

基于移动锚节点的 WSN 节点定位方法

龚 森 冯友兵 卞建秀

(江苏科技大学电子信息学院 镇江 212003)

摘 要 为提高 WSN 定位精度,提出一种带定向天线的移动锚节点定位算法。首先对 WSN 进行分层,锚节点可沿 x 轴和分层线移动实现对未知节点的遍历,在移动过程中等间隔距离旋转定向广播位置信息,未知节点根据接收到的锚节点坐标、方位角等信息确定自身位置。定位算法简单,无需测距,完全使用锚节点信息实现定位,仿真结果表明,该算法比典型的采用单个移动锚节点的 SLWL 算法具有更高的定位精度和定位稳定性。

关键词 无线传感器网络,移动锚节点,定向天线,接收信号强度,节点定位

中图分类号 TP393 文献标识码 A

Localization Method for WSN Based on One Mobile Anchor

GONG Miao FENG You-bing BIAN Jian-xiu

(School of Electronics and Information Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003, China)

Abstract A localization algorithm for WSN using one mobile anchor with directional antenna was proposed to improve positioning accuracy. The network was divided into several layers, and then anchor node moved along the x axis and layer boundary to traverse all unknown nodes. At intervals of the same distance, the anchor node directed broadcast position information in the process of moving. The unknown nodes according to the anchor node coordinate and azimuth information to determine its position. The simulation results show that, the algorithm has higher accuracy than the typical SLWL algorithm.

Keywords Wireless sensor network, Mobile anchor, Directional antenna, RSSI, Localization

1 引言

节点定位是无线传感器网络(WSN)关键核心支撑技术之一^[1],一般未知节点通过与少量已知位置信息的锚节点进行通信估算自身的位置。近年来,WSN 定位方法研究取得了大量研究成果。

根据定位过程是否需要测量距离,WSN 节点定位可采用基于测距的定位方法和无需测距的定位方法,其中基于测距的定位方法需要额外硬件支持,定位成本较高,定位精度高但易受环境因素影响;而无需测距的定位方法虽然定位精度较低,但成本低且不易受环境因素影响,更适合低成本 WSN 的应用。

根据锚节点是否移动,WSN 定位方法可分为静态锚节点定位和动态锚节点定位两种。通常采用静态锚节点时需要一定的密度以满足连通性需求,因此锚节点数量较多^[2-4]。而动态锚节点的使用可大大减少锚节点数量,且更灵活,近年来倍受关注,许多学者从不同的角度提出了基于移动锚节点的定位算法。

如 Zhang Rongbiao 等^[5]提出了一个典型的利用单个移动锚节点的定位方法(SLWL),锚节点沿一条水平线来回移动,等距离发送信标信息,并通过锚节点射程的梯度增加实现

对所有未知节点的遍历,进而通过分析未知节点与锚节点之间的通信约束和空间几何关系,估算未知节点的位置,但该算法在纵轴方向上定位误差比较大。刘辉等^[6]通过 RSSI 测得锚节点到待定节点的距离,并利用至少 3 个移动锚节点的坐标来计算未知节点的位置。

移动锚节点的使用带来了移动轨迹规划问题,不少学者进行了深入研究,以保证锚节点通过移动实现对所有未知节点的遍历。如 Jinfang Jiang 等^[7]采用移动锚节点沿部署区域内等边三角形的轨迹遍历整个 WSN 的方法进行定位,以保证所有未知节点都接收到消息,并得到估计位置;刘辉亚等^[8]提出移动锚节点沿着最大覆盖未知节点的路径运动的算法,该算法适用于大规模随机不均匀分布节点的应用,定位性能较好;陈子琦^[9]研究了一种具有动态能量管理的节点定位方法,利用蚁群算法使移动锚节点遍历整个网络,从而实现对所有节点的定位。鲍可进等^[10]研究的一种利用带有 GPS 的可移动单锚节点的 SMLB 定位算法,锚节点按规划好的路径遍历整个网络来实现未知节点的定位。

以上定位方法中传感器节点和锚节点均采用普通全向天线,而定向天线的应用则有助于提高定位精度。如董振中等^[11]提出了一种基于定向天线的无需测距分布式定位算法,未知节点利用定向天线确定邻居节点之间的相对位置,取得

龚 森(1991-),女,硕士生,主要研究方向为无线传感器网络定位技术,E-mail:1007243232@qq.com;冯友兵(1978-),男,博士,讲师,主要研究方向为无线传感器网络;卞建秀(1991-),女,硕士生,主要研究方向为无线传感器网络定位技术。

