

夹角修正的 DV-hop 传感器网络节点定位研究

赵虹¹, 孙光², 秦姣华³, 唐飞岳⁴

ZHAO Hong¹, SUN Guang², QIN Jiao-hua³, TANG Fei-yue⁴

1.中南大学 信息中心,长沙 410011

2.湖南财经高等专科学校 信息管理系,长沙 410205

3.湖南城市学院 数学与计算科学系,湖南 益阳 413000

4.湖南交通职业技术学院 信息管理系,长沙 410004

1.Department of Information, Central South University, Changsha 410011, China

2.Department of Information Management, Hunan Financial & Economic College, Changsha 410205, China

3.Department of Mathematics and Computing Sciences, Hunan City University, Yiyang, Hunan 413000, China

4.Department of Information Management, Hunan Communication Polytechnic, Changsha 410004, China

E-mail: zhaohong_cs@163.com

ZHAO Hong, SUN Guang, QIN Jiao-hua, et al. Research on angle-refined DV-hop localization method in WSNs. *Computer Engineering and Applications*, 2009, 45(13): 100-102.

Abstract: Localization information is necessary and important for the event monitoring in Wireless Sensor Networks. Analysis of existing localization techniques, aiming at the characteristics of energy limited and resource constrained WSNs, a novel localization method, Angle-Refined DV-hop (ARDV-hop) is proposed. The method improves the precision of range-free localization using angle refined method. It estimates the average hop distance by traditional DV-hop, and then selects the middle node between every two anchor nodes one by one. The obtained hop distance is refined by the angle between the selected middle nodes and the two anchor nodes, and hence the precision of localization in the whole network is improved. The results of simulation demonstrate that ARDV-hop can effectively improve the precision. Even if the density of nodes is not uniform, it also can accurately localize the nodes.

Key words: range free; localization; DV-hop; hop distance; refine

摘要: 位置信息对于无线传感器网络中的事件监测必不可少,考虑到传感器网络中节点能量和资源受限的特性,针对现有定位方法的不足,提出距离无关的 ARDV-hop 算法,通过夹角修正方式以提高定位精度。该方法先基于传统 DV-hop 算法获取平均每跳距离,然后逐一选取锚节点间通信线路中部的节点,通过该节点与两端锚节点的夹角来修正平均每跳距离,从而提高全网节点定位的准确性。仿真实验结果表明夹角的修正方式对于提高定位精度十分有效,即使在网络中节点分布不均匀的情况下仍能准确定位。

关键词: 距离无关;节点定位;DV-hop;跳距;修正

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.13.030 文章编号: 1002-8331(2009)13-0100-03 文献标识码: A 中图分类号: TP393

1 引言

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSNs)是由大量部署在监测区域中,具有感知、计算和通信能力的微型的传感器节点,通过无线通信方式组成的一个多跳的自组织的网络系统。无线传感器网络具有远程监控、实时监测等优点,适用于人类难以接近的恶劣或特殊环境,通常用于目标跟踪、环境监测等领域。在这些应用中,节点的位置信息极其重要,如果缺少事件发生或采集节点的位置信息,感知的数据对于网络中事件

监测而言毫无应用价值。

传感器节点通常是通过飞行器撒播、人工埋置和火箭弹射等方式放置在被监测区域内,节点位置信息都是随机的,且难以事先知道。对无线网络而言,人工部署受到拓展性或环境的限制,若为所有节点配置全球定位系统(Global Positioning System, GPS),费用会增加 2 个数量级^[1]。因此 GPS 定位通常只用在传感器网络中的锚节点(anchor node)上,再基于锚节点计算获取其他节点的位置信息。同时,对于能量和资源受限的传

基金项目:湖南省交通厅课题(No.200724);湖南城市学院课题(No.XCGJ200722)。

作者简介:赵虹(1971-),女,讲师,主要研究领域为计算机应用开发,传感器网络及其应用;孙光(1972-),男,讲师,博士生,主要研究领域为数字水印,传感器网络安全;秦姣华(1973-),女,副教授,博士生,研究方向为隐写与隐写分析,数字图像处理;唐飞岳(1973-),男,讲师,研究方向为网络与交通信息化。

