

## WSN中一种基于移动锚节点的节点定位算法\*

史庭俊<sup>+</sup>, 桑霞, 徐力杰, 殷新春

(扬州大学 信息工程学院, 江苏 扬州 225009)

### A Localization Algorithm in Wireless Sensor Networks with Mobile Anchor Nodes

SHI Ting-Jun<sup>+</sup>, SANG Xia, XU Li-Jie, YIN Xin-Chun

(Institute of Information Engineering, Yangzhou University, Yangzhou 225009, China)

+ Corresponding author: tjshi@yzu.edu.cn

Shi TJ, Sang X, Xu LJ, Yin XC. A localization algorithm in wireless sensor networks with mobile anchor nodes. *Journal of Software*, 2009,20(Suppl.):278-285. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/09032.htm>

**Abstract:** In process of the localization in WSN, the overhead of the whole network will increase with the number of anchor nodes added, and it'll bring a lot of waste. Thus, in order to use less anchor nodes to achieve more precise localization, this paper proposes a range-free localization algorithm which is based on three mobile anchor nodes, the algorithm can guarantee that each unknown node can choose the anchor nodes which are not far away from itself to implement localization, and construct an optimization model to maximize the area of double overlay regions in the network. The results of simulation show that this algorithm can improve the precision of localization.

**Key words:** wireless sensor networks; localization; mobile anchor node; double overlay

**摘要:** 在无线传感器网络的定位过程中,随着锚节点的使用数量增多,整个网络的开销也会增大,从而会造成较大的浪费.因此,为了实现利用较少的锚节点完成较精确定位的目标,提出了一种仅基于3个移动锚节点的Range-free无线传感器网络节点定位算法.该算法能够保证每个未知节点都选择与其距离在一定范围内的锚节点进行定位,同时,通过建立优化模型以最大化网络中的二重覆盖区域范围,从而进一步提高定位的精确度.仿真实验结果表明,该算法能够在一定程度上提高节点的定位精确度.

**关键词:** 无线传感器网络;定位;移动锚节点;二重覆盖

在无线传感器网络(wireless sensor networks,简称WSN)<sup>[1]</sup>中,确定事件发生的位置或者获取信息的节点位置是大多数应用的前提.因此,如何确定节点的自身位置已成为无线传感器网络领域的基础问题之一,这就是定位问题.

根据节点是否已知自身位置,传感器节点被分为未知节点和锚节点.未知节点是不具备测量自身坐标能力、需要定位的节点,锚节点则是装备了GPS或散布时事先设定好位置、能够测量自身坐标且协助未知节点定位的节点.节点定位就是根据网络中少量的锚节点,按照某种定位机制确定网络中未知节点的位置.

研究表明,基于锚节点的Range-free分布式定位算法更适用于低功耗、低成本的应用领域.但是,在无线传感器网络中,使用的锚节点越多,整个网络的开销亦越大,会造成较大的浪费.因此,基于移动锚节点<sup>[2-4]</sup>进行节点定位的思想便孕育而生.无线传感器网络中引入移动锚节点,具有明显的优点<sup>[5]</sup>:1) 减少了锚节点数量,从而降低了网络成本;2) 可以控制锚节点的移动路径、广播发射位置,从而提高定位效率和改善定位效果.

\* Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant Nos.60803122, 60903130 (国家自然科学基金)

Received 2009-05-01; Accepted 2009-07-23

本文基于移动锚节点,提出了一种 Range-free 的无线传感器网络定位算法.本文第 1 节介绍相关工作.第 2 节全面阐述该算法的详细过程.第 3 节通过实验分析该算法的性能.最后是研究工作总结.

## 1 相关工作

目前,国内外许多学者都针对基于移动锚节点的传感器网络节点定位问题展开了深入研究.