了较好的定位精度;Ou Chia-ho^[12]研究了利用4个配备定向天线的锚节点用无需测距的技术定位的方法,降低了特定范围内传感器的硬件要求,并减少了锚节点传输范围和感测环境中存在障碍变化的影响。

本文提出一种利用一个带定向天线的移动锚节点实现对所有未知节点的定位方法,通过锚节点沿既定轨迹移动以及定向天线的旋转发送信息实现对网络中所有未知位置节点的遍历。

2 问题描述

2.1 网络配置

假设在某野外监测区域中部署了一批传感器节点构成WSN,该监测区域总能找到一个矩形将其完全包含在内。现在以矩形两条相交的边构建二维平面直角坐标系,并使监测区域处于第一象限,网络结构如图1所示。所有传感器节点位置未知,在坐标原点处有一个已知位置的锚节点,且锚节点带有定向天线。全文作如下假设:

- (1)锚节点可以移动,且移动方式精确可控;
- (2)锚节点定向天线旋转角度精确可控;
- (3)未知节点采用普通全向天线。

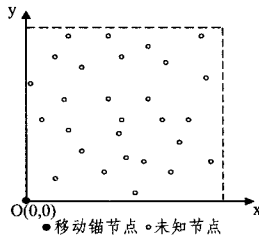


图1 网络配置图

2.2 定位数学原理

假设直角坐标系中有3点即A、S、T,如图2所示,其中直线ST平行于x轴,且 $S(x_1, y_1)$ 、 $T(x_2, y_1)$ 两点坐标已知;A点在直线ST的上方,且A点坐标未知;直线AS与直线ST构成的夹角 α 即为直线AS与x轴正向之间的夹角,直线AT与直线ST构成的夹角 β 即为直线AT与x轴正向之间的夹角,且 α, β 已知;A点与ST之间可能存在5种不同位置关系:① $\alpha > 90^\circ, \beta > 90^\circ$;② $\alpha < 90^\circ, \beta > 90^\circ$;③ $\alpha < 90^\circ, \beta < 90^\circ$;④ $\alpha = 90^\circ, \beta > 90^\circ$;⑤ $\alpha < 90^\circ, \beta = 90^\circ$ 。其中后两种情况比较特殊,但经过分析,无论哪种情况,均可得A点坐标 (x, y) 为:

$$\begin{cases} x = \frac{x_1 \tan \alpha - x_2 \tan \beta}{\tan \alpha - \tan \beta} \\ y = y_1 + \frac{(x_1 - x_2) \tan \alpha \tan \beta}{\tan \beta - \tan \alpha} \end{cases} \quad (1)$$

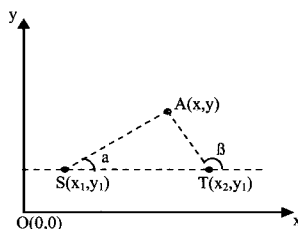


图2 定位原理

3 定位方法描述

定义1 以未知节点与锚节点之间的连线和x轴正向之间的夹角作为方位角。

对于网络范围比较大的网络,为了保证定位精度,可对网络进行分层,锚节点沿着x轴和分层线移动实现对层内的节点定位。如图3所示,假设网络以层高h实现网络分层,h的大小可以根据锚节点通信半径l、网络规模等信息来确定,且分层线与坐标轴平行。

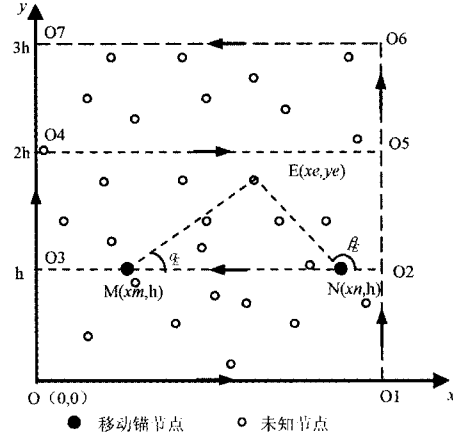


图3 分层定位示意图

锚节点起始位置在坐标原点,首先沿x轴正向移动,当锚节点到达网络边界的时候,如图3中O1点,锚节点则转向沿O1O2方向向上移动,当锚节点到达O2点时,进入第二层定位,沿O2O3方向向左移动直至到达O3点,完成第二层未知节点定位,然后锚节点再转向沿O3O4向上移动,直至到达O4点,再沿O4O5向左移动,直至通过整个网络。

