

# 基于 DV-Hop 定位算法的改进研究

王新生 赵衍静 李海涛

(燕山大学信息科学与工程学院 秦皇岛 066004)

**摘要** 在无线传感器网络 DV-Hop 定位算法中,网络平均跳距离的估算是决定定位精度的重要因素之一。传统的 DV-Hop 定位算法只考虑了最近一个锚节点估计的平均跳距,从而导致定位误差较大。为了提高节点定位精度,在原算法基础上提出了一种改进算法,考虑使用多个锚节点估算的平均跳距离并且采用加权平均跳距代替传统算法中的平均跳距。仿真实验结果表明,在相同的网络环境下,改进后的算法能有效地减少跳距计算带来的定位误差,提高定位精度。

**关键词** 无线传感器网络, DV-Hop 算法, 平均跳距, 加权

**中图分类号** TP393 **文献标识码** A

## Improved Study Based on DV-Hop Localization Algorithm

WANG Xin-sheng ZHAO Yan-jing LI Hai-tao

(School of Information Technology and Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

**Abstract** DV-Hop is a typical range-free localization algorithm for wireless sensor network. Estimably calculating the average hop-distance is one of the most important factors which decide the final localization precision. The average hop-distance estimated only by the nearest anchor node was used in classical DV-Hop localization algorithm, so it brings larger localization error. In order to improve the localization accuracy of the nodes, an improved algorithm based on the original algorithm was proposed. The average hop-distance which is estimated by multiple anchor nodes was considered to use and weighted average hop-distance was introduced instead of the average hop-distance which is used in the classical algorithm. The simulation results indicate that the novel algorithm reduces the localization error caused by the calculation of hop-distance effectively, and improves localization accuracy at the same network environment.

**Keywords** Wireless sensor network, DV-Hop algorithm, Average hop-distance, Weighted

## 1 引言

微电子技术、计算技术和无线通信等技术的进步,推动了低功耗、多功能传感器的快速发展。无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)是指由大量成本低廉的具有感知能力、计算能力、无线通讯能力的传感器节点组成的网络,它作为一种新型信息获取系统,具有十分广阔的应用前景,能够广泛应用于军事、环境监测、健康护理、智能家居、城市交通等领域<sup>[1]</sup>。

节点定位问题是传感器网络进行目标识别、监控、定位等众多应用的前提,也是传感器网络研究中的基础性和热点问题之一。研究其定位算法的意义主要体现在两个方面:第一, WSN 中的很多特定应用都依赖于传感器节点或者目标物体的地理位置信息,不知道传感器位置而感知的数据是没有意义的;第二, WSN 的网络运行和管理也需要节点位置信息的辅助。因此,确定事件发生的位置或确定获取消息的节点位置,是传感器网络最基本的功能之一,对传感器网络应用的有效性起着关键的作用。

在无线传感器网络中有两种节点:一种是已知自己物理位置信息的,称作信标节点或锚节点(anchor node),它们通过人工布设或装有 GPS 等定位设备来获得自身的位置信息;另一种是不知道自己物理位置信息的,它们通过锚节点的位置信息来确定自身位置,称作待定位节点或未知节点。目前根据是否需要通过物理测量来获得节点之间的距离(角度)信息,可以把定位技术分为基于测距(Range-Based)的定位和无需测距的定位(Range-Free)<sup>[2]</sup>。Range-Based 定位通过测量节点间点到点的距离或角度信息来计算节点位置,常用的测距技术有 RSSI(received signal strength indicator)<sup>[3]</sup>, TOA(time of arrival)<sup>[4]</sup>, TDOA(time difference on arrival)<sup>[5]</sup> 和 AOA(angle of arrival)<sup>[6]</sup>。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。Range-Free 定位不需要实际测量节点间的绝对距离或方位,仅根据网络连通性等信息即可实现,因此在 WSN 中无需测距技术的定位算法备受关注,质心<sup>[7]</sup>, APIT(approximate point-in-triangulation test)<sup>[8]</sup>, DV-Hop(distance vector-hop)<sup>[9]</sup>, Amorphous<sup>[10]</sup> 和 MDS-MAP<sup>[11]</sup> 等算法都是典型的 Range-Free 定

