

# 基于蜂窝网格锚点的虚拟力导向节点部署算法

钱开国<sup>1</sup>, 王伟<sup>2</sup>, 申时凯<sup>3,4</sup>, 戴祖诚<sup>1</sup>

(1. 昆明学院 物理科学与技术系, 昆明 650214; 2. 北京航天测控技术有限公司, 北京 100041;

3. 昆明学院 信息技术学院, 昆明 650214; 4. 函馆未来大学, 日本 函馆 000000)

**摘要:** 为满足覆盖需求, 提出了一种基于蜂窝网格锚点的虚拟力导向节点再部署覆盖增强算法; 算法基于传感器节点覆盖圆盘与其邻居节点覆盖圆盘的交点构成正六边形蜂窝时, 有效覆盖面积最大理论, 设置对随机部署的节点虚拟引力锚点作为虚拟力导向移动的目标, 建立锚点对节点的虚拟引力, 建立节点之间虚拟斥力来避免节点移动中的碰撞问题; 完成随机播撒的节点在虚拟力的作用下的再部署, 提高覆盖率, 保证覆盖质量; Matlab R2012a 仿真实验中, 随机部署不同数量的节点, 网络覆盖率均较快达到 95% 以上, 满足覆盖需求。

**关键词:** 无线传感器网络; 蜂窝网格锚点; 虚拟力; 节点部署

## Virtual Force Oriented Node Deploying Algorithm Research in Sensor Network Based on Regular Hexagon Anchor

Qian Kaiguo<sup>1</sup>, Wang Wei<sup>2</sup>, Shen Shikai<sup>2,3</sup>, Dai Zucheng<sup>1</sup>

(1. Department of Physics Science and Technology, Kunming University, Kunming 650214, China; 2. Beijing Aerospace Measurement & Control Technology Co., Ltd, Beijing 100041, China; 3. School of Information Technology, Kunming University, Kunming 650214, China; 4. Future University—Hakodate)

**Abstract:** A virtual force oriented node deploying algorithm is proposed to improve problem which the randomly nodes deployed in wireless sensor network coverage exists blind area. It derives from the principle that the whole coverage rate is biggest while intersection of node and neighbors disc form hexagonal grid. Virtual anchors are set to establish virtual force for node, combining virtual repulsion between nodes. Under the action of virtual force, the node moves to anchors to improve coverage. simulation experiments show that the new algorithm improves coverage efficiency.

**Key words:** wireless sensor network; hexagonal grid anchor; virtual force; node deployment

## 0 引言

覆盖控制<sup>[1]</sup>是线传感器网络应用的一个基本问题, 决定着网络组网成本、拓扑控制、路由协议设计和网络覆盖率等。通常有 2 种传感器节点部署策略: 确定性部署和随机部署, 在复杂多变和工作人员难以达到的场合, 一般采用随机部署, 为了提高网络的覆盖率, 须投放多于实际需要的传感器节点数量, 导致监测区域出现大量的冗余节点, 形成覆盖重叠, 增加了建网成本。随着微电子技术的发展, 出现了成本低廉、可移动的传感器网络节点<sup>[2-3]</sup>。可借助节点的移动能力, 在随机播撒后控制节点的移动、实现传感器网络的再部署来满足网络的覆盖需求。有效控制传感器网络节点自行移动的机制是引入虚拟力导向控制节点移动<sup>[4-6]</sup>, 算法思想是节点在虚拟力的作用下移动完成再部署, 节点受到其他节点的作用力, 任务区域障碍物

的斥力的合力作用下移动, 合力为零时停止移动。有效提高了网络的覆盖效率, 但节点没有移动目标。文献 [7-8] 提出用粒子群优化改进虚拟力算法。文献 [9] 提出了一种节能的虚拟力优化算法。文献 [10] 结合目标区域网格划分和虚拟力算法, 对移动传感器网络的节点优化部署进行研究, 引入移动目的地对移动节点的引力作用, 改进虚拟力模型, 提高了网络的部署效率。文献 [11-12] 是较近期的有关虚拟力算法在移动传感器网络节点中的改进机制。此类虚拟力导向的算法没有明确的节点移动目标, 为了计算虚拟力, 需要随时获取网络覆盖的临时全局信息, 往往需要进行大量通信作为代价。为此, 本文从满足最大覆盖率要求, 从理论上分析最大化覆盖时传感器节点的分布状况, 据此对任务区域划分覆盖网格, 设置虚拟锚点, 来控制节点的移动目标, 建立虚拟力模型, 让随机播撒的传感器网络节点在虚拟力的导向下, 尽可能向虚拟锚点位置移动。为了避免在移动过程中形成节点碰撞, 引入节点间的作用力, 当节点距离小于阈值距离时, 节点间就表现为斥力, 使节点相互向远离的方向移动。完成随机部署后的计划性部署, 提高覆盖率。