在移动过程中,当锚节点处于x轴或分层线上时,每隔距离 d ($d \leq \sqrt{l^2 - h^2}$)即停止移动,广播一轮自身位置坐标和方位角信息,并通过在水平方向旋转 180° 的形式实现对不同方向未知节点的一轮广播,在一轮广播中,每旋转一个微小的角度即定向发送一次锚节点位置信息,以保证所有节点均能接收到位置信息。一轮信息发送完毕后,锚节点再继续移动,间隔 d 时再进行下一轮广播。由此,通过移动和等间隔的旋转广播,锚节点可实现对网络中所有未知节点的遍历。

未知节点接收并保存锚节点位置信息(包括坐标与方位角)和接收信号强度,选择同一轮接收信号强度最大的一次锚节点信息作为可用定位信息。

由定位原理可知,对图中某层未知节点定位时,可根据未知节点至少两轮接收到的可用位置信息进行定位。以图3中未知节点 $E(xe, ye)$ 为例,未知节点E接收到锚节点两轮定向广播位置信息时所在位置为 $N(xn, h)$ 、 $M(xm, h)$,以及相应的方位角,则依据式(1)可计算E点坐标为:

$$\begin{cases} xe = xm + \frac{\tan \beta_E}{\tan \beta_E - \tan \alpha_E} (xn - xm) \\ ye = h + \frac{\tan \alpha_E \tan \beta_E}{\tan \beta_E - \tan \alpha_E} (xn - xm) \end{cases} \quad (2)$$

由上述计算方法及计算公式可依次对网络内各层节点进行计算并保存未知节点位置信息,从而实现对整个网络内的所有未知节点进行定位。

4 接收方位角的确定

从以上定位过程可以发现,锚节点广播信息时所处坐标以及相应的方位角是节点定位计算时非常重要的两个参数,其中坐标在某轮广播时已经确定,而定向天线波束角的存在,使得未知节点在同一轮中可能接收到多次方位角信息,因此确定方位角就是一个比较关键的问题。

波束角是天线发射波波束的张角^[13](如图4所示),即以定向天线中轴线的延长线为轴线,由此向外至能量强度减少一半时的角度。显然距离天线中轴线越近,接收信号强度越强,因此选择接收信号强度最强的一次方位角作为定位用方位角。

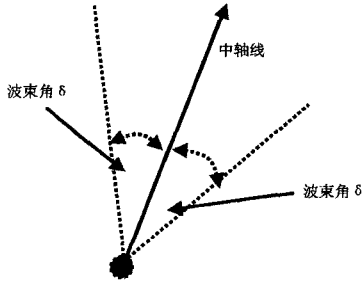


图4 定向天线波束角示意图

5 仿真与结果分析

为验证算法性能,本文使用 MATLAB 编写仿真程序进行分析,仿真参数如表1所列。仿真时选择与典型的采用单个移动锚节点定位的 SLWL 算法进行对比分析,SLWL 算法仿真参数如表2所列。

表1 本文算法仿真参数

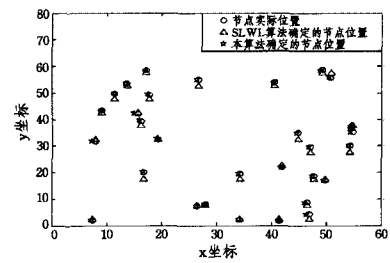
参数	取值
传感器节点数	30、60、90、120
监测区域大小	60×60
移动锚节点数量	1个
y轴	6层
x轴	间隔20/广播位置信息
定向天线旋转角度	0.05度/广播位置信息
定向天线波束角	0.2度

表2 SLWL算法仿真参数

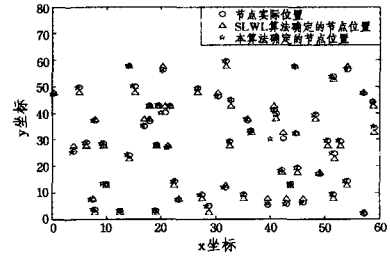
参数	取值
传感器节点数	30、60、90、120
监测区域大小	60×60
移动锚节点数量	1个
y轴	12层
x轴	间隔0.1/广播位置信息

(1) 定位结果

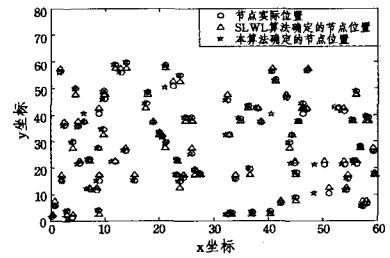
对于随机布置的传感器节点,其经过仿真后的定位结果如图5所示,“○”表示随机部署时传感器节点的实际位置,“☆”表示利用本文定位算法确定的传感器节点位置坐标,“△”表示利用 SLWL 算法确定的传感器节点位置。由图可以看出,本算法计算出的节点位置与节点实际位置基本重合,而利用 SLWL 算法确定的节点位置往往在 y 方向上与实际位置有一定的差距。显然在同样的网络场景下,尽管 SLWL 分层更多,信标信号发射更密集,但从图中可看出本文算法定位精度应该高于 SLWL 算法。



