

一种单移动锚节点的无线传感器网络定位算法

鲍可进, 王 伟

(江苏大学 计算机科学与通信工程学院, 江苏 镇江 212013)

摘 要: 研究了无线传感器网络的节点定位算法, 提出了一种利用一个移动锚节点来实现定位的新算法。该算法利用一个移动锚节点, 按照规划好的路径遍历整个网络, 当移动锚节点移动到未知节点的通信半径以内, 未知节点就可以接收锚节点的位置信息。当未知节点接收到三个以上的处于其通信半径上的位置信息, 就可以计算出未知节点的坐标。最后, 通过仿真研究了该算法的特性, 仿真结果表明该定位方法在定位误差、能耗等方面均表现出良好的性能。

关键词: 无线传感器网络; 节点定位; 移动锚节点; 能耗

中图分类号: TP393

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2010)04-1452-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.04.068

Location algorithm use mobile beacon in wireless sensor networks

BAO Ke-jin, WANG Wei

(College of Computer Science & Telecommunication Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang Jiangsu 212013, China)

Abstract: This paper investigated a location algorithm in wireless sensor networks, and proposed a new location algorithm use a mobile beacon. The main idea of the algorithm was to use a mobile beacon to traverse the network follow the planned path. When the mobile beacon moved into the communication scope of the unknow node, the location of the mobile beacon received by the unknow node. The unknown node calculated its position after it received more than 3 position in its communication radius. Simulations were carried out to study the characteristic of the algorithm. The simulation results demonstrate that the location algorithm performs well on the aspects of location error and energy consumption.

Key words: wireless sensor networks(WSN); node localization; mobile beacon; energy consumption

随着硬件和无线通信技术的发展, 无线传感器网络(WSN)在很多领域得到了广泛的应用, 如智能家居、医疗监护、军事以及工农业生产^[1]。无线传感器网络是由部署在一定区域内的大量微型传感器节点组成的, 节点通过无线通信方式形成一个多跳的自组织网络系统。在很多应用领域中, 没有位置地采集数据是没有任何意义的, 除此之外, 传感器网络中很多其他研究领域也依赖于定位技术。所以, 定位技术在无线传感器网络的研究中是至关重要的。国内外针对锚节点移动的情形作了大量的研究^[2-9]。文献[10]中介绍了利用移动锚节点遍历网络, 然后结合三边测量法或圆的两条弦的中垂线交于圆点的原理来定位未知节点的方法。文献[11]中介绍的算法则是移动锚节点在网络区域的边缘移动, 并用不同功率将信号覆盖到网络的不同范围, 再结合三角形中垂线的原理实现未知节点的定位。从这些研究中可知, 锚节点移动的定位方法在定位的精度、能耗以及成本等方面都有着非常理想的效果。

本文提出的 SMLB(single mobile beacon location)算法是一种利用一个带有 GPS 的可移动锚节点, 按规划好的路径遍历整个网络来实现未知节点定位的算法。

1 SMLB 定位算法的描述

定位的实现依赖于锚节点的移动, SMLB 算法中, 锚节点

必须按一定的轨迹遍历整个网络。图 1 表示了移动锚节点在整个传感器网络中的移动轨迹。其中坐标轴 X 、 Y 表示传感器网络分布区域的边缘, 移动锚节点从坐标原点 O 点出发, 沿图中虚线箭头所示的 S 型路径遍历整个网络, 锚节点的轨迹平行于 X 轴或 Y 轴, 且平行于 X 轴的轨迹间隔为未知节点的通信半径, 本文假设节点的通信半径为 R 。黑点和圆表示未知节点及其通信范围。

