

一种基于接收信号强度指示的改进型定位算法

孔庆茹, 杨新宇, 闫超, 杨文静

(西安交通大学电子与信息工程学院, 710049, 西安)

摘要: 针对无线传感器网络在道路监控、管道传输等一维环境中出现的因经验模型基站移动或环境发生改变时需要重新建立数据库的问题, 提出了一种基于接收信号强度指示(RSSI)的一维经验模型定位算法(1-DEMRSSI). 该算法基于一维线性定位的思想, 利用信号强度比值来确定未知节点的位置, 所以只需要建立一次信号强度比值数据库. 仿真结果表明, 1-DEMRSSI算法比RSSI算法的运算量小, 且一次定位时间可缩短10%左右, 定位精度提高14.2%~66.4%, 其在一维线性应用领域表现出了良好的灵活性和实用性.

关键词: 无线传感器网络; 定位算法; 信号强度比

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2008)02-0147-05

Improved Localization Algorithm Based on Received Signal Strength Indicator

KONG Qingru, YANG Xinyu, YAN Chao, YANG Wenjing

(School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: In order to overcome the problem of reestablishing the data set when the base stations move or the environments change, a novel 1-dimensional empirical model location algorithm — 1-DEMRSSI is proposed for 1-dimensional wireless sensor networks applications such as road surveillance and pipeline transmission. The algorithm is based on RSSI (received signal strength indicator) and linear location, and utilizes the ratios of signal strengths, instead of signal strength, to determine the locations of the unknown nodes. The algorithm only needs to establish the data set for ratios of the signal strengths once. Simulation results and comparisons with the RSSI algorithm show that the calculation cost of the proposed algorithm is reduced, location time is shortened about 10%, and the location precision is improved by 14.2% to 66.4%. It has been observed that the algorithm is well flexible and practical for linear applications.

Keywords: wireless sensor networks; location algorithm; signal strength ratio

在传感器网络中, 节点的位置信息至关重要. 定位信息除了用来报告事件发生的地点之外, 还可用于目标跟踪、辅助路由以及网络管理^[1]等. 如今, 传感器定位已经成为了一个很重要的研究方向和热点问题.

传感器网络中的定位算法一般分为基于距离的定位算法和与距离无关的定位算法^[2]. 前者是通过测量相邻节点间的实际距离或方位信息, 使用三边

测量法、三角测量法或极大似然估计法^[1]来计算节点位置, 后者是利用节点之间的连通性、相对位置或特定的协议^[3]估计距离来计算节点位置. 在基于距离的定位中, 测量节点间距或方位的方法^[4]主要有到达时间(TOA)法、到达时间差(TDOA)、到达角度(AOA)法和接收信号强度指示(RSSI)法等, 但它们大多是基于室内实验环境的, 对硬件要求过高, 难以在实际中应用.

本文针对道路监控、管道传输、线路传输等应用领域,在经验模型法算法的基础上,提出了利用信号强度比的定位算法——1-DEMRSSI.

1 系统模型

在基于 RSSI 的定位算法中,接收节点根据收到的信号强度和预先知道的发射信号强度来计算传播损耗,利用理论和经验模型将传播损耗映射为距离,最后计算出节点的位置.传感器定位算法是以平面为基础提出的,节点根据坐标 (x, y) 来确定位置,计算自身位置的基本方法有三边测量法、三角测量法、极大似然估计法等,而在道路监控、管道传输、线路传输等应用领域,监控对象往往成线性分布,这样可以将 y 定义为0,仅以坐标 x 来确定节点的位置,即以坐标 $(x, 0)$ 进行定位.

在检测区域中部署2个基站 S_{B1} 、 S_{B2} ,间距为 D ,基站和用户节点均配有无线网卡,接收并测量信号的强度.用户节点定期发射分组信号,信号的强度已知且为 R ,如图1所示.节点信号衰减采用对数距离衰减模型,即

$$\overline{P}_L(d) = \overline{P}_L(d_0) + 10\lg\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (1)$$

式中: n 为路径损耗指数,表示路径损耗随距离增长的速率; d_0 为参考距离; $\overline{P}_L(d_0)$ 是参考距离 d_0 的功率; $\overline{P}_L(d)$ 是距离为 d 的信号衰减功率.