## 1 基于锚点的虚拟力导向算法

### 1.1 理论原理

满足全覆盖的条件时, 任务区域内传感器节点的覆盖圆盘的交线构成正六边形, 即蜂窝网格拓扑覆盖时, 所需的覆盖节点数

收稿日期: 2013-08-21; 修回日期: 2013-10-20。

基金项目: 云南省自然科学基金项目(2011FZ176); 云南省教育厅科学研究基金项目(2011Y238)。

作者简介: 钱开国(1979-), 男, 云南丽江人, 副教授, 硕士, 主要从事无线传感器网络方向的研究。

戴祖诚(1958-), 男, 江西鄱阳人, 教授, 主要从事程序设计方向的研究。

申时凯(1964-), 男, 云南昭通人, 教授, 主要从事物联网方向的研究。

最少。为了使随机部署方式中采用较少的传感器节点覆盖整个任务区域，而不需要播撒冗余节点。首先将任务区域划分为正六边形的虚拟网格，将每个网格的中心设置为虚拟锚点。随机播撒的传感器节点受虚拟锚点的吸引力，从而向锚点位置移动。在移动过程中，为了避免多个传感器节点向同一个锚点运动，建立了传感器节点间的相互斥力。同时节点受到任务区域边界的斥力，防止节点移动到任务区域外。让随机播撒的传感器节点在虚拟力的导向下向虚拟锚点处移动，完成网络的再部署。

1.2 虚拟锚点建立

把无线传感器网络任务区域划分成如图 1 所示

的由正六边形构成的网格。假设监测区域为  $M * N$ ，正六边形的边长等于传感器节点的感知半径  $r$ ，

$$k \frac{3\sqrt{3}}{2} r^2 = M * N \quad (1)$$

则所需的网格数  $k$  由公式 1 计算。然后确定每个锚点的位置信息。

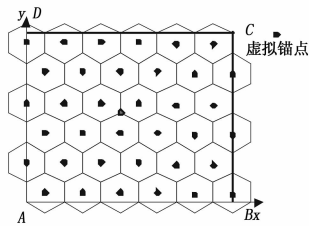


图 1 任务区域的蜂窝网格及虚拟锚点

1.3 虚拟力模型

借鉴物理学中的质点间的作用力（万有引力）建立传感器节点和锚点之间的虚拟引力，建立传感器节点  $s_i$  和锚点  $q_j$  的虚拟引力模型，考虑到随机部署后进行再部署，为了避免传感器节点长距离的移动，锚点  $j$  和节点  $i$  的距离大于距离  $d_{min}$  和小于距离  $d_{max}$  方产生虚拟引力。引力模型如公式 (2) 所示：

$$F(s_i, q_j) = \begin{cases} \frac{K m_{s_i} m_{q_j}}{disk(s_i, q_j)^\alpha}, & \text{if } d_{min} \leq disk(s_i, q_j) \leq d_{max} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

实验中，取  $K=1$ ，传感器节点质量  $m_{s_i} = 1$  和虚拟锚点质量  $m_{q_j} = 1$ ， $\alpha = 1$ ，在两个坐标轴方向上作归一化处理。传感器节点  $S$  受到的锚点虚拟合力如公式 (3)：

$$F = \sum_{j=1} F(s_i, q_j) \quad (3)$$

为了避免传感器节点向同一个虚拟锚点移动，建立传感器节点之间的虚拟斥力，如公式 (4) 所示：

$$F(s_i, s_j) = \begin{cases} \frac{K m_i m_j}{d(i, j)^\alpha}, & \text{if } disk(s_i, s_j) \leq d_h \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

实验中，取  $K=1$ ， $m_i = 1$ ， $m_j = 1$ ， $\alpha = 1$ ， $d(i, j)$  在两个坐标轴方向上作归一化处理， $d_h = \sqrt{3}r$ ，传感器节点  $S_i$  受到其他节点的虚拟合力如公式 (5) 所示：

$$F = \sum_{j=1, j \neq i}^N F(s_i, q_j) \quad (5)$$

1.4 节点移动位置更新

传感器节点在锚点的作用下移动，进行位置更新，位置更新关系<sup>[10]</sup>如公式 (6) 所示。

$$\begin{cases} x'_i = x_i + F_{ix} / F_i * step\_anchor * e^{1/F_{ix}} \\ y'_i = y_i + F_{iy} / F_i * step\_anchor * e^{1/F_{iy}} \end{cases} \quad (6)$$

传感器节点在其他传感器斥力作用下发生移动，移动位置更新关系如公式 (7) 所示。

$$\begin{cases} x'_i = x_i + F_{isx} / F_{is} * step\_sensor * e^{1/F_{isx}} \\ y'_i = y_i + F_{isy} / F_{is} * step\_sensor * e^{1/F_{isy}} \end{cases} \quad (7)$$

