

基于网络连通性的移动锚节点定位算法

刘影¹, 钱志鸿²

(1. 辽宁工程技术大学电子与信息工程学院, 辽宁 葫芦岛 125105; 2. 吉林大学通信工程学院, 吉林 长春 130022)

摘要: 为了更好地解决无线传感器网络节点定位精度和锚节点数目之间的矛盾, 提出一种基于连通性的移动锚节点定位算法。首先, 对网络节点的覆盖特性进行分析, 发现锚节点移动步长与通信半径之间存在临界值, 在此临界值周围变化移动锚节点, 覆盖特性会发生变化; 其次, 利用单个可移动的锚节点按照规划路径形成定位区域的无缝覆盖; 最后, 利用网络的连通性, 在不需要高精度测距技术的条件下, 节点根据接收到的信息分组进行位置估计。仿真结果表明, 提出的定位算法可实现粗粒度定位, 且所使用的路径可实现待定位节点全部定位。

关键词: 无线传感器网络; 定位; 移动锚节点; 连通性

中图分类号: TN925.5

文献标识码: A

Moving anchor node localization algorithm based on network connectivity

LIU Ying¹, QIAN Zhi-hong²

(1. School of Electronic and Information Engineering, Liaoning Technical University, Huludao 125105, China;

2. College of Communication Engineering, Jilin University, Changchun 130022, China)

Abstract: In order to better solve the contradiction between precision of localization and the number of anchor nodes in wireless sensor network, a mobile anchor node localization technology based on connectivity was proposed. First, the coverage characteristic of the network nodes was analyzed, and a critical value was found between the mobile step and the anchor node communication radius, mobile anchor nodes' coverage characteristic would change when near this critical value. Second, a mobile anchor node followed a planning path to form a positioning area seamless coverage was used. Finally, when there was no need for high-precision technology, node position would be estimated according with the connectivity of the network and the receiving information of the node. The simulation results show that the proposed algorithm can realize coarse-grained localization, and paths perform complete localization.

Key words: wireless sensor network, localization, mobile anchor node, connectivity

1 引言

无线传感器网络中基于位置的服务越来越受到人们的青睐。传统的 GPS 定位^[1]和蜂窝定位技术在室外开阔环境中能达到较高的定位精度, 但在室内和恶劣环境下却无法进行有效定位, 而无线传感器网络则能在目标区域内部署大量微小的、低成本的、低功耗的传感器节点, 通过节点之间信息的传递, 可实现如军事预防、环境监测、空间探索、医

疗卫生、目标跟踪、水下监测等诸多应用^[2,3]。因此, 无线传感器网络的出现可弥补传统定位技术的局限性。

在无线传感器网络定位中, 锚节点表示为位置已知的节点, 也可称为信标节点。锚节点的部署对未知节点的定位性能有着较大的影响, 良好的锚节点部署结构不仅可以使未知节点获得较高的定位精度, 而且可获得较高的定位覆盖度。在静态的网络中, 锚节点数量有限且存在节点漂移问题^[4], 导

收稿日期: 2016-09-08; 修回日期: 2017-02-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No.61371092); 吉林省科技厅重点科技攻关基金资助项目 (No.20140204019GX)

Foundation Items: The National Natural Science Foundation of China (No.61371092), The Key Programs for Science and Technology Development of Jilin Province (No.20140204019GX)

致锚节点无法完全覆盖整个网络, 赵晓敏等^[4]提出一种判断节点位置的可信度模型, 对其锚节点和普通节点进行可信度检测, 在定位盲区将可信度高的普通节点升级为临时的锚节点, 以改善定位精度。通常, 可以通过增加锚节点数量来提高定位精度, 但锚节点与普通节点相比成本较高, 如果有 10% 的节点为锚节点, 那么网络的价格将增加 10 倍^[5], 然而当未知节点定位结束后将不再需要昂贵的锚节点, 因此, 有必要减少节点定位过程中锚节点参与的数目。如果通过减少锚节点数目来降低成本, 那么随之而来的影响就是定位精度的降低。

移动节点代替固定锚节点的引入^[6], 可使网络中产生很多虚拟锚节点, 这些节点与锚节点具有相同的功能, 从而可以有效减少网络中锚节点数量, 这样不仅降低网络成本, 同时避免出现定位盲区。利用移动节点的灵活性来辅助网络定位已成为节点定位技术研究的一个重要方向, 也受到了较多关注。近年来, 在移动锚节点辅助定位方面已经有了一些相关研究工作。使用移动锚节点进行定位的最简单方法就是在锚节点移动过程中, 随机停留在某些位置并放置一个普通的传感器节点, 把放置的普通传感器节点看成固定锚的节点, 辅助其他节点的定位。移动锚节点辅助定位方法大致可以分为以下几类。