到稿日期:2010-03-31 返修日期:2010-06-24

王新生 男,教授,主要研究方向为计算机网络、网络安全, E-mail: wxs@ysu.edu.cn; 赵衍静(1985—),女,硕士生,主要研究方向为无线传感器网络定位技术; 李海涛(1984—),男,硕士生,主要研究方向为无线传感器网络安全路由。

位算法。

## 2 DV-Hop 算法

美国 Rutgers University 的 Dragos Niculescu 等人利用距离矢量路由和 GPS 定位原理提出了一系列分布式定位算法,合称 APS(Ad Hoc Positioning System)<sup>[9]</sup>。它包括 6 种算法: DV-Hop, DV-distance, Euclidean, DV-coordinate, DV-Bearing 和 DV-Radial。

### 2.1 DV-Hop 算法的定位过程

DV-Hop 算法的定位过程分为以下 3 个阶段。

(1) 计算未知节点与每个锚节点的最小跳数

锚节点向邻居节点广播自身位置信息的分组,其中包括跳数字段,初始化为 0。接收节点记录具有到每个锚节点的最小跳数,忽略来自同一个锚节点的较大跳数的分组。然后将跳数值加 1,并转发给邻居节点。通过这个方法,网络中的所有节点能够记录下到每个锚节点的最小跳数。

(2) 计算未知节点与锚节点的实际跳段距离

每个锚节点根据第一个阶段中记录的其他锚节点的位置信息和相距跳数,利用式(1)估算平均每跳的实际距离。其中,  $(x_i, y_i), (x_j, y_j)$  是锚节点  $i, j$  的坐标,  $h_j$  是锚节点  $i$  与  $j$  ( $j \neq i$ ) 之间的跳段数。

$$HopSize_i = \frac{\sum_{j \neq i} \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{\sum_{j \neq i} h_j} \quad (1)$$

然后,锚节点将计算的平均每跳距离用带有生存期字段的分组广播至网络中,未知节点仅记录接收到的第一个每跳平均距离,并转发给邻居节点。这个策略确保了绝大多数节点从最近的锚节点接收每跳的平均距离值。未知节点接收到平均每跳距离后,根据记录的跳数,计算到每个锚节点的跳距。

(3) 利用三边测量法或极大似然估计法计算自身位置

未知节点利用第二阶段中记录的到各个锚节点的跳段距离,利用三边测量法或极大似然估计法计算自身坐标。

### 2.2 DV-Hop 定位举例

如图 1 所示,经过第一阶段和第二阶段,能够计算出锚节点  $L_1, L_2, L_3$  之间的实际距离和跳数。锚节点  $L_1$  与  $L_2, L_2$  与  $L_3, L_3$  与  $L_1$  之间的距离分别为 40m, 75m 和 100m。对于未知节点 A, 由于  $L_2$  离它的跳数最小, 因此 A 从  $L_2$  获取的每跳平均距离应该为  $(40+75)/(2+5)$ , 那么 3 个锚节点与 A 之间的距离分别为  $L_1: 3 \times 16.42m, L_2: 2 \times 16.42m, L_3: 3 \times 16.42m$ 。最后利用三边测量法计算出 A 的位置。