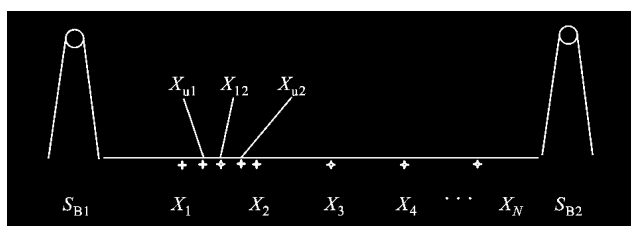


图1 节点分布示意图

2 改进的经验定位算法

2.1 RADAR 系统

基于 RSSI 的定位算法由于成本低、操作简单而受到了广泛的关注,因此也出现了大量的相关文章和定位系统^[5-7].RADAR 系统^[8]是微软 2001 年开发的一种基于 RSSI 技术的室内定位系统,它在监测区域中部署了 S_{B1} 、 S_{B2} 和 S_{B3} ,基站和用户节点均配有无线网卡,接收并测量信号的强度.通常使用2种方法计算节点位置:利用信号传播经验模型法和利用信号传播的理论模型法.

利用信号传播经验模型法的定位过程^[1]:在实际定位前选取若干测试点,在这些点上记录各基站

收到的信号强度,建立各个点上的位置与信号强度的离散关系数据库 (x, y, s_1, s_2, s_3) ;在实际定位时,将测得的信号强度 (s'_1, s'_2, s'_3) 与数据库中的信号强度进行比较,信号强度均方差 $r_{\text{sqrt}}[(s_1 - s'_1)^2 + (s'_2 - s'_2)^2 + (s_3 - s'_3)^2]$ 最小的点坐标将作为节点的坐标.这种定位法精度较高,但是要预先建立位置与信号强度的关系数据库.当基站位置或环境发生改变时,关系数据库应随之重建,而在现实环境中,温度、障碍物、传播模式等往往是变化的,所以在应用中难以实现.

2.2 改进算法

1-DEMRSSI 算法(以下简称改进算法)定义 X_i 为2个基站中的参考点, R_{i1} 、 R_{i2} 分别为 S_{B1} 、 S_{B2} 接收到点 X_i 的信号强度.在2个基站之间均匀或者随机设定 $X_1, X_2, \dots, X_N$ 作为参考点(见图1), R_{11} 、 R_{12} 、 R_{21} 、 R_{22} 、 $\dots$ 、 R_{N1} 、 R_{N2} 分别为 S_{B1} 、 S_{B2} 接收到参考点 $X_1, X_2, \dots, X_N$ 的信号强度,则有

$$R_{i1} = R - \overline{P}_L(X_i) = R - \left\{ \overline{P}_L(d_0) + 10\lg\left(\frac{X_i}{d_0}\right) \right\} \quad (2)$$

$$R_{i2} = R - \overline{P}_L(X_i) = R - \left\{ \overline{P}_L(d_0) + 10\lg\left(\frac{D - X_i}{d_0}\right) \right\} \quad (3)$$

由此可得出2个基站的信号强度比值

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= \frac{R_{11}}{R_{12}} \\ R_2 &= \frac{R_{21}}{R_{22}} \\ &\vdots \\ R_N &= \frac{R_{N1}}{R_{N2}} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

在实际定位时,假设待测点为 X_u ,根据测得的信号强度 R_{u1} 、 R_{u2} 可求出

$$R_u = \frac{R_{u1}}{R_{u2}} \quad (5)$$

定义 D_i 为 R_u 与 $R_1, R_2, \dots, R_N$ 的差值,则有

$$\left. \begin{aligned} D_1 &= |R_u - R_1| \\ D_2 &= |R_u - R_2| \\ &\vdots \\ D_N &= |R_u - R_N| \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

所以,可以认为 R_u 与 R_i 之间最小的差值 D_i 所对应的 X_u 的坐标即为参考点 X_i 的坐标,从而实现了待测节点的定位.