1) 基于移动锚节点的测距定位技术。崔焕庆等^[7]为了避免重复扫描待定位节点, 提出了使用多个移动锚节点保持一定相对关系进行移动, 利用 TDOA (time difference of arrival) 测距技术为未知节点提供距离信息辅助其定位。JAVAD 等^[8]在 RSS (received signal strength) 算法基础上提出一种 Z 型移动路径辅助定位方法, 将定位区域分成 4 个正方形设置的路径, 进一步讨论了在障碍物情况下的移动路径规划方法。通常 RSS 测量值极易产生偏差^[9,10], 王婷婷等^[9]采用两步字典学习方法根据测量值动态调整字典, 使之能够适应 RSS 的变化, 降低距离估计误差。常俪琼等^[10]利用有限状态马尔可夫链将 RSSI(received signal strength indication)值分解为噪声分量和扰动分量, 消除噪声分量利用扰动分量实现定位, 改善定位精度。通过将节点之间的信号强度、时间差、角度等测量信息转化为距离信息, 钱志鸿等^[11]指出高精度测距方法实现的前提为如何识别和排除非视距测量问题, 在理想环境下可以实现厘米级的定位精度, 但这些信号能否成功接收

是随机变化的。孙利民等^[12]指出 RSSI 测距非常容易受环境影响, 且定位结果通常不稳定, TDOA 和 TOA (time of arrival) 对同步要求极高, AOA (angle of arrival) 需要大量的天线阵列, 对于无线传感器网络来说很难满足这些要求。

2) 基于移动锚节点的非测距定位技术。与测距定位相比无需测量出节点之间的真实距离, 利用网络的连通性估计出节点的相对位置。这类算法虽然定位精度低, 但是不需要额外硬件支持, 成本低、通信开销小, 更适用于在无线传感器网络中应用。Zhang 等^[13]提出了一种具有一个移动锚节点的非测距定位算法, 通过设置节点睡眠/唤醒机制来节约能耗。邓彬伟等^[14]从目标跟踪的思想引入移动定位, 提出一种移动信标锚节点在定位区域内进行行列扫描, 向未知节点发射标识信号, 未知节点只需要接收第一次标识号, 根据移动信标起点位置和接收到的标识号即可估算出未知节点坐标。Ou^[15]提出一种使用移动锚节点的非测距定位算法, 移动锚节点配置 4 个定向天线, 并且在网络中移动过的位置使用 GPS 获得自身位置信息, 同时广播它的坐标, 未知节点探测到移动锚节点发来的信息后根据天线覆盖来确定自身位置。彭鑫等^[16]提出一种梯度搜索移动协作定位算法, 将移动定位拓展到时间区间上建立节点距离约束条件, 从而求得节点坐标的最佳估计。He 等^[17]指出, 当定位误差小于传感器节点无线通信半径 40% 时, 定位误差对路由性能和目标追踪精确度的影响不大。

3) 移动锚节点的路径规划。锚节点根据某些移动模型^[18,19]来移动, 主要集中对几种典型信标移动路径进行研究比较, 包括 Scan 型、Double Scan 型、HILBERT 型、圆型和 S 型规划路径的方法。首先, 在移动过程中并同时广播数据分组; 其次, 未知节点接收到分组之后存储起来, 选择相应的定位技术; 最后, 选择位置计算方法。Scan 型锚节点沿垂直方向移动, 为保证所有未知节点能接收到移动锚节点广播的信息分组, Scan 型要求节点通信距离较小, 但 Scan 型路径会产生大量共线的虚拟锚节点, Double Scan 锚节点先水平移动再垂直移动, 可克服 Scan 型存在的问题。HILBERT 型增加了移动路径长度, 由若干个不完全封闭的小正方形组成, 可为未知节点定位提供可靠的不共线锚节点。圆型和 S 型规划路径的方法用曲线代替直线, 可有效地解决移动锚节点共线的问题。

连通性是网络进行可靠数据传输的基础，也是定位技术能够顺利进行的前提条件，典型的基于连通性的节点定位算法^[20-22]包括质心算法、APIT (approximate point-in-triangulation test) 算法和 DV-Hop 算法。其中，质心算法^[20]无需锚节点和未知节点之间协同操作，算法实现简单。APIT 算法^[22]定位精度受锚节点密度影响较大，对网络的连通性有较高的要求。DV-Hop 算法^[7,22]如果没有对待定位节点的位置进一步限定的信息，仅依据锚节点信息和连通度信息，那么该算法定位分辨能力较弱。

综上所述，在移动定位算法中几乎没有探讨通信半径以及移动步长对网络连通性的影响，如何移动锚节点获得高连通性的网络，使未知节点获得更多定位信息是本文研究的重点。基于此，本文提出一种基于连通性的移动锚节点辅助定位方法，分析了节点传输范围与移动路径规划问题，进而给出了移动步长的合理取值，实现对定位区域的无缝覆盖。该方法无需辅助设备测量节点间的绝对距离或角度信息，可以有效地降低网络成本，并且具有较强的灵活性。

2 锚节点移动路径获取算法

在无需测距定位算法中，锚节点存在的位置以及锚节点的数量会影响未知节点的定位精度。为了提高定位精度，可以在网络中部署多个移动锚节点，这样未知节点才能选择足够数量的锚节点来定位以减少定位误差。然而，移动锚节点数量越多，整个网络成本开销越大，会造成较大浪费。因此，本文的目标是使用较少的移动锚节点来部署高连通性的网络，实现更精确的定位。