文献[6]根据 ROI(region of interest)面积给出了信标发射位置确定方法,包括针对矩形 ROI 的简单信标发射位置确定方法以及针对任意形状 ROI 的利用虚拟力获取信标发射位置坐标的方法,并提出了利用流浪旅行算法获取遍历这些发射位置点的最优路径.文献[7]提出了一种基于移动锚节点的非测距定位技术,利用 9 个装备有 GPS 接收机的可移动锚节点形成一个圆形定位区域,位于定位区域内的待定位节点接收锚节点发射的信号,并记录接收信号强度,比较接收信号强度确定自己所处区域,从而实现定位.文献[8]利用一个移动锚节点遍历整个网络,周期性地广播包含其当前位置信息的分组,当未知节点接收到 3 个(或以上)与其距离为通信半径的位置信息分组后,利用 3 边测量法计算自身位置.并且考虑通信半径存在摄动的情况下,用极大似然法替代 3 边测量法以提高算法的抗干扰能力.

此外,Ssu,Ou,Jiau等人提出了一种Range-free定位算法<sup>[9]</sup>,该算法基于“弦的垂直平分线经过圆心”性质,选择性地求出两组锚节点位置连线的垂直平分线的交点,并用该交点坐标作为对未知节点坐标的估计值.Sun和Guo<sup>[4]</sup>提出了一种基于移动信标的节点定位策略,使用到达时间法(TOA)测量未知节点到锚节点的距离,再利用加权的质心法估算未知节点坐标.

## 2 基于移动锚节点的定位算法

本节将提出一种仅基于 3 个移动锚节点的定位算法.首先给出这些锚节点在网络中停留位置的拓扑结构以及一种锚节点移动策略,其特点是,当锚节点根据该拓扑依次发送消息后,网络中任意未知节点都可以收到至少 3 个来自不同位置的距其较近的锚节点发送的消息,即可以确保网络监测区域内所有的未知节点均可精确地确定自身坐标.随后,我们在此基础上分别从锚节点和未知节点两方面来描述该算法的实现细节.

### 2.1 锚节点移动策略

当使用 3 边测量法进行定位时,未知节点首先需要获得周边锚节点的位置以及自身到这些锚节点的距离.不难看出,对于 Range-free 的定位算法,未知节点离这些锚节点越近,则定位的精确度越高;反之,则定位误差越大.为了提高节点定位的精确度,我们可以在网络中布置多个锚节点,这样每个未知节点可以通过选择距离其不是太远的若干锚节点进行定位,以减少定位的误差.然而使用的锚节点越多,整个网络的成本开销亦越大,会造成较大的浪费.因此,我们的目标是希望利用较少的锚节点来做到较精确的定位.

在这里,我们主要利用 3 个移动锚节点,通过一定的移动策略来满足上述目标.本节首先给出锚节点在移动过程中停留位置的拓扑结构以及具体的移动策略,具体的实现细节将在下一小节中描述.

我们假设网络中的监测区域为一个半径为 $R$ 的圆,如图 1 所示,在初始时,将一个移动锚节点 $N_1$ 放置于监测区域的中心 $A$ 处,另外再分别放置两个移动锚节点 $N_2$ 和 $N_3$ 于 $B$ 和 $C$ 处与之构成边长为 $r$ 的正三角形.

当锚节点 $N_1$ 、 $N_2$ 和 $N_3$ 初始位置确定以后,它们便以相同的恒定速率按图 2 所示的方式移动:在第 1 次移动过程中,锚节点 $N_1$ 和 $N_3$ 固定不动,节点 $N_2$ 沿着 $AC$ 中垂线的方向移动到 $B$ 在 $AC$ 上的对称点 $D$ ;第 2 次移动时,则是位于 $A$ 和 $D$ 位置的节点 $N_1$ 和 $N_2$ 固定,节点 $N_3$ 沿着 $AD$ 中垂线的方向移动到 $C$ 在 $AD$ 上的对称点 $E$ ,以此类推,在第 5 次移动后,位于 $F$ 位置的节点 $N_2$ 又回到了初始位置 $B$ ,此时,移动锚节点的移动位置形成一个正六边形,我们称为完成了锚节点的第 1 层移动.实际上,在完成第 1 层移动之后,该正六边形覆盖区域内的所有未知节点便都可以确保自身完成较为精确的定位.