移动锚节点在移动的过程中, 以一定的时间间隔不断地广播自己的当前位置。当其刚好到达某一个未知节点的通信范围时, 该未知节点就可以探测到锚节点, 并从锚节点获得当前位置的坐标。锚节点继续沿平行于 X 轴的方向移动, 当锚节点刚好离开该未知节点的通信范围时, 未知节点可以记录下锚节点离开通信范围前的最后一个坐标值, 这两个坐标都位于未知节点的通信半径上。由于平行于 X 轴的锚节点移动轨迹之间的间隔为 R , 移动轨迹与锚节点的通信半径必然会出现如图 2 所示的四种情形。针对这四种情况, 可以采用不同的方法来实现未知节点的定位。

a) 图 2(a) 中两条平行于 X 轴的轨迹与未知节点的通信半径有四个交点, 令这四个交点分别为 A 、 B 、 C 、 D , N 表示未知节点。 NP 、 NQ 分别垂直于 AB 和 CD 。由于 A 、 B 两点的坐标已知, $|AB|$ 的距离可以直接计算得出, $|AN|$ 和 $|BN|$ 的距离即为

收稿日期: 2009-09-15; 修回日期: 2009-10-26

作者简介: 鲍可进(1958-), 男, 江苏靖江人, 教授, 硕士, 主要研究方向为无线网络、嵌入式系统(bkj@ujs.edu.cn); 王伟(1981-), 男, 江苏徐州人, 硕士研究生, 主要研究方向为无线传感器网络。

未知节点的通信半径 R , N 、 A 、 B 三点组成了一个等腰三角形。设 A 、 B 点的坐标分别为 (X_A, Y_A) 、 (X_B, Y_B) , 由此可知:

$$X_P = (X_A + X_B) / 2$$

从而得到未知节点 N 的横坐标 $X_N = X_P$ 。

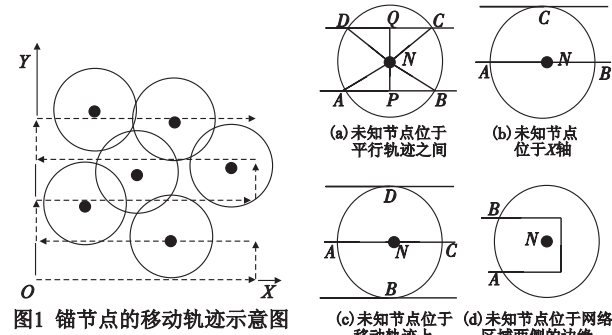


图1 锚节点的移动轨迹示意图

图2 未知节点的通信半径与锚节点移动轨迹关系的四种情形

因为锚节点的运动轨迹之间的间隔为 R , 所以经过未知节点的通信范围的移动轨迹肯定是两条。设 P 、 Q 的纵坐标分别为 Y_P 、 Y_Q , 则 $Y_N = Y_P + |PN|$ 或 $Y_N = Y_Q - |QN|$ 。其中, $\triangle NAB$ 为等腰三角形, PN 为中垂线, $|AN|$ 为 R , 所以

$$|AP| = |AB| / 2, |PN| = \sqrt{R^2 - |AP|^2}$$

同理可以计算得出 $|QN|$ 。由于锚节点的移动轨迹在坐标系中是自下而上的, 未知节点 N 收集到的第一对位置信息必然位于 N 的下方, 即图 3 中的 A 、 B , 第二对则位于 N 的上方, 即图 3 中 C 、 D 所示。因此, 当中垂线 $|PN|$ 根据第一对坐标信息计算得出时, $Y_N = Y_P + |PN|$, 而 $|QN|$ 由第二对信息计算得出时, $Y_N = Y_Q - |QN|$ 。在锚节点遍历整个网络的过程中, 每一个这种类型的未知节点都可以得到两个坐标值, 为了降低误差, 取两个坐标的均值作为最终的计算结果。

b) 图 2(b) 中所表示的情况是未知节点处于 X 轴, 在这种情况下, 移动锚节点遍历整个网络后, 这一类未知节点 N 将会收集到三个坐标信息, 并且位于最后一条平行于 X 轴的轨迹的未知节点也属于这种情况。可以计算这三个点中任意两点间的距离, 如果某两个点间的距离为 $2R$, 则这两点必为穿越圆心的弦, 如图中的直线 AB , 由此未知节点 N 的纵坐标 Y_N 可以由 Y_A 和 Y_B 直接得到, 即 $Y_N = Y_A = Y_B$ 。 N 处于圆心的位置, 所以 N 为直线 AB 的中点, 则 $X_N = (X_A + X_B) / 2$ 。