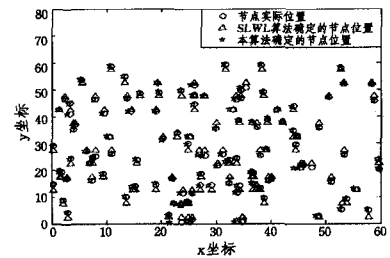
(a) 30个节点定位仿真结果



(b) 60个节点定位仿真结果



(c) 90个节点定位仿真结果

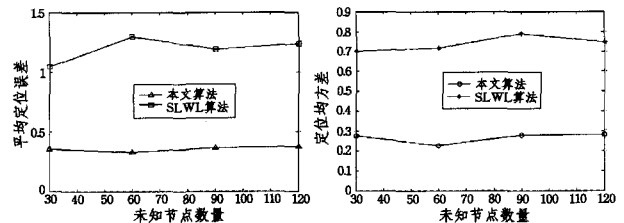


(d) 120个节点定位仿真结果

图5 定位结果图

(2) 误差对比分析

图6(a)、(b)分别是对两种算法上述定位结果的平均定位误差和定位均方误差的对比分析结果图。由图可知,尽管 SLWL 算法在监测区域内 y 轴的分层数量比本文算法多一倍,且 x 轴的信标间隔比本文算法的小 200 倍,但本文算法具有明显更小的平均定位误差和定位均方误差,因此本文算法具有更高的定位精度和稳定性。



(a) 平均定位误差对比

(b) 定位均方误差对比

图6 本文算法与 SLWL 算法定位比较

结束语 本文提出了一种利用单个带定向天线的移动锚节点的 WSN 定位算法。该算法无需测距,传感器节点不用配备额外的硬件,节点成本低;且在定位过程中,传感器节点

仅需接收锚节点信息即可实现定位,算法简单。仿真结果表明,本文算法具有较高的定位精度和稳定性。因此,本文算法是一种低成本、低复杂度、高精度的 WSN 自定位技术。

参考文献

- [1] 崔逊学,左从菊. 无线传感器网络简明教程[M]. 北京:清华大学出版社,2009:69
- [2] 李牧东,熊伟,郭龙. 基于人工蜂群算法的 DV-Hop 定位改进[J]. 计算机科学,2013,40(1):33-36
- [3] 欧阳丹彤,何金胜,白洪涛. 一种约束粒子群优化的无线传感器网络节点定位算法[J]. 计算机科学,2011,38(7):46-50
- [4] Chiu Wei-yu, Chen Bor-Sen, Yang Chang-Yi. Robust Relative Location Estimation in Wireless Sensor Networks with Inexact Position Problems [J]. Mobile Computing, IEEE, 2012, 11(6): 935-946
- [5] Zhang Rong-biao, Zhang Li-li, Feng You-bing. Very Low Energy Consumption Wireless Sensor Localization for Danger Environments with Single Mobile Anchor Node [J]. Wireless Personal Communications, 2008, 47(4): 497-521

(上接第 36 页)

的一次性加载并且连续映射的功能,在此基础上实现了大页面支持,减少了程序运行过程中 TLB 缺失次数。通过必要时调度策略减少了应用程序在计算节点上运行时非必要的调度,提高了计算节点运算效率,并减少了超大规模情况下的系统噪音。SandPOS 和 FileServer、MonitorServer 之间采用消息传递的通信方式,这种松耦合的结构可以带来较好的系统扩展性。为了提供不同节点间的高效通信,SandOS 中使用了简洁的通信协议,并通过将网卡映射在用户态的方法减少了通信操作时进出内核的开销。试验结果表明,SandPOS 比标准 Linux 在内存开销、调度效率、运行效率、页表管理等方面都具有更高的效率。

因不支持按需调页,故对于用户程序内存超过物理内存的情况需通过系统中增加内存服务器来作为内存和磁盘的中间层来解决,如何有效地使用内存服务器是下一步 SandOS 的研究方向。SandOS 目前的实现中还存在不足的地方,如 SandPOS 仅支持 MIPS 体系结构,FileServer 和 MonitorServer 对 linux 环境的依托等,这些将在后期开发中逐渐完善。