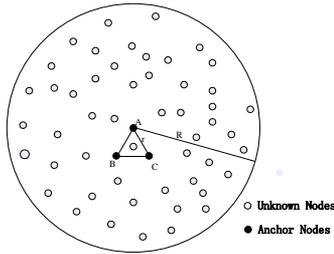


Fig.1 Initial location of anchor nodes

图 1 锚节点的初始位置

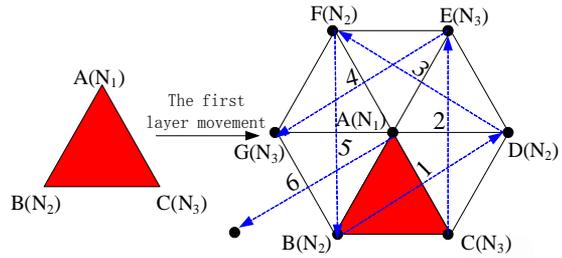


Fig.2 Anchor nodes move one layer

图 2 锚节点移动一层示意图

当第 1 层移动完成以后,位于网络中心位置 A 的锚节点  $N_1$  继续进行移动,如图 2 中的步骤 6 所示.之后,3 个锚节点重复第 1 层的移动步骤,直至整个第 2 层移动过程完成,图 3 显示了锚节点移动两层的情况.

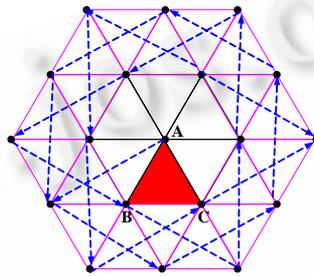


Fig.3 Anchor nodes move two layers

图 3 锚节点移动两层示意图

随后,锚节点  $N_1, N_2, N_3$  重复上述过程逐层向外移动,直到形成的正六边形恰能覆盖整个监测区域时停止移动,即确保锚节点移动过程结束后,监测区域中所有的未知节点都能实现其自身定位.锚节点移动结束后其停留位置所形成的拓扑结构如图 4(a)所示.

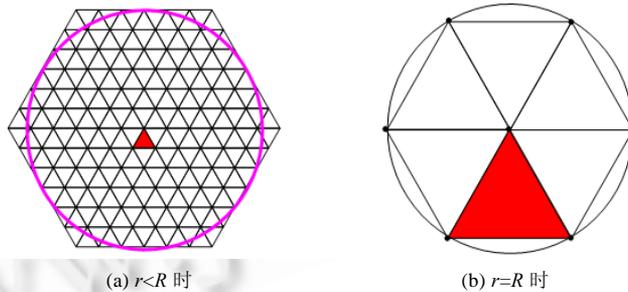


Fig.4 Topology structure of the location of anchor nodes

图 4 锚节点移动位置的拓扑结构

### 2.2 算法细节

在使用上述移动策略的前提下,锚节点如何控制自己在移动过程中消息的发送以及未知节点如何根据收到的锚节点消息进行具体定位,是本算法需要解决的关键问题.下面我们就从锚节点和未知节点两方面来详细介绍算法的细节.