收稿日期:2008-11-24 修回日期:2009-02-26

传感器节点, 要求定位算法不能过于复杂, 因此采用高效、准确的定位机制对保证网络整体性能至关重要。

定位算法根据定位过程中是否测量节点间的距离, 分为距离相关(range based)算法和距离无关(range free)算法两大类。距离相关算法需要测量相邻节点间的距离或角度等信息, 再利用三角关系来计算未知节点的位置。常用的测距技术有信号到达时间(time of arrival, TOA)^[2]、信号到达时间差(time difference on arrival, TDOA)^[3]、信号到达角度(angle of arrival, AOA)^[4]、信号强度(received signal strength indicator, RSSI)^[5]等。这类算法相对精度较高, 但实施时需要特殊的硬件, 受测距技术限制且成本较高。

出于硬件成本、能耗等考虑, 研究者普遍认为距离无关算法性价比较高, 其定位时不需要测量节点间的距离和角度。主要通过测量节点间的连接关系, 获得网络连通性信息, 进而估算节点的位置。目前典型的算法有质心算法^[6]、(Distance Vector-hop)^[6]、Amorphous 算法^[7]、MDS-MAP 算法^[8]及 APIT 算法^[9]等。

质心算法^[6]由 Bulusu Nirupama 等提出, 基于网络连通性展开, 根据由锚节点组成的多边形质心进行定位。该算法完全基于网络连通性, 仅能实现粗粒度定位, 需要较高的锚节点密度。DV-hop 算法^[6]是 Dragos Niculescu 等利用距离矢量路由提出的分布式定位算法, 具有方法简单、定位精度高的优点。但仅适用于各向同性的密集网络, 且没有考虑不良节点的影响, 导致平均定位误差较大。Amorphous 算法^[7]是对 DV-hop 的改进, 以通信半径替代平均每跳距离来计算节点的位置, 因为过大估计了每跳距离, 致使定位误差过大。MDS-MAP 算法^[8]基于多组定标数据分析定位, 但集中式计算需要网络中有高能力节点; 当网络的覆盖区域不规则时, 会产生很大误差。APIT 算法^[9]通过锚节点确定包含待定位节点的多个三角形区域, 然后计算交集的质心, 以其作为节点的位置; 定位精度虽然较高, 但要求较高的锚节点密度。

相对于花费较高的基于距离的方法, 距离无关算法开销低的特性使其受到更多关注, 成为定位研究的焦点, 因此如何降低计算复杂度和提高精度是未来研究的重点。DV-hop 算法不需要进行节点之间的距离测量, 且不需要附加的硬件支持, 与其他测距技术相比具有成本低、对节点硬件配置要求低的特点。定位的精度主要依靠平均每跳距离的估计精度, 因此提高平均每跳距离的精度是关键。

国内有北京航空航天大学刘峰等提出的加权的 DV-hop 算法^[10], 以提高网络平均跳距离, 但算法使用归一化方法进行距离加权, 计算过程较复杂。王驭风等提出基于矢量的综合定位算法^[11], 利用节点间估计距离和测量距离的差异构建位置校正矢量, 通过改进的粒子群优化方法得到校正步长, 但该算法仅适用于移动节点。青岛大学的姜山提出一种改进的 DV-hop 算法^[12], 提高选取边界锚节点来提高交换分组数目, 主要着眼于节约能量的改进, 未考虑定位精度的提高。

针对现有 DV-hop 算法定位结果不够精确的缺点, 提出一种夹角修正的节点合作定位算法 Angle-Refined DV-hop (ARDV-hop), 该算法具有以下优点: (1) 利用节点间的连接关系估算节点位置, 不需要测距方法的支持, 是一种距离无关的定位方式; (2) 通过节点与锚节点的夹角修正平均跳距, 在网络中节点分布不均匀的情况下仍能较好定位; (3) 算法的计算复杂度低, 易于实现, 有效地提高了定位精度。

2 ARDV-hop 定位算法

针对现有距离无关算法计算精度不高的缺点, 提高一种夹角修正传感器网络节点定位算法 ARDV-hop, 该算法提高了距离无关环境下的节点定位精度。

2.1 DV-hop 算法不足

由于传感器网络中的节点布设是随机的, 这使得其分布密度不均匀, 这将使得现有的通过跳数(hop count)计算得到的节点间距离与其真实距离可能存在一定误差。定位过程中, 锚节点先通过距离矢量交换协议获得网络中节点位置和相隔跳数, 然后计算网络的平均跳距(hop distance)。但当网络中节点密度不均匀, 某些区域节点的邻居数目较少, 将使得通过这些稀疏区域处的节点传输绕路, 即传输通路并非实际最短距离, 从而导致最终估算出的节点距离比实际距离近。