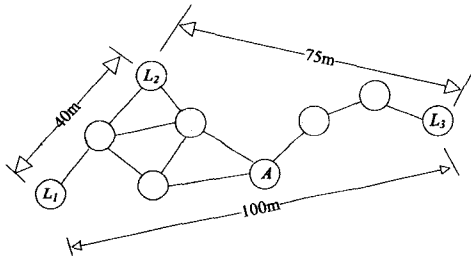


图 1 DV-Hop 定位算法举例

## 3 DV-Hop 定位算法的改进

针对传统 DV-Hop 算法计算精度不高的缺点, 本文提出

一种基于加权处理的传感器网络节点定位算法, 以提高距离无关环境下的节点定位精度。

### 3.1 DV-Hop 算法存在的问题

DV-Hop 算法属于无需测距定位算法, 不需要节点具备测距能力, 实现简单, 计算和通讯开销适中。对于各向同性的密集网络, 可以得到合理的平均每跳距离, 从而能够达到适当的定位精度, 但对于拓扑不规则的网络, 定位精度会迅速下降。传统的 DV-Hop 算法在计算跳段距离时, 采用的是未知节点从最近的锚节点获取每跳平均距离值, 而单个锚节点估计的平均每跳距离值无法准确地反映全网络的实际平均每跳距离, 这样就造成了未知节点的定位精度偏低; 此外, 该算法在计算某个未知节点到各个锚节点距离时, 采用的是相同的平均跳距。由于无线传感器网络中的节点分布是随机的, 使得节点之间的跳距离不尽相同, 而且通信路径并非都是直线, 这同样给平均跳距离的计算带来很大的定位误差。考虑到上述问题, 本文提出了一种基于加权处理的平均跳距离估计算法来提高定位精度。

### 3.2 基于加权处理的平均跳距定位算法

由于 DV-Hop 算法存在的不足, 本文从以下两个方面对 DV-Hop 算法进行了改进: (1) 在计算网络跳段距离时, 采用未知节点从多个锚节点获取平均跳距离值来代替从最近的锚节点获取每跳平均距离值, 以提高全网的定位精度; (2) 考虑到节点之间的跳距离不尽相同的特点, 用相应的权值公式对各个锚节点估计的平均跳距离值进行归一化加权处理, 使计算出的平均每跳距离更接近实际的平均每跳距离, 从而能更加准确地体现出整个网络的节点状态。

下面具体介绍改进算法中权值和未知节点的平均跳距离值的计算方法。文中将锚节点之间的距离记作  $d_i$ , 锚节点之间的跳段数记作  $h_i$ , 锚节点  $i$  计算的平均每跳距记作  $c_i$ , 每个锚节点计算的平均每跳距的权值记作  $u_i$  ( $i=1, 2, 3, \dots$ ), 两端锚节点与其中间节点的夹角记作  $\theta_i$  ( $0 < \theta_i \leq \pi$ )。

通过观察和分析网络中的节点分布状态可以发现, 节点之间的距离越小, 跳段数越多, 两端锚节点与其中间节点的夹角越大, 那么这条路径越接近于直线, 即节点之间的距离越接近于直线距离, 定位精度也相应越高。基于对以上 3 个因素的考虑, 假设某个未知节点总共收到  $n$  个锚节点的信息, 则锚节点估算的平均每跳距离的权值可取为

$$u_i = \frac{h_i \theta_i}{d_i \pi} \quad (2)$$

在式(2)中做的归一化处理使未知节点的位置计算有了统一的标准, 并保证了各锚节点估算的平均跳距的权值之和为 1。其中, 变量  $h_i$  和  $d_i$  的值已知, 变量  $\theta_i$  的值可以按以下方法来获取。如图 2(a) 和图 2(b) 所示,  $A_1, A_2$  为两个锚节点, 图 2(a) 中  $N$  为中间节点,  $\theta$  为  $A_1, A_2$  与中间节点的夹角; 图 2(b) 中  $N_1, N_2$  为中间节点,  $\theta_1, \theta_2$  分别为  $A_1$  和  $A_2$  与  $N_1, N_2$  的夹角。

在图 2(a) 中, 当锚节点  $A_1$  和  $A_2$  之间的跳数为偶数时, 已知它们之间的距离  $|A_1 A_2|$ , 锚节点  $A_1$  到中间节点  $N$  的距离  $|A_1 N|$  通过锚节点  $A_1$  估计的平均每跳距离和它们之间的跳数的乘积来获得。同理, 可求出  $|A_2 N|$  的值。由余弦定理可得

$$\cos\theta = \frac{|A_1 N|^2 + |A_2 N|^2 - |A_1 A_2|^2}{2|A_1 N||A_2 N|} \quad (3)$$

最后得出  $\theta$ 。在图 2(b) 中, 当锚节点  $A_1$  和  $A_2$  之间的跳数为奇数时, 选取中部的两个节点  $N_1$  和  $N_2$  分别作为中间节点, 利用余弦定理得出  $\theta_1$  和  $\theta_2$  后, 两者相加取平均即得  $\theta$ 。