2.1 锚节点移动规则

在组网的初期，锚节点按照某种规则移动尽可能实现无缝覆盖，使网络中未知节点都能获得锚节点信息，为下一步的定位奠定基础。本文采用 city section mobility model^[23]理论来规划锚节点的移动路径，模拟城市街道布置，模型的主要思想是从当前位置到达另一个目的地的路径最短。本文利用城市布置街道思想来模拟单个锚节点的移动路径，模拟场景由水平、垂直的弯曲街道组成，如图 1 所示，其中， r 为移动步长，MA 为移动辅助装置，该装置里设置了网络覆盖区域的大小，节点移动轨迹是预先确定的路径，具体工作步骤如下所示。

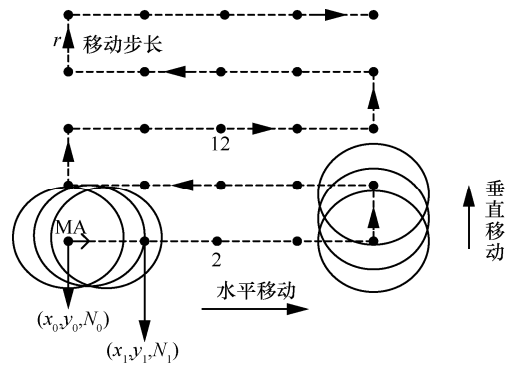


图 1 锚节点移动路径

1) 具有移动辅助定位装置的 MA 节点，从网络边缘 (x_0, y_0) 位置沿 x 轴方向移动，移动步长为 r ，当节点运动到边界区域时，边界将给节点一个 90° 的“反弹”方向，最终 MA 经过的路径形成多条平行直线。MA 每移动一个步长后发射一次信息分组 $(x_i, y_i, N_i), i=0,1,2,\dots,n$ ，其中， (x_i, y_i) 表示锚节点停留时的位置， N_i 表示锚节点标识号，每经过一个步长停留位置 MA 要更换一次信息分组中的值，有

$$\begin{cases} x_i = x_0 + [k - m(l-1)]r, l \text{ 为奇数} \\ y_i = y_0 + (l-1)r \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} x_i = x_0 + (ml - k - 1)r, l \text{ 为偶数} \\ y_i = y_0 + (l-1)r \end{cases} \quad (2)$$

其中， m 表示每行分组含移动节点数目， l 为行数，每一行中 k 的取值个数都为 m 个，如当 $l=1$ 时， $k=0,1,\dots,m-1$ ；当 $l=2$ 时， $k=m,m+1,\dots,2m-1$ ；当 $l=3$ 时， $k=2m,2m+1,\dots,3m-1$ ，每行以此类推。由图 1 可以看出，奇数行中移动锚节点横坐标值相同，偶数行中移动锚节点横坐标值也是相同，每行中移动节点的纵坐标值相同。

2) 当未知节点接收到 MA 移动装置发来的信息分组后将其存储，但未知节点只接收 MA 首次发送的信息分组，即忽略标识号相同的信息分组。

3) MA 通过水平和垂直移动形成网格分布，进而解决定位盲区的问题，最后未知节点利用接收到的信息实现定位。移动锚节点位置计算如算法 1 所示。

算法 1 移动锚节点位置计算

- 1) 输入 x_0, y_0, l, m, n ;
- 2) 步长 r ;
- 3) for $i=1$ to n
- 4) //移动锚节点在奇数行时的坐标计算

```

5) if mod(l, 2) == 1 //l 初始值为 1
6)     for k=(i-1)m to im-1
7)         移动锚节点坐标用式(1)求解
8)     end for
9) //移动锚节点在偶数行时的坐标计算
10) else
11)     for k=(i-1)m to im-1
12)         移动锚节点坐标用式(2)求解
13)     end for
14) end if
15)     l=l+1
16) end for

```

2.2 移动步长

锚节点在移动时对步长的选取应遵循一定的规则，移动步长选得越小，锚节点移动次数越多，能量消耗越多，导致锚节点过早能量耗尽而“死亡”。但是移动步长选取越大，某些未知节点会因得不到锚节点信息而无法实现定位。为了使网络中每个未知节点至少能接收到一个锚节点信息，锚节点在遍历网络时的步长与通信半径之间应找到最佳平衡点，确保网络覆盖性能最优。假设网络监控区域是一个长方形，锚节点通信半径为 R ，移动步长为 r ，其中， r 有多种取值。

1) 当 $r = \sqrt{2}R$ 时，上下与左右相邻没有空隙，在覆盖区域中任何一个未知节点至少可以接收到一个锚节点发送的信息，如图 2 所示。其中，阴影区域内的节点只能接收到 1 个锚节点信息，4 个圆交叉点处最多可接收 4 个锚节点信息，其余空间中的节点只能接收到 2 个锚节点信息。

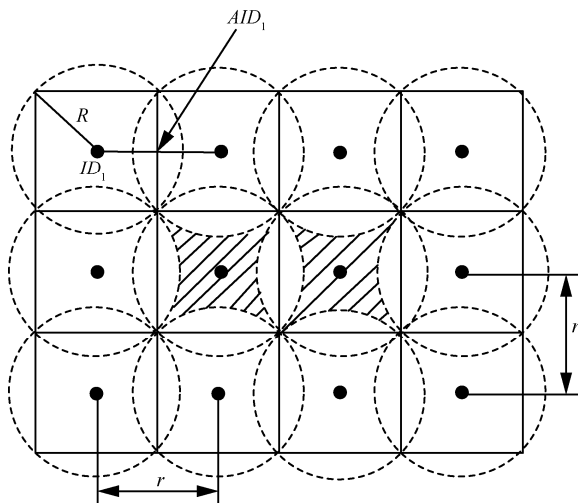


图 2 移动步长的覆盖情况 ($r = \sqrt{2}R$)