如图 1 所示, A_1 、 A_2 和 A_3 为位置已知的锚节点, 其他为待定位节点。经 A_2 到 A_1 的通信线路有 4 跳, 可估算出平均跳距 $\bar{d}_1 = \frac{|A_1 A_2|}{4}$; 而经 A_2 到 A_3 的通信线路有 5 跳, 估算的平均跳距为 $\bar{d}_2 = \frac{|A_2 A_3|}{5}$ 。 \bar{d}_2 是由于传输路径中节点数目相对少, 使到达目标节点传输的跳数增多, 进而产生了距离估计误差。

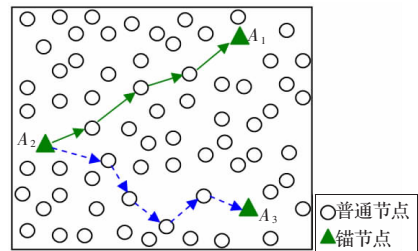


图 1 网络中节点分布不均匀的定位误差

为降低定位误差, 提出一种夹角修正的 ARDV-hop 定位算法, 利用节点与锚节点的夹角对估计跳距作修正, 以提高定位的精度。

2.2 ARDV-hop 算法思路 and 实现

通过观察发现: 两个锚节点间, 通过较短传输线路的中央节点与两端锚节点的夹角接近 180° ; 若传输发生绕路, 则该夹角相对小一些。一般而言, 越大的夹角表明经过该点的传输路径越短; 越小的夹角表明传输所绕的路越远, 即表明可能导致相对大的跳距背离。

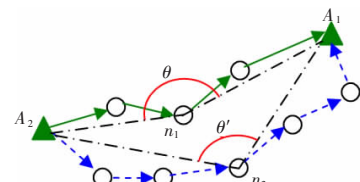


图 2 跳距背离现象

如图 2 所示, 锚节点 A_1 与 A_2 之间有两条线路 l_1 和 l_2 (图中绿色实线和蓝色虚线), 其中 n_1 和 n_2 为线路 l_1 和 l_2 的中央节点, n_1 和 n_2 与两端锚节点的夹角分别为 θ 和 θ' 。 $\theta > \theta'$ 表明路线 l_1 相对 l_2 更接近实际距离 $|A_1 A_2|$ 。

基于这个特性, 考虑在估计不同传输路径中的平均跳距时, 根据该夹角值和传输跳数进行相应调整以修正估计值, 可减少定位距离误差, 进而获得更精确的节点位置数据。一般而

言,该夹角越趋近 180°,该传输路径与实际距离越接近。

ARDV-hop 算法实现步骤如下:

步骤 1 初始化: 锚节点向邻居节点发送包含自身位置信息的广播包,接收节点记录到每个锚节点的最小跳数,并将收到信息包的跳数加 1 转发,不断扩散直至网络中全部节点都获取到各锚节点的跳数;

步骤 2 估计平均跳距: 锚节点获取传输到其他锚节点的跳数信息,初步估计平均跳距 \bar{hd} ;

步骤 3 修正平均跳距

(1)找到连接各锚节点间跳数最少的传输路径,获取其中央的节点(如图 3 中的 n)与两端锚节点的夹角 θ 。

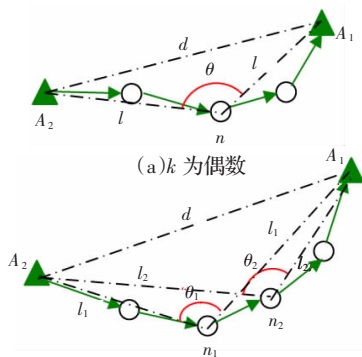


图 3 夹角修正

(2)计算平均跳距

当跳数 k 为偶数时:已知锚节点 A_1 与 A_2 距离 $|A_1A_2|=d$,但中央节点 n 与 A_1 、 A_2 的距离 $|A_1n|$ 、 $|A_2n|$ 未知,由于节点 n 在该传输路径的中央,故令 $|A_1n|=|A_2n|=l$,由余弦定理可得:

$$|A_1A_2|^2 = |A_2n|^2 + |A_1n|^2 - 2|A_2n| \cdot |A_1n| \cos\theta \Rightarrow$$

$$d^2 = l^2 + l^2 - 2l^2 \cos\theta \Rightarrow l = d \sqrt{\frac{1}{2-2\cos\theta}}$$

$$\bar{hd} = \frac{2l}{k} = \frac{k}{d} \sqrt{\frac{1}{1-\cos\theta}} \quad (1)$$