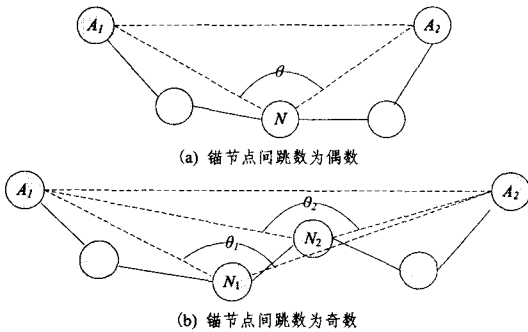


图 2

根据权值  $u_i$  和每个锚节点估算的平均跳距离  $c_i$ , 计算未知节点的平均跳距离值为

$$C = \sum_{i=1}^n u_i c_i \quad (4)$$

即未知节点的平均每跳距离等于每个锚节点估算的平均每跳距离与其权值的乘积之和。这样对每个锚节点估算的平均每跳距离做了加权处理, 从而更准确地反映了全网的实际平均每跳距离, 提高了定位精度。

最后根据未知节点的平均每跳距离值  $C$  和此未知节点与锚节点  $i$  之间的跳数的乘积计算出它们之间的距离。

改进后的算法只是在计算平均每跳距离阶段上做了改进, 算法其他过程与传统的 DV-Hop 算法相同。

## 4 实验仿真

为了验证改进算法的有效性和可行性, 使用 matlab 仿真工具对 DV-Hop 算法和改进算法进行了实验仿真, 并对结果进行了分析。仿真实验的网络模型主要参数如下: 在  $100\text{m} \times 100\text{m}$  感知区域内分别布置 100 和 300 个点, 并保证点的分布具有一定的不均匀性。锚节点和未知节点的坐标随机产生, 节点通信半径  $R=10\text{m}$ 。仿真结果数据取自 50 次仿真的平均值。本文主要从测距误差和定位误差两个方面对算法性能进行了评估。

### 4.1 测距误差

测距误差是节点间估算距离与实际距离的差值, 测距误差率就是测距误差与节点通信半径的比值的百分比。采用随机生成的场景对节点间的距离进行仿真, 在锚节点比例为 10% 时得到的 DV-Hop 算法及其改进算法的测距误差如图 3、图 4 所示。

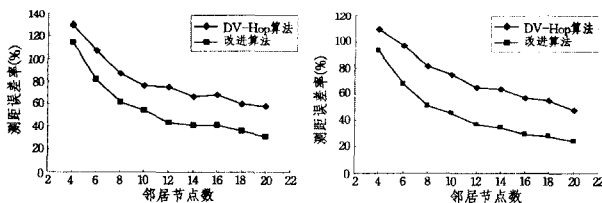


图 3 节点总数为 100 时的测距误差图

图 4 节点总数为 300 时的测距误差图

图 3 和图 4 描述了在随机生成的场景中, 节点总数分别

为 100 和 300 时 DV-Hop 算法和改进算法的测距误差随邻居节点数目增加的变化情况。以上两图的结果表明, 随着节点总数的增加, DV-Hop 算法和改进算法的测距误差都有所减小。在邻居节点数从 4 到 20 的变化过程中, 改进算法的测距误差均比 DV-Hop 算法小且测距误差曲线更趋于平滑, 实验结果更接近真实的节点间距。这是由于改进算法考虑了多个锚节点的平均每跳距离值, 根据跳数、跳距和角度进行加权, 使平均每跳距离值的估计更准确, 因此更好地反映了网络的实际节点间距。其中, 图 3 中当节点总数为 100 时, 改进算法比 DV-Hop 算法的平均测距误差减少了 24.8%; 图 4 中当节点总数为 300 时, 改进算法比 DV-Hop 算法的平均测距误差减少了 27.0%。

### 4.2 定位误差

定位误差是节点测量坐标和实际坐标之间的差值, 定位误差率就是定位误差与节点通信半径的比值的百分比。在仿真过程中, 随机选取 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% 的节点作为锚节点, 并根据这些锚节点计算未知节点的位置, 然后算出未知节点的定位误差, 最后得出定位误差率。仿真图中横坐标表示锚节点数占节点总数的百分比, 纵坐标表示定位误差率。