c) 图 2(c) 表示未知节点 N 位于平行于 X 轴的移动轨迹上, 这条移动轨迹的上下两条轨迹将与未知节点 N 的通信半径相切, 所以未知 N 将和第一种情况一样会收到四个位置信息, 如图 2(c) 中所示的 A 、 B 、 C 、 D 四个点, 为区分属于哪种情况, 可以计算接收到的第二个点和第三个点间的距离, 即 $|AC|$ 的值。如果 $|AC| = 2R$, 则属图 2(c) 中所示的情况, 此时节点 N 的坐标计算方法与图 2(b) 中的情形相同; 否则按图 2(a) 中的情形计算 N 的坐标。

d) 图 2(d) 中所示的情形是未知节点分布在传感器网络的两侧边缘, 且距边缘的距离小于 R , 在这种情况下, 无法收集到有效的位置信息。为解决这个问题, 将移动锚节点的遍历轨迹在 X 轴方向上向两边各扩展一个通信半径的距离, 如图 3 所示。图中的坐标轴和两条实线围成的矩形区域表示传感器网络的分布区域, 移动锚节点不再从坐标原点开始移动, 而从图

示中的 O 点开始, 每当锚节点在水平方向上移动到传感器网络的边缘时, 都继续移动一个通信半径 R , 然后再向上转向。这样, 位于传感器两侧边缘的未知节点接收位置信息的情形将类似于图 2(a) 中所示的情形, 计算坐标的方法也相同。

2 SMBL 算法的仿真分析

为验证算法的性能, 本文使用 MATLAB 编写仿真程序进行了验证。选择节点平均定位误差作为评价参数, 假设第 i 个待定位节点的真实坐标为 (X_i, Y_i) , 其定位坐标为 (X_{ie}, Y_{ie}) , 则第 i 个待定位节点的定位误差为 $\sigma_i = \sqrt{(x_i - x_{ie})^2 + (y_i - y_{ie})^2}$, 平均定位误差为 $\delta = \sum_{i=1}^N \sigma_i / N$ 。

仿真的条件设定如下: 50 个传感器节点随机分布在 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$ 的矩形区域中, 移动锚节点的起始位置为图 3 所示的 O 点。为保证仿真结果的精确性, 将 10 次独立的仿真结果平均值作为最终的仿真结果。Ssu 等人在文献[10]中所提出的算法具有良好的定位性能, 仿真中用文献[11]中的算法和 DV-HOP 与 SMBL 算法进行了比较。仿真结果如图 4~6 所示。

图 4 所示的仿真结果是在节点通信半径 $R = 10 \text{ m}$, SMBL 算法的锚节点移动速度为 0.1 m/s 的条件下所得出的, DV-HOP 算法中, 锚节点比例为 20%。从图中可以看出, 网络分布区域中节点的数量对 SMBL 算法的平均定位误差几乎没有影响, 在这一点上 SMBL 算法稍优于 DV-HOP 算法, 在定位误差的绝对数值上, 不论节点数量增加还是减少, SMBL 算法的平均定位误差都远优于 DV-HOP 算法。