#### 2.2.1 锚节点

我们假设网络中的节点是均匀分布的.在进行定位之前,首先需要估算出网络中节点平均每跳的距离,方法如下:在网络中的任意两个位置摆放两个锚节点  $N_1$  和  $N_2$ ,  $N_1$  向  $N_2$  发送一个包含自身坐标位置以及距离  $N_1$  跳数变量的消息,  $N_2$  收到后根据与  $N_1$  之间的实际距离和跳数,计算出平均每跳的距离;随后不断改变两个锚节点的摆放

位置重复上述实验过程,最终将基于不同位置的多次实验结果值进行平均,得到我们所需要的网络中平均每跳的距离  $hop_{avg}$ . 每当锚节点移动到一个新位置时,需要向四周以正三角形边长  $r$  为半径广播一个消息  $MSG(x_i, y_i, hop_i)$ , 其中,  $(x_i, y_i)$  表示锚节点  $N_i$  当前的坐标,  $hop_i$  表示距离  $N_i$  的跳数, 当某个未知节点收到消息中的  $hop_i = \lceil r/hop_{avg} \rceil$  时, 该节点不再广播该消息. 这样, 每个未知节点都能够保证选择与其距离不超过  $r$  的锚节点进行定位.

根据第 2.1 节描述的移动模型, 当  $R, r$  和锚节点移动的速率  $v$  都确定时, 每个锚节点移动的先后位置次序以及在每个位置停留的时间便可确定下来. 这样, 3 个移动锚节点在初始位置固定之后便可以按照各自规划好的移动轨迹以及在各个停留位置的停留时间来进行移动, 最终完成整个网络节点定位的任务. 为了便于控制各个锚节点在移动过程中何时发送消息, 我们需要在每个锚节点中保存如下两个集合:  $S_{obj}$  和  $S_{dyn}$ . 其中  $S_{obj}$  为目标位置集合, 存放每个锚节点在整个移动轨迹上的所有停留位置序列;  $S_{dyn}$  为动态位置集合, 存放每个锚节点沿着规划好的轨迹移动时当前所经过的所有停留位置序列. 初始时, 每个锚节点的  $S_{dyn}$  中仅记录该锚节点初始摆放的位置.

在锚节点移动的过程中, 我们主要采取以下的策略: 在 3 个锚节点按照初始位置摆放之后, 它们各自在距离自身  $r$  的范围内广播用于定位的 MSG 消息, 随后便按照第 2.1 节所述的移动策略进行移动. 当某个锚节点进行一次移动之后, 该锚节点便立即检查自身存储的  $S_{dyn}$  集合, 若自己当前所在位置存在于  $S_{dyn}$  中, 则说明该锚节点在此次移动过程中移动到了一个曾经停留过的位置, 此时该锚节点便将当前位置添加到  $S_{dyn}$  集合中; 相反地, 若发现自己当前所在位置不在  $S_{dyn}$  中, 说明该锚节点在此次移动过程中移动到了一个新的位置, 此时, 该锚节点不仅要当前位置添加到  $S_{dyn}$  集合中, 而且还需要在距离自身  $r$  的范围内广播一个 MSG 消息. 例如, 图 2 中的锚节点  $N_3$  移动到  $E$  后, 通过检查发现  $E$  位置不在序列集合  $S_{dyn} = \{C\}$  中, 此时  $N_3$  便更新  $S_{dyn} = \{C, E\}$  并广播 MSG 消息; 同样, 当锚节点  $N_2$  从  $F$  移动到  $B$  后, 其发现位置  $B$  存在于  $S_{dyn} = \{B, D, F\}$  中, 此时  $N_2$  更新  $S_{dyn} = \{B, D, F, B\}$ , 由于  $N_2$  在  $B$  处已经广播过 MSG 消息, 因此  $N_2$  在此时不再广播任何消息. 显然, 当锚节点中的  $S_{dyn}$  与  $S_{obj}$  相等时, 该锚节点的整个移动过程结束, 此时便停止工作.

通过使用上述策略, 我们能够避免锚节点在同一个停留位置重复发送 MSG 消息, 从而在一定程度上有效地节约了锚节点的能量开销.