2) 当 $R < r < \sqrt{2}R$ 时，某些区域将会出现被多个锚节点进行多重覆盖，如图 3 所示，如 1 号区域可接收到 3 个锚节点信息，2 号区域可接收到 4 个锚节点信息，这些区域内的未知节点接收到的定位信息比其他区域内的未知节点接收到的定位信息增多，因此在 1 号区域和 2 号区域内的节点平均定位精度显著提高。

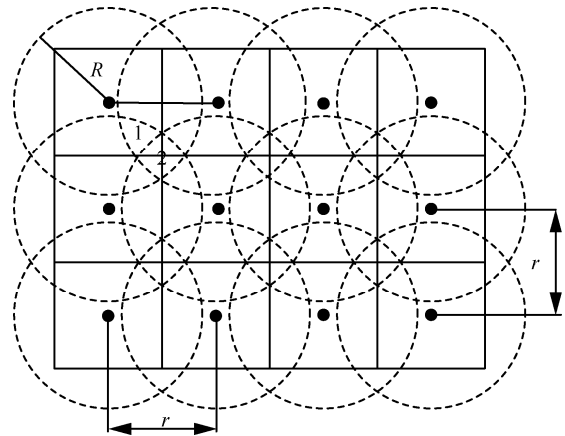


图 3 移动步长的覆盖情况 ($R < r < \sqrt{2}R$)

3) 当 $0 < r < R$ 时，与情况 2) 相比被多个锚节点多重覆盖区域将变大，可实现高精度定位的节点增加，从而将提高整个网络的定位精度。但是移动步长选得越小，锚节点移动次数越多，消耗能量越大，可能导致锚节点过早“死亡”。

4) 当 $r > \sqrt{2}R$ 时，网络中部分未知节点根本无法接收到锚节点信息，如图 4 所示，如 2 号节点，会出现定位盲区，在圆形区域外的节点接收不到任何信息，导致节点根本无法实现定位。因此，本文算法要根据节点的传输距离来设置锚节点的移动步长，保证未知节点能接收到至少一个锚节点的信息，使节点实现粗粒度定位。

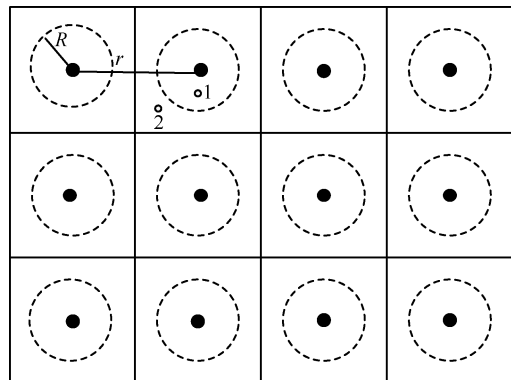


图 4 移动步长的覆盖情况 ($r > \sqrt{2}R$)

如上分析, 移动步长的选择在情况 2) $R \sim \sqrt{2}R$ 之间最为合理, 进而保证每个未知节点都能获得锚节点信息, 但大多数移动定位的研究都假设多个锚节点按照某种规则同时移动^[18,19]或调整节点的发射功率^[24], 需考虑节点同步问题, 对于没有思维的节点来说实现起来相对困难, 只能从硬件上实现, 从而增加成本和能耗。本文方法只利用一个锚节点水平和垂直移动, 只需考虑移动步长和通信半径的设置, 进而实现高连通性的网络。

3 基于连通性的定位技术

无线传感器网络没有固定的节点通信数据连接线, 是通过选择具有一定功率水平的无线节点, 通过发射信息分组而形成的。如果网络中任意节点通过单跳或多跳路由均可和其他节点进行信息交换, 即网络是连通的, 为节点定位提供了保障。

基于连通性的定位方法, 对节点的硬件及网络所处的环境没有特殊要求, 但网络的拓扑结构对定位精度有一定的影响。通过 2.1 节和 2.2 节对锚节点移动半径的研究, 使锚节点所经过的轨迹形成无缝覆盖的网络, 最终构造出全连通的网络。锚节点每停留过一个位置就广播分组, 分组中包含锚节点自身位置信息和标号, 对于任意未知节点 $i, 1 \leq k \leq n$ 定义集合为

$$\Omega_i = \{k | d_{ik} \leq R, k \neq i, 1 \leq k \leq n\} \quad (3)$$

其中, Ω_i 表示能与未知节点 i 直接通信(单跳)的移动锚节点集合, n 为网络中的节点数, d_{ik} 表示未知节点与锚节点的距离。当未知节点接收到来自不同锚节点的信标分组数量达到门限 k 或接收一段时间后, 未知节点的自身坐标为

$$U(x, y) = \left(\frac{\sum_{k=1}^n x_k}{k}, \frac{\sum_{k=1}^n y_k}{k} \right) \quad (4)$$