当跳数 k 为奇数时:去中部的两个节点(n_1 和 n_2)进行修正,同理可得

$$\bar{l} = \frac{l_1+l_2}{2} = \frac{d}{2} \left(\sqrt{\frac{1}{2-2\cos\theta_1}} + \sqrt{\frac{1}{2-2\cos\theta_2}} \right) \Rightarrow$$

$$\bar{hd} = \frac{2\bar{l}}{k} = \frac{d}{k} \left(\sqrt{\frac{1}{2-2\cos\theta_1}} + \sqrt{\frac{1}{2-2\cos\theta_2}} \right) \quad (2)$$

(3)计算跳距调整值 Δ

$$\Delta = \bar{hd} - \frac{d}{k} \quad (3)$$

步骤 4 计算节点位置: 获取修正后的跳距后,利用距锚节点的跳数计算待定位节点的位置。重复上述步骤,直至完成全部节点定位。

3 仿真实验

为评价 ARDV-hop 算法性能,利用 Matlab 进行了仿真实验。仿真实验的网络模型主要参数如下:将 300 个节点随机分布到 100 m × 100 m 的正方形区域,通信半径为 5 m,采用 Spanning Tree 路由传输,实验中锚节点均匀布设。算法性能主要从定位误差和定位覆盖率两方面进行评估,每种性能随机运行

50 次,并取平均值,仿真结果如图 4、图 5 所示。

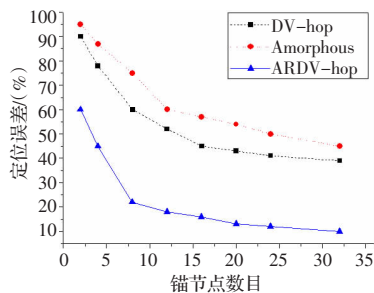


图 4 定位误差

由图 4 定位误差实验结果可看到,在锚节点数目较少的情况下,ARDV-hop 算法对于节点定位的性能提高不大,因为可供修正平均跳距数据较少。随着锚节点数目的增加,用于估计节点位置的平均跳距得到了很好的修正,与传统距离无关算法(DV-hop 和 Amorphous)相比,节点的定位精度提高幅度较大,尤其是当锚节点数目不是很多时(≥ 8),也能达到较好的定位覆盖。

由实验结果可看到,ARDV-hop 算法在节点分布不均匀时,定位精度也很好,表明该算法较好解决了节点密度不均匀时的定位。

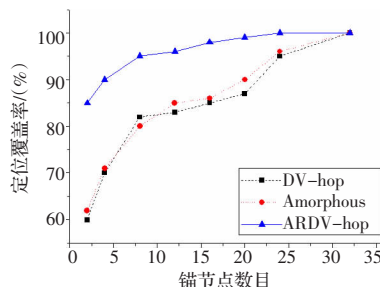


图 5 定位覆盖率

由图 5 可看出,3 种算法的定位精度都随锚节点数增加而提高,但 ARDV-hop 算法在提高定位覆盖方面不占优势。

4 结论

无线传感器网络的规模很大,单个节点的资源十分有限,提出一种夹角修正的节点定位算法 ARDV-hop,有效提高了节点的定位精度,且不增加额外开销。仿真实验结果表明该 ARDV-hop 算法的定位精度较传统算法有明显提高,且不受节点分布的影响。在获得相同定位精度时,所需锚节点数目比传统方法少,能够降低无线传感器网络的造价,比较实用,能满足大多数无线传感器网络的应用要求,是无线传感器网络节点定位的一种可选方案。但 ARDV-hop 算法对提高定位覆盖的改善不大,且对于距锚节点近的节点位置估计不够精准,更精确、低开销的距离无关算法还有待进一步的研究。

参考文献:

- [1] Heidemann B N J, Estrin D. GPS-less low cost outdoor Localization for very small devices[J]. IEEE Personal Communications, 2000, 7(5): 28-34.
- [2] Girod L, Bychovskiy V. Locating tiny sensors in time and space: a case study[C]// VLSI in Computer and Processors. Pittsburgh, PA, USA: IEEE Press, 2002: 214-219.

(下转 110 页)