图 5 和图 6 描述了在相同的网络环境下, 节点总数分别为 100 和 300 时 DV-Hop 算法和改进算法的定位误差随锚节点数目增加的变化情况。由仿真结果图可以看出, 在锚节点数目较少的情况下, 改进算法与 DV-Hop 算法相比, 其节点的定位精度提高幅度不大, 因为未知节点周围的锚节点数目相对较少; 随着锚节点数目的增加, 改进算法所估计的平均跳距得到了很好的修正, 更有效地减小了节点定位误差; 当锚节点数量达到一定数目时, 两种算法的定位误差率均趋于稳定, 其中改进算法的定位误差较小。图 5 中当节点总数为 100 时, 改进算法比 DV-Hop 算法的平均定位误差减少了 9.7%; 图 6 中当节点总数为 300 时, 改进算法比 DV-Hop 算法的平均定位误差减少了 10.3%, 体现了改进后的算法对定位精度的影响。由于加权估计的平均跳距离值更加精确, 改进算法的定位精度比 DV-Hop 算法有了明显的提高, 而且其定位误差曲线波动更小, 这主要是由于改进算法采用了多个锚节点来计算平均跳距离, 使得定位误差变化更趋于平稳。

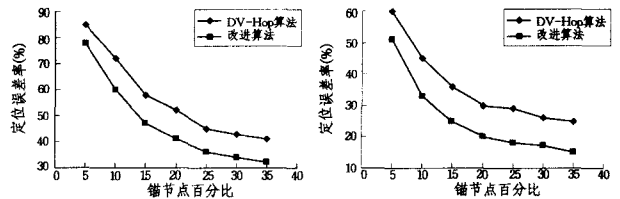


图 5 节点总数为 100 时的定位误差图

图 6 节点总数为 300 时的定位误差图

**结束语** 本文针对传统 DV-Hop 算法计算未知节点到锚节点的距离的不足, 提出了一种改进算法。改进算法采用多个锚节点估计的平均跳距离值来替代 DV-Hop 算法中只考虑最近一个锚节点估计的平均跳距离值, 并且根据跳数、跳距和角度 3 个因素对各个锚节点估计的平均跳距离值进行加权处理, 使得全网平均每跳距离更接近实际的平均每跳距离, 从而更好地反映了网络的实际状态。此外, 该算法没有改变

(下转第 90 页)

$\max_{v \in (V - \{S, T\})} \text{deg}(v) * (|V| - 2) + 1 - \text{deg}(T)$ 。本文对 MDVR 协议以及相关协议方案的比较结果如表 2 所列。

表 2 节点不相交多路径路由方案比较

多路径路由	距离矢量路由			源路由	
	AODVM	MDVR	MNDP	SMR	文献[5]协议
累计多路径	否	是	是	否	否
路由请求转发次数	$ V -1$	至少 $ V -1$ 最多 $k( V -1)$	至少 $ V -1$ 最多 $k( V -1)$	至少 $ V -1$ 最多 $\max_{v \in (V - \{S, T\})} \text{deg}(v) * ( V -2) + 1 - \text{deg}(T)$	至少 $ V -1$ 最多 $\max_{v \in (V - \{S, T\})} \text{deg}(v) * ( V -2) + 1 - \text{deg}(T)$

从表 2 可看出, MNDP 协议和 MDVR 协议的路由请求数在相同区间  $[|V|-1, k(|V|-1)]$  上, 但由于 MNDP 协议路由请求消息 RREQ 和路由应答消息 RREP 需包含参考路径信息和辅助路径信息, 这样基于源路由方式的累积多路径路由 MNDP 协议具有比 MDVR 协议更高的通信负载。

**结束语** 累积多路径路由算法 AMR 是计算 Ad hoc 网络给定节点之间节点不相交最大路径集合的有效方法, MDVR 协议是 AMR 算法和距离矢量路由协议 AODV 相结合提出的节点不相交多路径距离矢量路由协议。通过在网络节点中存储参考路径和辅助路径的方法, 有效缩短了路由分组的长度, 减轻了路由发现源节点计算节点不相交多路径路由的负担。本文在假设网络可信的情况下, 设计了 MDVR 协议。引入密码学机制设计基于 MDVR 协议的安全路由协议, 是以后的重要工作。其次通过让 MDVR 协议首次路由发现找到尽可能多的节点不相交路径集合, 可提高效率。因此提高 MDVR 协议的效率, 并对其性能进行仿真研究, 是以后的另一重要工作。