### 2.2.2 未知节点

**定义 1 ( $n$  重覆盖).** 在使用上述移动策略进行定位的过程中, 若未知节点能收到  $n(n \geq 3)$  个来自不同位置的锚节点发送的消息, 则称未知节点位于  $n-2$  重覆盖范围内.

**定理 1.** 在采用第 2.1 节提出的拓扑结构和移动策略的网络中, 未知节点的覆盖重数最多为 2.

证明: 因为网络被移动锚节点分成了若干个相等的正三角形, 因此, 我们只需要了解单个正三角形区域中未知节点的覆盖情况. 如图 5 所示, 在正  $\triangle EBC$  中,  $\angle EBC$  为  $60^\circ$ ,  $BD$  为正  $\triangle ABC$  中  $AC$  边的中垂线,  $\angle DBC$  等于  $30^\circ$ , 从而有  $\angle DBE$  为  $90^\circ$ ,  $BD$  相切于  $BC$ . 同理,  $BD$  也相切于  $BA$ . 由此可见,  $BA$  和  $BC$  所围成的区域  $m$  和  $n$  不重叠. 因此, 对于区域  $n$  中每个未知节点而言, 均可最多接收到位于  $A, B, C$  和  $E$  这 4 个不同位置的锚节点发送的消息, 由此不难得出如下结论: 网络中所有未知节点的覆盖重数最多为 2.  $\square$

由定理 1 可知, 未知节点的位置可能在一重覆盖范围内, 亦可能在二重覆盖范围内. 从图 6 中我们不难发现, 位于中间的区域 1 为一重覆盖范围, 而由弧所包围的 3 个叶状区域 2 则为二重覆盖范围. 因为对区域 1 中任何一个节点而言, 都只能收到当锚节点位于  $A, B$  和  $C$  位置时发送的 3 个消息; 而对于区域 2 中的任意节点  $n$  而言, 它不仅能收到当锚节点位于  $A, B$  和  $C$  位置时发送的 3 个消息, 还能收到当其中一个锚节点从位置  $B$  移动到位置  $F$  后发送的消息. 因此, 对于二重覆盖范围(即区域 2)内的节点而言, 它们能够收到距离自身  $r$  范围内的 4 个不同位置的锚节点发送的消息, 显然, 其定位精度要高于只收到 3 个锚节点消息的一重覆盖范围(即区域 1)内的节点.

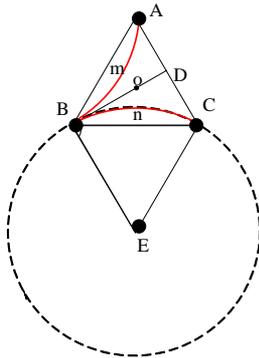


Fig.5 Theorem 1

图 5 定理 1 示意图

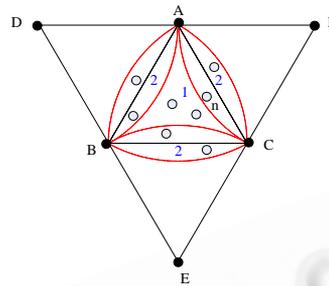


Fig.6 Single overlay and the double overlay

图 6 一重覆盖与二重覆盖

当未知节点收到 3 个来自不同位置的移动锚节点发送的 MSG 消息时,便可以利用三边测量法进行定位,并且将消息中的锚节点位置以及距离锚节点的跳数信息保存在节点中.未知节点一旦收到第 4 个来自不同位置的移动锚节点发送的 MSG 消息,则说明其位于二重覆盖范围内,此时需要重新定位,利用当前收到的以及先前保存在节点中的信息计算出更加精确的位置.