2.3 理论误差分析

如图1所示,设 S_{B1} 、 S_{B2} 之间的距离为 L , N 个

参考点均匀分布,各段距离均为 $L/(N+1)$,又设 X_{12} 为 X_1 和 X_2 的中点,则当未知点 X_u 在 X_1 与 X_{12} 之间移动,且移动到 X_{u1} 时, X_{u1} 距 X_1 最近,此时若认为 X_1 的位置就是 X_u 的位置,那么定位误差为 $(X_{u1} - X_1)$ 。很显然,当 X_{u1} 移动到中点 X_{12} 时,定位误差最大且为 $L/2(N+1)$ 。同理,当未知点 X_u 在 X_{12} 与 X_2 之间移动,且移动到 X_{u2} 时,最大定位误差同为 $L/2(N+1)$ 。如果参考点随机分布,则任意2个参考点之间的距离是无法从理论上定量确定的。

2.4 改进算法的优点

改进算法具有以下优点:①将二维定位法改为一维定位法,从而降低了节点对硬件的要求,大大减少了数据的传输量和计算量,缩短了定位时间,降低了能耗;②当环境变化时,基于 RSSI 的经验模型需要重新建立位置与信号强度之间的关系数据库,这使得算法的实用性大大降低,而改进算法只需一次性建立信号强度比值数据库,由此拓宽了算法的应用领域。

3 系统仿真及性能分析

通过 MATLAB 仿真实验来分析改进算法的定位精度、功耗和代价等性能^[9],仿真结果均为1 000次独立实验所得。

3.1 定位精度比较

假定 S_{B1} 、 S_{B2} 之间的距离是 100 m,参考点的位置在基站之间均匀分布,50 个待测点随机布置,则定位的平均误差与参考点数的关系如图 2 所示。

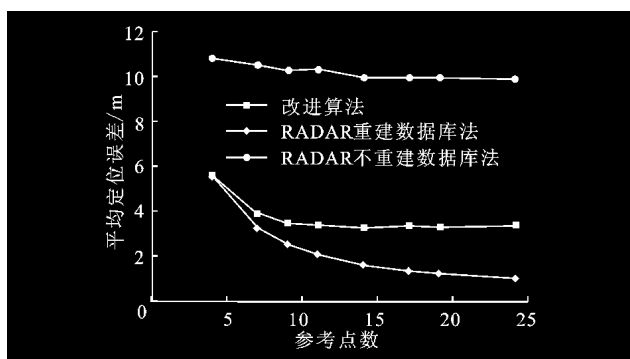


图2 参考点均匀分布时的平均定位误差

从图2可以看出,若有4个参考点,改进算法的平均定位误差是5.62 m, RADAR 重建数据库法的平均定位误差是5.58 m,这2个结果基本相当;当参考点数从14增加到17、从19增加到24时,改进算法的平均定位误差分别从3.30 m、3.31 m上升到3.36 m、3.34 m。但是,在管道传输、道路监控和线路传输等领域,参考点不宜布置得过密,否则成本

将很大。一般,在0~100 m之间参考点数不得超过10(见图2),若参考点数在10以内,改进算法的定位精度与RADAR重建数据库法的定位精度之差仅为1 m。

在有4个参考点的情况下,改进算法的平均定位误差为5.62 m, RADAR 不重建数据库法的平均定位误差为10.89 m,改进算法的定位精度较之提高了48.4%;当参考点数比较多,如有24个参考点,改进算法的平均定位误差为3.34 m, RADAR 不重建数据库法的平均定位误差为9.94 m,改进算法的定位精度仍较之提高了66.4%。

此外,根据2.3节的理论误差分析,当参考点数分别是4、9、14、19和24时,理论上的最大误差应分别为10.0 m、5.0 m、3.3 m、2.5 m和2.0 m,而改进算法的平均定位误差分别为5.62 m、3.47 m、3.30 m、3.31 m和3.34 m。可以看出,若参考点数小于14,改进算法的定位误差在最大理论误差的范围之内;若参考点数超过了14,改进算法的平均定位误差超出了最大理论误差的范围,出现这种情况的主要原因是无线电波易受到多径、阴影衰落、非视距传播^[10]等环境的影响。但是,对于管道传输、道路监控和线路传输等环境,在100 m之内最多有十几个参考节点,此时改进算法还是表现出良好的定位精度。