### 参考文献

[1] Johnson D B, Maltz D A. Dynamic Source Routing in Ad Hoc

Wireless Networks[J]. Mobile Computing, 1996, 12(6): 10-23

[2] Perkins C, Royer E. Ad hoc on-demand distance vector routing [J]. Mobile Systems and Applications, 1999, 24(3): 59-81

[3] Liu Changwen, Yarvis M, Conner W S, et al. Guaranteed On-demand Discovery of Node-disjoint Paths in Ad hoc Networks[J]. Computer communications, 2007, 30(14/15): 2917-2930

[4] Lee S J, Gerla M. SMR: Split Multipath Routing with Maximally Disjoint Paths in Ad hoc Networks[C] // Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC 2001). 2001, 10: 3201-3205

[5] Wu K, Harms J. On-demand multipath routing for mobile ad hoc networks[C] // Proceedings of 4th European Personal Mobile Communication Conference (EPMCC 01). Vienna, Austria, February 2001. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.133.9938>

[6] Ye Z, Krishnamurthy S V, Tripathi S K. A Framework for Reliable Routing in Mobile Ad Hoc Networks[C] // Proceedings of Twenty-Second Annual Joint Conference on the IEEE Computer and Communications Societies (IEEE INFOCOM 2003). 2003, 1: 270-280

[7] Abbas A M, Jain B N. Path Diminution is Unavoidable in Node-disjoint Multipath Routing in a Single Route Discovery[C] // Proceedings of 1st IEEE International Conference on Communication Software and Middleware (COMSWARE). 2006: 1-10

[8] 冯涛, 郭显, 马建峰, 等. 可证明安全的节点不相交多路径源路由协议[J]. 软件学报, 2010, 20(7): 1717-1731

[9] 冯涛, 郭显, 马建峰, 等. MANET 节点不相交多路径安全源路由协议[J]. 计算机学报, 2009, 32(6): 1126-1133

[10] Cormen T H, Leiserson C E, Rivest R L. Introduction to Algorithms (Second Edition)[M]. Cambridge, MA: The MIT Press, 1993

(上接第 78 页)

传统 DV-Hop 算法的定位过程, 且无附加的硬件设备, 使原算法的低成本优势得以保留。仿真结果表明, 与 DV-Hop 算法相比, 改进算法可以有效地提高节点定位精度。

### 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: 135-136

[2] Chen Hongyang, Deng Ping, Xu Yongjun, et al. A Robust Location Algorithm with Biased Extended Kalman Filtering of TDOA Data for Wireless Sensor Networks [J]. IEEE Comput, 2005, 0-7803-9335-X: 883-886

[3] 周艳. 基于 RSSI 测距的传感器网络定位算法研究[J]. 计算机科学, 2009, 36(4): 119-120

[4] Chuang W C, Ha D S. An accurate ultrawideband (UWB) ranging for precision asset location[C] // Proceedings of the IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies Reston. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2003: 389-393

[5] Girod L, Estrin D. Robust range estimation using acoustic and

multimodal sensing [C] // Proc of the IEEE/RSJ Int'l Conf on Intelligent Robots and Systems, 2002: 1312-1320

[6] 彭刚, 曹元大, 孙利民. 无线传感器网络节点定位机制的研究[J]. 计算机工程与应用, 2004, 40(35): 27-29

[7] 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

[8] 赵军, 裴庆祺, 徐展琦. 无线传感器网络近似三角形内点测试定位算法[J]. 计算机工程, 2007, 33(5): 109-112

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

[10] Nagpal R, Shrobc H, Bachrach J. Organizing a global coordinate system from local information on all Ad hoc sensor network[C] // 2nd International Workshop on Information Processing in Sensor Network. USA: Springer-Verlag Press, 2003: 333-348

[11] Jonathan B, Christopher T. Handbook of sensor networks[C] // Stojmenovic II, ed. Proc of Localization in Sensor Networks. 2005: 1-18