### 3 算法分析

#### 3.1 时间同步

无线传感器网络需要在所有节点都完成定位之后才能开始执行以节点位置已知为前提的各种任务.因此,网络中节点的时间同步显得十分重要.在这里,我们假设在每一次移动过程结束之后到下一次移动过程开始之前,3 个锚节点停留的时间相等且表示为  $t$ ,在这段时间中,锚节点需要向周围未知节点发送MSG消息.显而易见,在每层的最后一次移动过程结束后(例如图 2 中的锚节点  $N_2$  从  $F$  移动到  $B$ ),锚节点无须发送MSG消息,但此时我们仍然设定它们的停留时间为  $t$ ,以确保在进行下一层移动之前,所有在该层移动覆盖范围内的未知节点都能收到MSG消息并完成定位.因此,在锚节点最后一层移动过程结束时,便能确保网络中的所有未知节点全部完成定位.

由此可见,当时间  $t$ 、移动速度  $v$  以及  $R, r$  均已知时,整个网络的定位完成时间便可以确定.

#### 3.2 性能优化

在定位过程中,我们总是希望在锚节点移动过程结束后所形成的定位覆盖范围尽可能的小,并且确保监测区域内的所有未知节点都能完成其定位.因此,如何定义  $r$  的大小对于满足上述目标显得十分重要.很显然,当总共只进行一层移动时,  $r=R$ ,如图 4(b)所示,此时锚节点的停留位置所形成的正六边形内切于监测区域;当总的移动层数为  $i(i>1)$ 时,  $r<R$ ,如图 4(a)所示,此时锚节点的停留位置所形成的正六边形外切于监测区域.由此不难得出,  $r$  的取值与总的移动层数  $i$  之间满足以下关系:

$$r_i = \begin{cases} R, & i = 1 \\ \frac{R}{(\sqrt{3}/2)i}, & i > 1 \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $r_i$  表示当总的移动层数为  $i$  时  $r$  的大小.

**性质 1.** 若锚节点的移动层数为  $i$ ,则锚节点总的移动次数为  $6i^2-1$ ,满足二重覆盖的叶状区域数目为  $9i^2-3i$ .

由本文第 2 节可知,位于二重覆盖范围内的未知节点具有更高的定位精确度.因此,我们的目标是希望找出一个合适的移动层数  $i$ ,在保证整个网络的定位完成满足一定时间约束的条件下,使得网络的二重覆盖范围尽可能地大.于是,我们得出以下的优化模型:

$$\max 2r_i^2 \left( \frac{1}{6}\pi - \frac{\sqrt{3}}{4} \right) (9i^2 - 3i), \quad i = 1, 2, \dots \quad (2)$$

$$\text{s.t.} \quad 6i^2 \cdot t + \frac{\sqrt{3}r_i(6i^2 - 1)}{v} \leq T_D \quad (3)$$

$$\left[ \frac{1}{6}\pi r_i^2 + 2r_i^2 \left( \frac{1}{6}\pi - \frac{\sqrt{3}}{4} \right) \right] \cdot \rho \geq 1 \quad (4)$$

其中,  $T_D$ 表示整个网络定位完成的时间阈值,  $\rho$ 表示网络中未知节点的密度.

在上述模型中,通过在约束式(3)中设定阈值  $T_D$ ,可以将整个网络定位过程需要的时间控制在一定范围之内,同时可以控制定位过程中锚节点和未知节点的能量开销.式(4)则对  $r$  的取值范围进行了约束,我们认为  $r$  的取值范围与节点密度  $\rho$  有关,所有  $r$  的取值应当满足以下条件:在每次移动过程结束后,3 个锚节点发送的MSG消息至少能够被一个未知节点全部接收到,即  $r = \{r_i\}$  ( $i$  为正整数且满足式(4)).

### 4 仿真结果及分析

以下将对本文提出的算法进行仿真实验,目的是验证基于移动锚节点的定位算法的有效性,并分析其特点.我们假设未知节点均匀部署在监测区域中,除非特别指出,本节中所有仿真实验都采用表 1 中的实验参数.