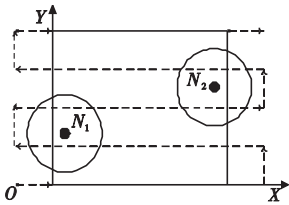


图3 修改后的锚节点移动轨迹示意图

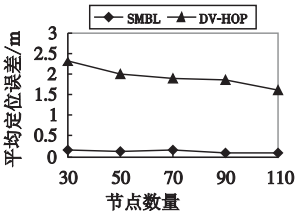


图4 节点数量与平均定位误差的关系

图 5 表示了 SMBL 算法在不同的锚节点移动速度下的定位误差, 并与 Ssu 等人在文献[10]中提出的算法进行了比较。节点的通信半径为 10 m 。结果显示, SMBL 算法在锚节点移动速度较低的情况下拥有良好的定位精度, 尤其是当锚节点移动速度为 0.1 m/s 时, 定位误差更是达到了极低的水平。但随着节点速度的提高, 定位的误差出现很大的增加, 但是误差也基本都在可容忍的范围以内。所以利用 SMBL 算法来实现定位的过程中, 适当采用低速的移动锚节点对于降低定位误差有很大意义。图 6 表示了节点通信半径与定位精度的关系, 锚节点的移动速度为 0.3 m/s , 节点数量为 50。采取不同的通信半径, SMBL 算法和文献[11]中的算法都取得了非常好的定位效果, 并且都远优于 DV-HOP 算法。随着通信半径的增加, SMBL 算法和文献[11]中的算法的平均定位误差呈逐渐下降的趋势, 并且, SMBL 算法的误差要低于文献[11]中的算法。

在无线传感器网络中, 降低能量的消耗是非常有意义的。定位的过程中, 能量的消耗主要是节点计算的能耗和节点间通信的能耗。相对于通信的能耗, 节点计算的能耗非常小, 可忽

略不计,而通信的能耗主要是节点接收和发送信号的能耗。

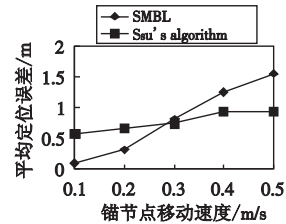


图5 锚节点移动速度对定位精度的影响

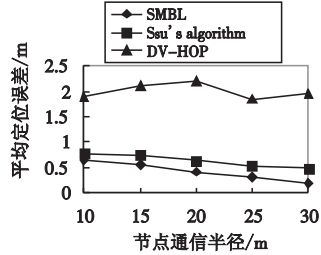


图6 通信半径对定位精度的影响

图 7 中表示了 SMBL 算法和文献[11]中的算法在能量消耗方面的特性。节点数量为 50,通信半径为 10 m,移动速度为 0.1 m/s。图 7 中显示,广播时间间隔增加的同时,数据包的数量明显下降,尤其当间隔时间由 0.1 提高到 0.3 时。由文献[11]中的实验结果可知,Ssu 的算法在能耗方面保持了很低的水平。SMBL 算法和 Ssu 的算法中节点接收数据包的数量是基本相当的。因此 SMBL 算法在能量消耗方面也具有很好的性能。此外 SMBL 算法只用了一个锚节点,所以在成本上较 Ssu 的算法还是有优势。

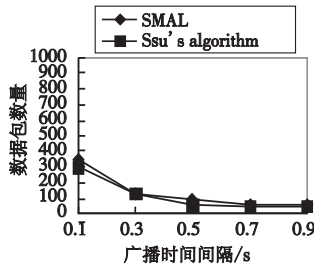


图7 节点接收数据包的平均数量

3 结束语

本文提出了一种基于单移动锚节点的定位算法 SMBL 算法。这种算法具有如下优点:a)这种算法在定位的过程中,不需要测距设备的支持,因此很大程度上降低了成本;b)对网络的拓扑结构没有要求,这使该算法具有更强的适应性。仿真研究表明,SMBL 算法在定位的精度和能耗方面都有着良好的性能。

(上接第 1451 页)

参考文献:

- [1] COX D C, MURRAY R R, NORRIS A W. Measurements of 800 MHz radio transmission into buildings with metallic walls[J]. *Bell Systems Technical Journal*, 1983, 62:2695-2717.
- [2] MOLK DAR D. Review on radio propagation into and within buildings[J]. *IEE Proceedings*, 1991, 138(1):61-73.
- [3] HASHEMI H. The indoor radio propagation channel[J]. *IEE Proceedings*, 1993, 81(7):943-968.
- [4] ZHAO J, GOVINDAN R. Understanding packet delivery performance in dense wireless sensor networks[C]//Proc of the 1st International Conference on Embedded Networked Sensor Systems. Los Angeles: Association for Computing Machinery, 2003:1-13.
- [5] MARTINEZ-SALA A, MOLINA-GARCIA-PARDO J M, EGEA-LOPEZ E, *et al.* An accurate radio channel model for wireless sensor networks simulation: communication and signal processing in sensor networks[J]. *Journal of Communication and Networks*, 2005, 7(4):401-407.