参考文献

- [1] Moreira J, Brutman M, et al. Designing a highly-scalable operating system; the blue gene/L story[C]//Proceedings of the 2006 ACM/IEEE conference on Supercomputing. Tampa, Florida, November 2006
- [2] Yoshii K, Iskra K. Performance and Scalability Evaluation of 'Big Memory' on Blue Gene Linux[J]. International Journal of High Performance Computing Applications, May 2010; 148-160
- [3] Lange J, Pedretti K, Palacios and Kitten; New High Performance Operating Systems For Scalable Virtualized and Native Supercomputing[C]//2010 IEEE International Symposium on Parallel & Distributed Processing (IPDPS). Atlanta, USA, April 2010
- [4] Yoshii K, Iskra K. Characterizing the performance of "big memory" on blue gene linux[C]//Proceedings of the 2009 International Conference on Parallel Processing Workshops, Vienna, Austria, September 2009

- [6] 刘辉,李智. 基于移动锚节点的无线传感器网络圆心定位[J]. 计算机与数字工程,2012(3):7-9
- [7] Jiang Jin-fang, Han Guang-jie, Xu Hui-hui, et al. LMAT: Localization with a Mobile Anchor Node Based on Trilateration in Wireless Sensor Networks [C] // Global Telecommunications Conference, Dec 2011: 1-6
- [8] 刘辉亚,徐建波. 无线传感器网络节点定位的移动信标节点路径规划[J]. 传感技术学报,2010,23(6):873-877
- [9] 陈子琦. 基于移动锚节点的 WSN 节点定位研究[D]. 长沙:长沙理工大学,2012:5-79
- [10] 鲍可进,王伟. 一种移动单锚节点的无线传感器网络定位算法[J]. 计算机应用研究,2010,27(4):1452-1454
- [11] 董振中,王恩博. 无线传感器网络中一种基于定向天线的节点定位算法[J]. 电子技术,2010,37(10):7-9
- [12] Ou Chia-ho. A Localization Scheme for Wireless Sensor Networks Using Mobile Anchors with Directional Antennas [J]. Sensors Journal, IEEE, 2011, 11(7): 1607-1616
- [13] 李海涛,李燕,张建忠. 微波定向天线对准实现方法[J]. 无线工程,2011,41(3):44-46

- [5] Wheat S R, et al. PUMA: an operating system for massively parallel systems[C]//Proceedings of the 27th Hawaii International Conference on System Sciences. Hawaii, USA, January 1994
- [6] Brightwell R, Maccabe A B. On the appropriateness of commodity operating systems for large-scale, balanced computing systems[C]//Proceedings of the 17th International Symposium on Parallel and Distributed Processing. Nice, France, April 2003
- [7] 黄凯,徐志伟. 可扩展并行计算-技术、结构与编程[M]. 北京:机械工业出版社,2001:37-39
- [8] 包云岗,许建卫,陈明宇,等. 一种新型计算机体系结构模拟器的研究与实现[J]. 系统仿真学报,2007
- [9] Zajcew R, Roy P. An OSF/1 UNIX for Massively Parallel Multi-computers [C] // Proceedings of the Winter USENIX Conference. San Diego, USA, January 1993
- [10] Adiga N R, et al. An overview of the BlueGene/L supercomputer[C]//Proceedings of the 2002 ACM/IEEE conference on Supercomputing. Baltimore, Maryland, November 2002
- [11] CrayXT3Ddatasheet[N]. http://www.cray.com/downloads/CrayXT3/CrayXT3_Datasheet.pdf
- [12] Linux Network Cluster System Climbs to Third Fastest Supercomputer in the World [N]. <http://www.prnewswire.com/news-releases/linux-network-cluster-system-climbs-to-third-fastest-supercomputer-in-the-world-71374077.html>
- [13] Mattson T G, Henry G. An overview of the Intel TFLOPS supercomputer [J]. Intel Technology Journal, 1998, 1
- [14] ASCI White [N]. <http://www.thocp.net/hardware/asci-white.htm>, 2003
- [15] Ron B, Ann F L, et al. Massively parallel computing using commodity components[M]. Elsevier Science Publishers B. V. 26: 243-266
- [16] Steve N. Scaling Linux to new heights; the SGI Altix 3000 system [J]. Specialized Systems Consultants, 2003, 3
- [17] The Small Linux for Big Computers [N]. <http://www.mcs.anl.gov/research/projects/zeptoos/links>, 2011
- [18] 沈林峰,陈明宇,许建卫. 兼容 Linux 应用环境的多粒度全系统模拟平台-SandUPSim [J]. 计算机工程,2005(22)
- [19] TOP500 Supercomputer Sites [N]. <http://www.top500.org/>, 2013