Table 1 Parameters of experiment

表 1 实验参数表

参数	值
监测区域半径 $R$	100 units
未知节点密度 $\rho$	1%
锚节点移动速率 $v$	100 units/min
锚节点停留时间 $t$	1 min

Case1:在本次实验中,我们主要考察锚节点总的移动层数  $i$  与移动时间以及二重覆盖范围内未知节点数目之间的关系.根据第 3.2 节提出的优化模型中的约束式(4),我们可以得出当节点密度为 1% 时,锚节点移动的总层数最多为 9.因此,我们根据式(1)分别选取当  $i$  从 1~9 时所对应的  $r_i$  进行仿真实验,实验结果如图 7 所示.可见,整个定位完成所需的时间以及二重覆盖范围内未知节点的个数均是随着锚节点总的移动层数的增加而增加.

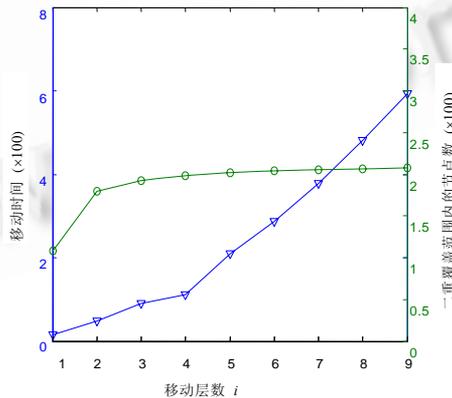


Fig.7 Relation between  $i$ , moved time and the amount of double overlay nodes

图7 移动层数  $i$  与移动时间及二重覆盖节点数目之间的关系

在这里,我们假设在一定的节点密度  $\rho$  下,锚节点移动的总层数最多为  $i_{\max}$ ,满足目标函数式(2)的最优移动层数  $i$  表示为  $i_{opt}$ ,  $t(i)$  表示当移动层数为  $i$  时总的移动时间.因此,根据图 7 可知,当时间阈值  $T_D$  确定以后,  $i_{opt}$  的取值为

$$i_{opt} = \begin{cases} i_{max}, & \text{if } T_D \geq t(i_{max}) \\ i', & \text{if } T_D < t(i_{max}) \text{ and } t(i') \leq T_D < t(i'+1) \ (1 \leq i' < i_{max}) \end{cases} \quad (5)$$

Case2:该实验主要考察锚节点移动层数  $i$  与未知节点平均误差之间的关系.这里我们定义节点平均定位误差为

$$\Delta = \sqrt{(x' - x)^2 + (y' - y)^2} \quad (6)$$

其中,  $(x,y)$  为未知节点的真实位置坐标,  $(x',y')$  为通过三边测量法计算得出的位置坐标.