参考文献:

- [1] AKYILDIZ I F, SU W L, SANKARASUBRAMANIAM Y, *et al.* A survey on sensor networks[J]. *IEEE Communications Magazine*, 2002, 40:102-114.
- [2] OU C H, SSU K F, JIAU H C. Range-free localization with aerial anchors in wireless sensor networks[J]. *Journal of Distributed Sensor Networks*, 2006, 20(1):1-21.
- [3] SICHITIU M L, RAMADURAI V. Localization of wireless sensor networks with a mobile beacon[C]//Proc of IEEE Conference on Mobile Ad hoc and Sensor Systems. Fort Lauderdale:IEEE Press, 2004:174-183.
- [4] YU G G, YU F Q, FENG L. A three dimensional localization algorithm using a mobile anchor node under wireless channel[C]//Proc of IEEE Conference on Neural Networks. Hong Kong:IEEE Press, 2008:477-483.
- [5] OU C H. Range-free node localization for mobile wireless sensor networks[C]//Proc of IEEE Conference on Wireless Pervasive Computing. Santorini:IEEE Press, 2008:535-539.
- [6] MUNIR S A, YU W B, MA J. Efficient minimum cost area localization for wireless sensor network with a mobile sink[C]//Proc of IEEE Conference on Advanced Information Networking and Applications. Niagara Falls:IEEE Press, 2007:533-538.
- [7] HU Z, GU D B, SONG Z X, *et al.* Localization in wireless sensor networks using a mobile anchor node[C]//Proc of IEEE Conference on Advanced Intelligent Mechatronics. Xi'an:IEEE Press, 2008:602-607.
- [8] YU G G, YU F Q, FENG L. A localization algorithm using a mobile anchor node under wireless channel[C]//Proc of IEEE Conference on Robotics and Biomimetics. Sanya:IEEE Press, 2007:1104-1108.
- [9] KIM K, LEE W. MBAL: a mobile beacon-assisted localization scheme for wireless sensor networks[C]//IEEE Computer Communications and Networks. Honolulu:IEEE Press, 2007:57-62.
- [10] SSU K F, OU C H, JIAN H C. Localization with mobile anchor points in wireless sensor networks[J]. *IEEE Trans on Vehicular Technology*, 2005, 54(3):1187-1197.
- [11] ZHANG R B, ZHANG L L, FENG Y B. Very low energy consumption wireless sensor localization for danger environments with single mobile anchor node[J]. *Wireless Personal Communications*, 2008, 47:497-521.
- [6] JOSHI G G, DIETRICH C B, ANDERSON C R, *et al.* Near-ground channel measurements over line-of-sight and forested paths[J]. *IEE Proceedings*, 2005, 152(6):589-596.
- [7] SOHRABI K, MANRIQUEZ B, POTTIE G J. Near ground wideband channel measurement in 800-1000 MHz[C]//Proc of IEEE Vehicular Technology Conference. Amsterdam:[s. n.], 1999:571-574.
- [8] 沈杰,姚道远,黄河清,等.野外地表无线传感网信道传播模型的测定与分析[J]. *光学精密工程*, 2008, 16(1):141-149.
- [9] WYNE S, SANTOS T, TUFVESSON F, *et al.* Channel measurements of an indoor office scenario for wireless sensor applications[C]//Proc of 2007 IEEE Global Telecommunications Conference. Washington DC:[s. n.], 2007.
- [10] BAI H, ATIQUZZAMAN M. Error modeling schemes for fading channels in wireless communications: a survey[J]. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 2003, 5(2):1-9.
- [11] CAVERS J K. Mobile channel characteristics[M]. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000.