其中, (x_k, y_k) 为锚节点坐标, k 为未知节点接收到锚节点的个数, 未知节点定位过程如算法 2 所示。基于连通性定位虽是一种粗粒度定位方法, 但是当选取合适的路径和移动步长, 可以较好地适应网络中锚节点的移动性和低密度性, 克服了基于测距定位算法中对硬件要求高、能耗高、受环境影响大等缺点, 在许多应用中相对定位信息可以满足无线传感器网络的需求。

算法 2 未知节点定位过程

- 1) 未知节点坐标 $ss = [s_x(j); s_y(j)]$
- 2) for $j=1:m$ // m 为未知节点数量
- 3) //求未知节点可直接通信(单跳)的移动锚节点集合
- 4) for $i=1:n$ // n 为移动锚节点数量
- 5) $d = \text{norm}((xy(:,i)-ss), 2)$ // xy 由算法 1 得
- 6) if $d \leq R$ // R 通信半径
- 7) $xx(j,i) = xy(1,i)$
- 8) $yy(j,i) = xy(2,i)$
- 9) $k = k + 1$ // k 初始值为 0
- 10) else
- 11) $xx(j,i) = 0$
- 12) $yy(j,i) = 0$
- 13) end if
- 14) end for
- 15) //求未知节点的坐标
- 16) if $k \neq 0$
- 17) $U(:,j) = \left[\frac{\text{sum}(xx(j,:)); \text{sum}(yy(j,:))}{k} \right]$
- 18) else
- 19) $U(:,j) = 0$
- 20) end if
- 21) end for

本文提出算法的复杂度由移动路径获取算法和基于连通性定位方法共同决定。移动路径获取算法的时间复杂度为 $O(n^2)$, 连通性定位方法时间复杂度为 $O(nm)$, 因此, 本文算法的复杂度为 $O(n^2)$ 。

4 仿真分析

仿真参数设置: 网络范围 $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$; 单个移动锚节点沿着 2.1 节的规划路径进行移动, 移动步长 r ; 未知节点数量 N , 随机分布于定位区域, 未知节点根据接收到移动锚节点发布的消息进行定位; 网络节点通信半径为 R 。

移动锚节点获取方法: 移动锚节点每经过一个位置都要计算出自身的位置坐标, 计算方法依据 2.1 节中的算法 1 产生, 当移动锚节点在奇数行移动时, 移动锚节点坐标利用式(1)计算; 当移动锚节点在偶数行移动时, 移动锚节点坐标利用式(2)计算。

将本文提出的基于网络连通性的移动锚节点定位算法进行仿真实验, 为了验证算法的有效性, 选择移动步长、可定位节点数以及平均定位精度作为定位评价参数, 并分析其算法特性。假设节点真

实坐标为 (x_u, y_u) ，其定位坐标为 (\hat{x}_u, \hat{y}_u) ，可得 N 个节点平均定位精度为

$$Accuracy = \frac{1}{NR} \sum_{u=1}^N \sqrt{(x_u - \hat{x}_u)^2 + (y_u - \hat{y}_u)^2} \quad (5)$$

1) 移动步长取值

在锚节点移动路径规则中阐述了移动步长与通信半径之间的临界关系，根据移动步长的不同取值情况分别进行仿真实验。假设通信半径为 10 m 时，移动步长在 R 和 $\sqrt{2}R$ 之间取值，移动步长与平均定位精度之间的关系如图 5 所示。当 $r > \sqrt{2}R$ 时，网络将会产生很多孤立节点无法实现定位； $r < R$ 时，移动步长过小，降低锚节点存活时间。经仿真实验得出移动步长最佳取值在 10~12 m 时定位误差最小，移动步长取值在 $R \sim \sqrt{2}R$ ，符合 2.2 节的分析结果。接下来的仿真实验中移动步长取值为 11 m，此时未知节点最多与 4 个锚节点相互通信，最少与 1 个锚节点相互通信。当未知节点只获取一个锚节点信息时，未知节点的位置将与锚节点位置重合，误差相对较大。