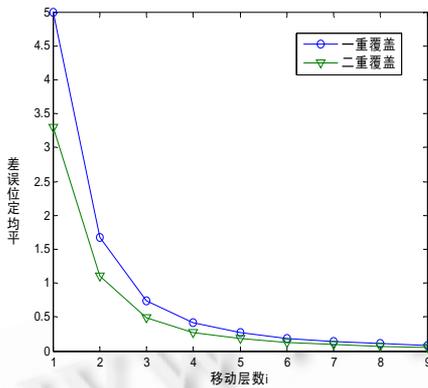


Fig.8 Relation between the number of moved layers and average localization error

图8 锚节点移动层数与节点平均定位误差之间的关系

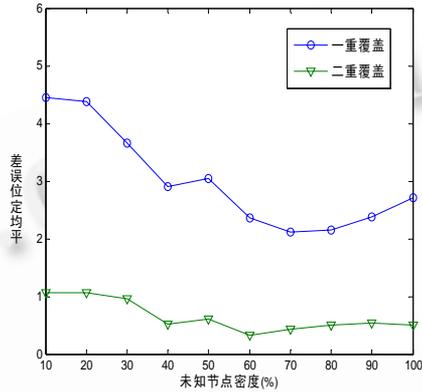


Fig.9 Variation of average localization error under different densities

图9 平均定位误差在不同节点密度下的变化图

如图8所示,未知节点的平均定位误差随着锚节点总的移动层数的增加而减小,并且二重覆盖范围内节点的定位误差要普遍小于一重覆盖范围内的节点.这是因为随着锚节点总的移动层数的增加,锚节点两两之间的距离  $r$  值减小,因此未知节点可以接收到距离自身更近的锚节点发送的消息,从而在一定程度上增加了定位的精确度.并且在一重覆盖的情况下,需要定位的节点仅仅根据锚节点在3个不同位置发送的信息计算坐标位置;而在二重覆盖的情况下,需要定位的节点坐标则根据锚节点在4个不同位置发送的信息测量而得,因此其定位精确度在相同密度的条件下会比一重覆盖范围内的节点高.

Case3:图9显示了未知节点的平均定位误差在不同节点密度下的变化曲线图.从图中可以看出,随着未知节点密度的增加,节点平均定位误差呈下降趋势.同时我们也不难发现,无论节点密度如何变化,二重覆盖范围内节点的定位精确度始终高于一重覆盖范围内的节点.

### 5 结论

在本文中,为了实现利用较少的锚节点完成较精确定位的目标,我们提出了一种仅基于 3 个移动锚节点的 Range-free 无线传感器网络节点定位算法,其基本思想是利用我们给出的移动策略使得锚节点在监测区域中有规则的移动,以实现对网络中的所有未知节点进行定位.该算法能够保证每个未知节点都选择与其距离在一定范围内的锚节点进行定位,同时通过建立优化模型以最大化网络中的二重覆盖区域范围,从而进一步提高定位的精确度.仿真实验结果表明,该算法能够在一定程度上提高节点的定位精确度.

### References:

[1] Akyildiz IF, Su W, Sankarasubramainam Y, Cayirci E. A survey on sensor networks. IEEE Communications Magazine, 2002,(8): 102-114.

[2] Sichitiu ML, Ramadurai V. Localization of wireless sensor networks with a mobile beacon. NC 27695, Raleigh: Department of Electrical and Computer Engineering, North Carolina State University.

- [3] Patro RK. Localization in wireless sensor networks with mobile beacons. In: Proc. of the 23rd IEEE Convention of Electrical and Electronics Engineers. IEEE Computer Society, 2004. 22–24.
- [4] Sun GL, Guo W. Comparison of distributed localization algorithms for sensor network with a mobile beacon. In: Proc. of the IEEE Int'l Conf. on Networking, Sensing and Control. 2004. 536–540.
- [5] Khan A, Philip SJ, Qiao CM, Tripathi SK. A framework for mobile assisted localization in wireless sensor networks. Technical Report, Buffalo: State University of New York, 2005.
- [6] 李石坚,徐从富,杨旸,潘云鹤.面向传感器节点定位的移动信标路径获取.软件学报,2008,19(2):455–467 (in Chinese with English abstract). <http://www.jos.org.cn/1000-9825/19/455.htm>
- [7] 张正勇,孙智,王刚,余荣,梅顺良.基于移动锚节点的无线传感器网络节点定位.清华大学学报(自然科学版),2007,47(4):534–537 (in Chinese with English abstract).
- [8] 董齐芬,冯远静,俞立.基于移动信标节点的无线传感器网络定位算法研究.传感器技术学报,2008,21(5):823–827 (in Chinese with English abstract).
- [9] Ssu KF, Ou CH, Jiau HC. Localization with mobile anchor points in wireless sensor networks. IEEE Trans. on Vehicular Technology, 2005,54(3):1187–1197.



史庭俊(1963—),男,江苏扬州人,博士,副教授,主要研究领域为网络与信息安全.



桑霞(1982—),女,硕士生,主要研究领域为无线传感器网络.



徐力杰(1983—),男,硕士生,主要研究领域为无线传感器网络.



殷新春(1962—),男,博士,教授,博士生导师,主要研究领域为信息安全,高性能计算.