. The weighted centroid localization algorithm has higher accuracy than maximum likelihood estimation and can be applied to many appli-cations.

Key words wireless sensor network; localization; centroid algorithm; beacon node; maximum likelihood estimate