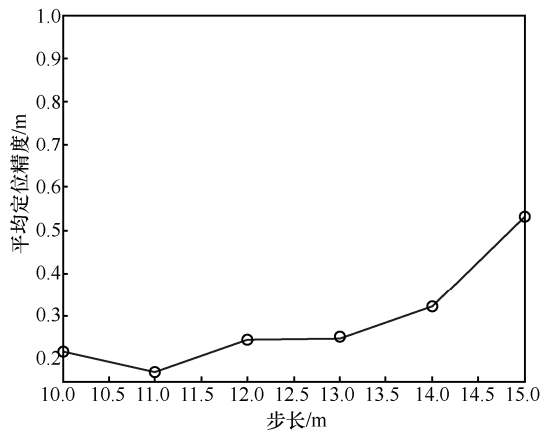


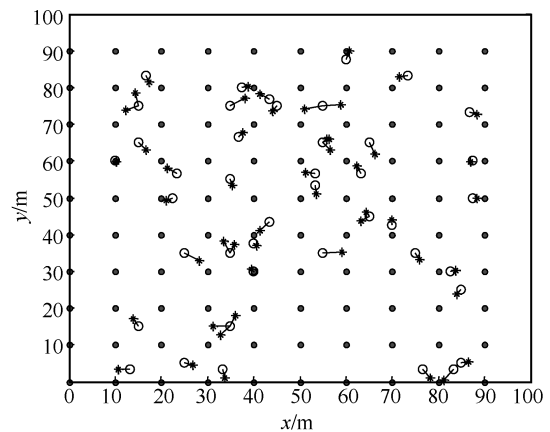
图 5 移动步长与定位误差之间的关系

2) 可定位节点数

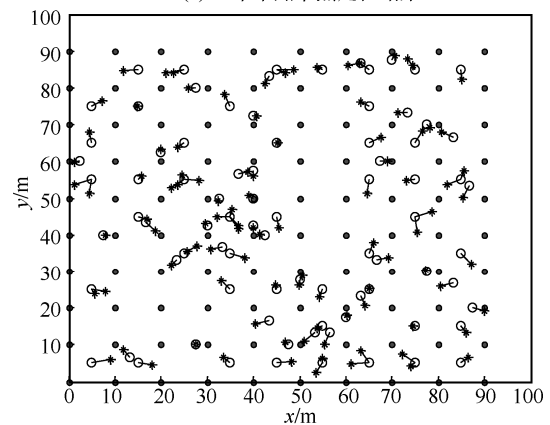
针对锚节点移动的路径以及通过上文仿真得到的移动半径，分析其矩形覆盖区域内未知节点的定位情况。实验中布置未知节点数为 50 个和 100 个时，未知节点的真实位置和计算位置如图 6 所示，图 6 中 * 表示未知节点位置，o 表示未知节点计算位置，它们之间的连线表示定位误差，● 表示移动锚节点经过的位置。

图 6(a) 中未知节点所分布的位置大都可接收到足够的锚节点信息，较多未知节点可接收到 3 个或 4 个锚节点信息，进而锚节点覆盖区域内的所有未

知节点可实现 100% 定位且定位精度较高。随着节点数目增加，覆盖区域内未知节点分布密集，如图 6(b) 所示，当节点增加到 100 时，造成较多不同位置的未知节点定位结果相同，个别未知节点只能接收到一个锚节点信息，此时测得的未知节点位置将与锚节点位置重合，因此图 6(b) 误差明显要大于图 6(a)。所以在撒播节点时需要尽可能地分散开来，可保持清晰和精准的定位结果，同时避免出现孤立区域。



(a) 50 个未知节点定位结果



(b) 100 个未知节点定位结果

图 6 定位结果(真实位置和计算位置)

3) 定位误差

在移动步长 r 一定的情况下，使用不同通信半径时，本文定位算法的定位精度分别如图 7(a)~图 7(f) 所示。从图 7 中可以看出，当通信半径为 10、15、20、25、30 和 35 m 时，平均定位精度值为 18.05%、11.59%、11.91%、10.61%、13.52% 和 17.17%。随着通信半径的增加平均定位精度并不是呈下降趋势，而是呈曲线方式变化，原因是当通信半径越大，覆盖区域越大，不同位置的未知节点接收到相同锚节点的信息，反而造成错误定位。

为了验证本文算法的性能，将定位区域中的移动锚节点换成相同数量的普通锚节点，随机播撒于定位区域中，采用基于质心的移动辅助定位算法，这里称为质心移动定位，在不同通信半径下与本文算法进行性能对比，如表 1 所示。

文献[24]中在非理想传输模式下凸定位算法的平均定位精度为 18.65%，本文定位算法在不同的通信半径下的平均定位精度都要优于文献[24]。文献[25]平均定位精度约为 10%~15%，与本文方法定位精度相近，但是文献[25]借助 9 个锚节点的 RSS 方法