假定 S_{B1} 、 S_{B2} 之间的距离是 100 m,在基站之间的参考点位置采用 rand 函数随机选取,待测点是50个随机位置,则平均定位误差与参考点数的关系如图3所示。

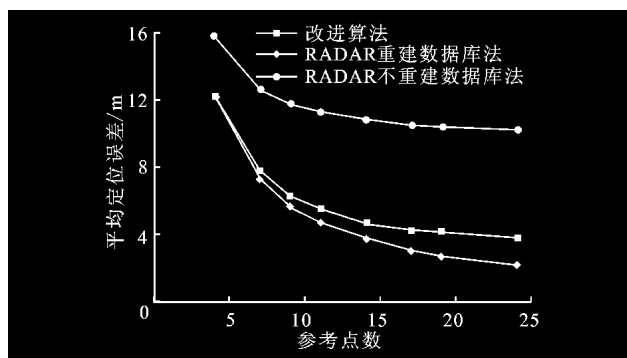


图3 参考点随机部署时的平均定位误差

从图3可以看出:若参考点比较少,如有4个参考点,改进算法的平均定位误差为12.35 m, RADAR 不重建数据库法的平均定位误差为15.89 m, RADAR 重建数据库法的平均定位误差为12.40 m,显然改进算法的平均定位精度较之分别提高了22.3%和0.4%;当参考点数比较多,如有24个参

考点,改进算法的平均定位误差为 3.74 m,RADAR 不重建数据库法的平均定位误差为 10.30 m,RADAR 重建数据库法的平均定位误差为 2.14 m,改进算法的定位精度比 RADAR 不重建数据库法提高了 64.5%,而比 RADAR 重建数据库法下降了 42.7%。

3.2 功耗比较

功耗是影响无线传感器网络(WSN)设计、实现的最大因素之一。由于传感器节点的电池能量有限,因此在保证定位精度的前提下,与功耗密切相关的定位所需的计算量、通信开销、存储开销、时间复杂度是一组关键性指标。下面从计算量和时间复杂度上进行比较。

假设有 n 个参考点,根据式(2)、式(3)可知:RADAR 算法的运算包括 $2n$ 次的加法、乘法、常用对数、求平方、减法, n 次求方根和 $(n-1)$ 次的比较;改进算法的运算包括 $2n$ 次的加法、乘法、常用对数, n 次的除法、减法,以及 $(n-1)$ 次比较。对于计算机来说,加法、减法操作可以等同,乘法、求平方和除法可以等同,所以 RADAR 算法的运算操作可以简化为 $(5n-1)$ 次加法、 $4n$ 次乘法、 $2n$ 次求常用对数和 n 次求方根,而改进算法的运算可以简化为 $(4n-1)$ 次加法、 $3n$ 次乘法和 $2n$ 次求常用对数,显

然改进算法的每一项的操作次数均少于 RADAR 算法。

上述算法的程序都只有一个 for 循环体,所以当参考点数为 n 时,它们的时间复杂度均为 $O(n)$ 。

3.3 代价比较

定位算法的代价可分为时间代价、空间代价、资金代价,其中时间代价包括系统的安装、配置、定位所需时间,空间代价包括基础设施和网络节点的数量、硬件尺寸等,资金代价包括基础设施、节点设备的总费用。3 种算法在参考点均匀选取时的定位时间与参考点数的关系如表 1 所示,从中看出,改进算法的定位时间比 RADAR 不重建数据库法、RADAR 重建数据库法分别平均缩短了 10.2% 和 8.3%。

1 000 次独立定位的平均定位时间与参考点数的关系如表 2 所示,从中看出,改进算法的定位时间比 RADAR 不重建数据库法、RADAR 重建数据库法分别平均缩短了 12.8% 和 11.1%,特别在一次定位的时间方面,前者较之后两者具有明显的优势,而当考虑了每次环境变化时的情况,改进算法在时间代价上优势更为显著。

综上述仿真结果可以看出,在定位精度方面,改进算法比 RADAR 重建数据库法略微逊色,但始终

表 1 参考点均匀选取时的定位时间比较

参考点数		4	7	9	11	14	17	19	24
定位时间/s	算法 1	3.65	3.49	3.50	3.54	3.58	3.71	3.72	3.62
	算法 2	4.52	3.86	3.89	3.83	4.06	4.08	4.02	4.08
	算法 3	3.97	3.80	3.68	3.75	4.14	4.09	4.06	4.19
算法 1 比算法 2 缩短的时间百分比/%		19.2	5.2	10.0	7.6	11.8	9.1	7.5	11.3
算法 1 比算法 3 缩短的时间百分比/%		8.1	5.2	4.9	5.6	13.5	9.3	8.4	13.6

注:算法 1 表示改进算法;算法 2 表示 RADAR 不重建数据库法;算法 3 表示 RADAR 重建数据库法。

表 2 1 000 次独立定位的平均定位时间比较

参考点数		4	7	9	11	14	17	19	24
定位时间/s	算法 1	3.42	3.49	3.50	3.47	3.56	3.51	3.54	3.62
	算法 2	4.52	3.86	3.89	3.83	4.06	4.08	4.02	4.08
	算法 3	3.97	3.80	3.68	3.75	4.14	4.09	4.06	4.19
算法 1 比算法 2 缩短的时间百分比/%		24.3	9.6	10.0	9.4	12.3	14.0	11.9	11.3
算法 1 比算法 3 缩短的时间百分比/%		13.9	8.2	4.9	7.5	14.0	14.2	12.8	13.6

注:算法改进算法;算法 2 表示 RADAR 不重建数据库法;算法 3 表示 RADAR 重建数据库法。

优于 RADAR 不重建数据库法,定位精度可提高 14.2%~66.4%。对于一次定位过程,改进算法的计算量(功耗)小于 RADAR 重建数据库法,而定位时间(代价)比 RADAR 重建数据库法缩短了 10.0% 左右。

4 结束语

本文基于 RSSI 算法提出了一种利用信号强度比值的线性定位算法,虽然它比 RADAR 重建数据库法的定位精度略差,但在二维线性应用领域表现出了较好的灵活性和实用性,而且在环境改变时,该算法不需要重新建立数据库,且定位精度高、功耗低、定位快。

参考文献:

- [1] 孙利民,李建中,陈渝,等. 无线传感器网络 [M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [2] HE Tian, HUANG Chengdu, BLUM B M, et al. Range-free localization schemes in large scale sensor networks [C]//Proceedings of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. New York: ACM Press, 2003:81-95.
- [3] HSIEH Yi-Ling, WANG Kuochen. Efficient localization in mobile wireless sensor networks [C]//Proceedings of IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing. Piscataway, USA: IEEE, 2006:292-297.
- [4] CCFFERY J J, STUBER G L. Overview of radiolocation CDMA cellular systems[J]. IEEE Communications Magazine,1998,16(4):38-45.
- [5] WHITEHOUSE K, CULLER D. Calibration as parameter estimation in sensor networks [C]//Proceedings of ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Application. New York: ACM Press,2002:59-67.
- [6] HIGHTOWER J, WANT R, BORRIELLO G. SpotON: an indoor 3d location sensing technology based on rf signal strength. Report 00-02-02 [R]. Seattle, USA: Department of Computer Science and Engineering, University of Washington, 2000.
- [7] NI L M, LIU Yunhao, LAU Y C, et al. LAND-MARC: indoor location sensing using active RFID [C]//Proceedings of IEEE PerCom. Piscataway, USA: IEEE, 2003:407-415.
- [8] BAHL P, PADMANABHAN V N. RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system [C]//Proceedings of IEEE Computer and Communications Societies. Piscataway, USA: IEEE, 2000:775-784.
- [9] 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 [J]. 软件学报, 2005,16(5):857-868.
WANG Fubao, SHI Long, REN Fengyuan. Self-localization systems and algorithms for wireless sensor networks [J]. Journal of Software, 2005,6(5):857-868.
- [10] HAEBERDEN A, FLANNERY E, LADD A M, et al. Practical robust localization over large-scale 802.11 wireless networks [C]//Proceedings of 10th ACM. New York: ACM Press, 2004:70-84.

(编辑 苗凌)