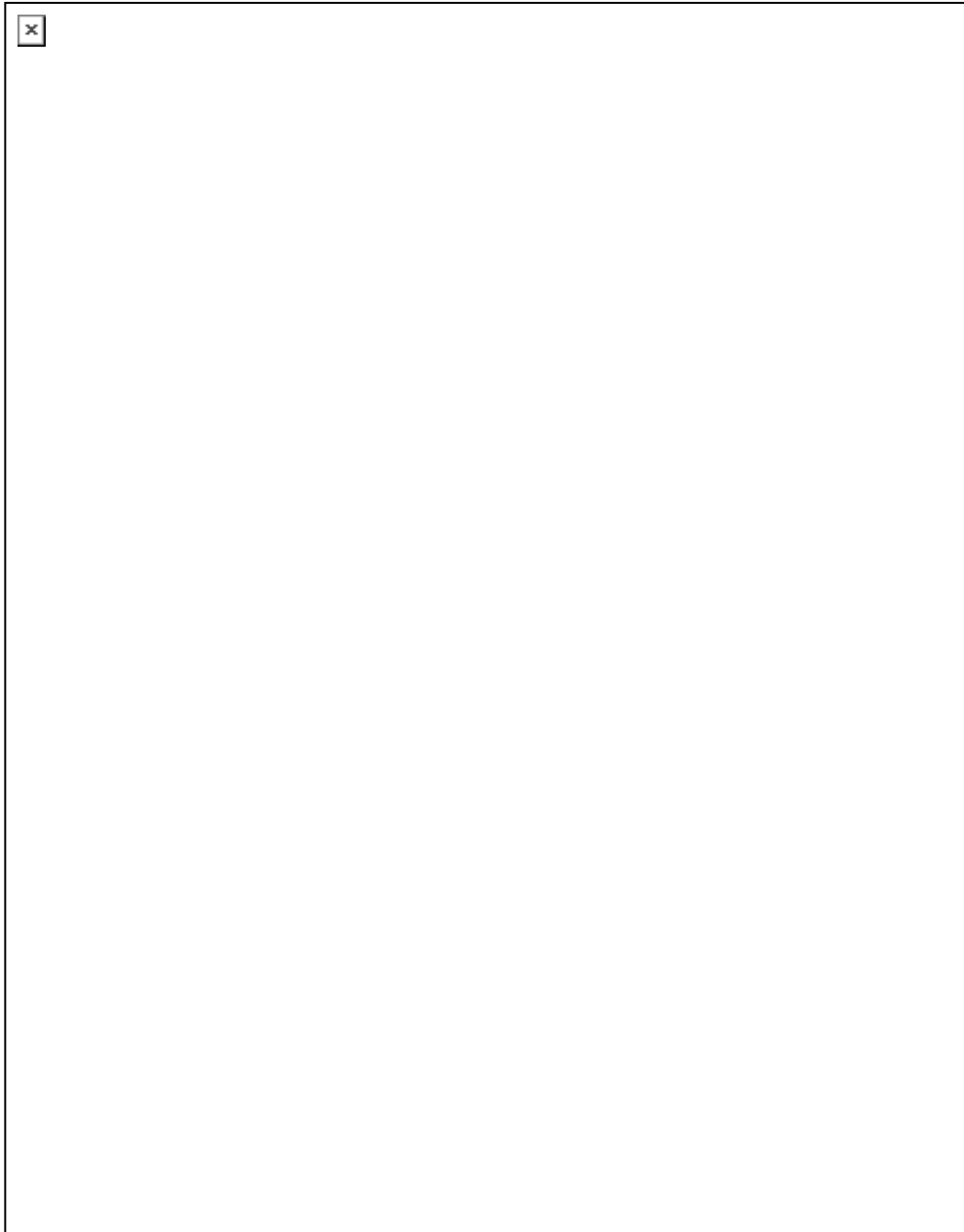


图 7 定位误差

表 1 质心移动定位与本文算法定位精度对比

定位方法	定位精度					
	R=10 m	R=15 m	R=20 m	R=25 m	R=30 m	R=35 m
质心移动定位	56.29%	31.86%	25.33%	22.8%	23.78%	27.03%
本文算法	18.05%	11.59%	11.91%	10.61%	13.52%	17.17%

实现定位,在实际应用中信号强度非常不稳定并且难以控制,定位成本也要高于本文的定位方法。

5 结束语

如何兼顾网络定位成本与定位精度是无线传感器网络中亟待解决的问题。因此,本文提出了一种基于移动锚节点辅助的粗粒度定位方法,使用移动锚节点在遍历网络部署区域过程中产生的虚拟锚节点代替固定锚节点,保证了定位精度的同时降低了定位成本,提高了锚节点的覆盖率。实验表明,本文采用的移动锚节点部署策略可以保证未知节点全部实现定位,并且具有更好的定位效果。

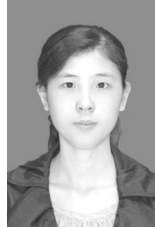
下一步,将重点研究网络拓扑对移动路径的影响,在保证定位精度的同时达到全网总体最优能量消耗。

参考文献:

- [1] 金培权,汪娜,张晓翔,等.面向室内空间的移动对象数据管理[J].计算机学报,2015,38(9):1777-1795.
JIN P Q, WANG N, ZHANG X X, et al. Moving object data management for indoor spaces[J]. Chinese Journal of Computers, 2015, 38(9): 1777-1795.
- [2] LIU Y, YANG Z, WANG X, Location, localization, and localizability[J]. Journal of Computer Science and Technology, 2010, 25(2): 274-297.
- [3] 夏娜,王诗良,郑榕,等.基于骨架提取的水下传感器网络刚性定位判别研究[J].计算机学报,2015,38(3):589-601.
XIA N, WANG S L, ZHENG R, et al. Study on localizability judgment in underwater sensor networks based on skeleton extraction and rigidity theory[J]. Chinese Journal of Computers, 2015, 38(3): 589-601.
- [4] 赵晓敏,张海洋,金言,等.信标节点漂移情况下的无线传感器网络节点定位机制[J].通信学报,2015,36(2):1-10.
ZHAO X M, ZHANG H Y, JIN Y, et al. Node localization scheme in wireless sensor networks under beacon drifting scenes[J]. Journal on Communications, 2015, 36(2):1-10.
- [5] 王福豹,史龙,任丰原.无线传感器网络中的自身定位系统和算法[J].软件学报,2005,16(5):857-868.
WANG F B, SHI L, REN F Y. Self-localization systems and algorithm for wireless sensor network[J]. Journal of Software, 2005, 16(5): 857-868.
- [6] ZHANG X M, DUAN Z G, TAO L. Localization algorithms based on a mobile anchor in wireless sensor networks[C]//The IEEE Conference on Computer Communication and Networks. 2014:1-6.
- [7] 崔焕庆,王英龙,郭强,等.多移动信标辅助的分布式节点定位方法[J].通信学报,2012,33(3):103-111.
CUI H Q, WANG Y L, GUO Q, et al. Multi-mobile-beacon assisted distributed node localization scheme[J]. Journal on Communications, 2012, 33(3):103-111.
- [8] JAVAD R, MARJAN M, ABDUL S I, et al. Superior path planning mechanism for mobile beacon-assisted localization in wireless sensor networks[J]. IEEE Sensors Journal, 2014, 14(9):3052-3064.
- [9] 王婷婷,柯炜,孙超.自适应环境变化的RSS室内定位方法[J].通信学报,2014,35(10):210-217.
WANG T T, KE W, SUN C. Environmental-adaptive RSS-based indoor localization[J]. Journal on Communications, 2015, 35(10):210-217.
- [10] 常俪琼,房鼎益,陈晓江,等.一种有效消除环境噪声的被动式目标定位方法[J].计算机学报,2016,39(5):1051-1066.
CHANG L Q, FANG D Y, CHEN X J, et al. A device-free passive localization method with the elimination of environmental noise[J]. Chinese Journal of Computers, 2016, 39(5): 1051-1066.
- [11] 钱志鸿,孙大洋,LEUNG V.无线网络定位综述[J].计算机学报,2016,39(6):1237-1256.
QIAN Z H, SUN D Y, LEUNG V. A survey on localization model in wireless sensor networks[J]. Chinese Journal of Computers, 2016, 39(6): 1237-1256.
- [12] 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,2008.
SUN L M, LI J Z, CHEN Y, et al. Wireless sensor networks[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2008.
- [13] ZHANG R B, ZHANG L L, FENG Y B. Very low energy consumption wireless sensor localization for danger environments with single sensor mobile anchor node[J]. Wireless Personal Communications, 2008, 47(4): 497-521.
- [14] 邓彬伟,黄光明.无线传感器网络移动节点辅助定位算法[J].仪器仪表学报,2011,32(3):563-570.
DENG B W, HUANG G M. Mobile-assisted localization algorithm for wireless sensor network[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2011, 32(3): 563-570.
- [15] OU C H. A localization scheme for wireless sensor networks using mobile anchors with directional antennas[J]. IEEE Sensors Journal, 2011, 11(7): 1607-1616.
- [16] 彭鑫,李仁发,王东,等.基于梯度搜索的移动协作定位算法[J].计算机学报,2014,37(2):480-488.
PENG X, LI R F, WANG D, et al. Cooperative localization using gradient search in mobile networks[J]. Chinese Journal of Computers, 2014, 37(2):480-488.
- [17] HE T, HUANG C D, BLUM B M. Range-free localization schemes in large scale sensor networks[C]//The 9th Annual Int Conference on Mobile Computing and Network. New York: ACM, 2003: 81-95.
- [18] KOUTSONILAS D, DAS S M, HU Y C. Path planning of mobile landmarks for localization in wireless sensor networks[J]. Computer Communication, 2007, 30(13):257-259.

- [19] MAJDOUB M, ELTAIEF H. A localization algorithm using a mobile beacon in wireless sensor networks[C]//The IEEE Conference on Computer & Information Technology. 2014:1-5.
- [20] WANG B, WU G, WANG S, et al. Localization based on adaptive regulated neighborhood distance for wireless sensor networks with a general radio propagation model[J].IEEE Sensors Journal, 2014, 14(11): 3754-3762.
- [21] LUO L Y, XU L P, ZHANG H. Improved centroid extraction algorithm for autonomous star sensor[J].IET Image Processing, 2015, 9(10): 901-907.
- [22] MARISHA S, NITIN M. An approach localize the blind node and optimizing parameters by using PSO[C]//2016 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCT), 2016: 1319-1323.
- [23] HOSSAIN M S, ATIQUZZAMAN M. Stochastic properties and application of city section mobility model[C]//Global Telecommunications Conference. Hawaii, USA, 2009:1-6.
- [24] 史清江, 何晨. 多功率移动锚节点辅助的分布式节点定位方法[J]. 通信学报, 2009, 30(10): 8-13.
- SHI Q J, HE C. Multi-power level mobile beacon assisted distributed node localization algorithm[J]. Journal on Communications, 2009, 30(10): 8-13.
- [25] 张正勇, 孙智, 王刚, 等. 基于移动锚节点的无线传感器网络节点定位[J]. 清华大学学报, 2007, 47(4): 534-537.
- ZHANG Z Y, SUN Z, WANG G, et al. Localization in wireless sensor networks with mobile anchor nodes[J]. Journal of Tsinghua University, 2007, 47(4): 534-537.

作者简介:



刘影(1983-), 女, 吉林大安人, 博士, 辽宁工程技术大学讲师, 主要研究方向为无线传感器网络、Wi-Fi 定位等。



钱志鸿(1957-), 男, 吉林长春人, 吉林大学教授、博士生导师, 主要研究方向为基于物联网、D2D、Wi-Fi、RFID 等的无线网络与通信技术。