在式 (6)、(7) 中， $F_i$  为作用于节点  $S_i$  的合力， $F_{ix}$ 、 $F_{iy}$  分别是该合力在  $x$  轴和  $y$  轴上的虚拟锚点虚拟引分力。 $F_{is}$  是节点  $S_i$  受到其他节点的虚拟斥力， $F_{isx} / F_{isy}$  是该合力在  $x$  轴和  $y$  轴方向上的虚拟斥分力。 $step\_anchor$  是节点在锚点虚拟力下移动的步长值， $step\_sensor$  为节点在传感器节点作用下的步长值。

1.5 算法描述

基于锚点的虚拟力导向传感器网络节点部署算法描述如下：

Step1: 根据公式 (1) 计算所需的虚拟锚点数，计算锚点位置坐标信息，并结合覆盖率要求确定所需传感器节点数量  $N$ 。

Step2: 初始化网络，随机播撒传感器节点，获取节点位置坐标，确定感知半径，通信半径，节点移动步长，迭代变量和记录迭代次数和最大迭代次数。

Step3: 计算覆盖率，是否满足要求，满足要求转 Step8，不满足要求转 Step4。

Step4: 根据节点和虚拟锚点间的虚拟引力公式 (2)，计算传感器节点所受到的虚拟引力。

Step5: 根据节点间的作用力公式 (4) 计算节点受到的虚拟斥力。

Step6: 根据移动位置更新公式 (6)、(7)，在节点受力导向下更新节点位置坐标，转 Step3。

Step7: 迭代间隔时间到时，保存节点的位置信息，绘制节点覆盖状况。

Step8: 退出。

2 仿真性能分析

在 Matlab R2012a 中，在  $1000 * 1000$  的任务区域，采用该算法进行仿真实验，传感器的感知距离  $r$  设为 90。在锚点作用下的移动步长值为 5.5，在传感器节点作用下的移动步长为 7.5，设置迭代为 100 轮。

在任务区域内部署不同数量的传感器节点，随机部署和基于锚点的虚拟力导向算法的覆盖率对比结果如图 2 所示，基于锚点的虚拟力算法有效地提高了随机部署后对任务区域的覆盖率，在 50 个节点时，提高到 90%，60 个节点时提高到 99%，几乎完成全覆盖。说明基于锚点的虚拟力导向算法经过迭代重部署后极大提高了网络的覆盖率，证明该算法的有效性。

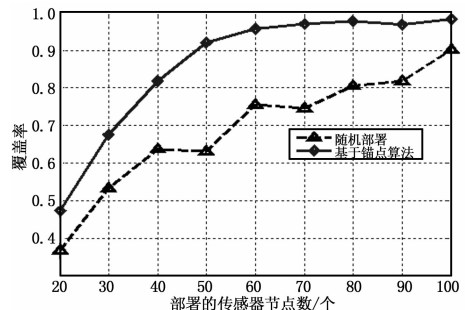


图 2 不同节点数的覆盖率

1) 算法运行迭代试验: 设置基于锚点的虚拟力导向的算法运行迭代轮次为 100 轮, 记录下初始随机部署时, 运行至 50 轮, 100 轮传感器节点位置分布迭代过程如图 3~图 5 所示, 从图中可以看出, 在锚点的虚拟力作用下, 传感器节点在向着锚点位置逼近, 但其所受虚拟力并非个别的锚点, 而是在一点范围内多个锚点的引力以及其他节点个斥力作用下的运动, 因此, 传感器节点并不是简单地移动到锚点位置。当算法运行到 50 轮以后, 节点的受力基本达到平衡, 网络覆盖率达到 98.42%。节点几乎均匀分布到任务区域。

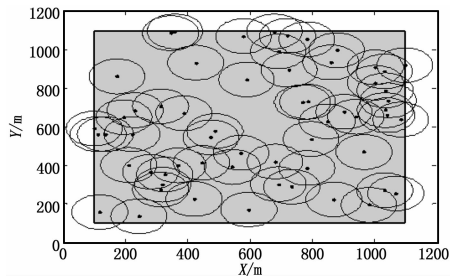


图 3 初始随机部署  $t=0$  时, 传感器节点的分布

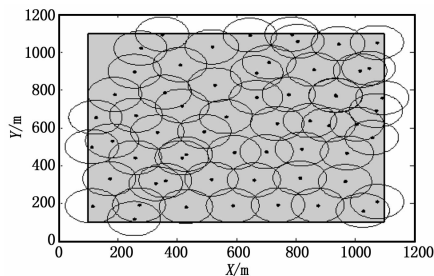


图 4  $t=50$  时, 传感器节点分布

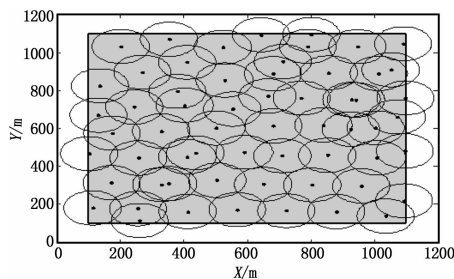


图 5  $t=100$  时, 传感器节点分布

2) 算法的覆盖率试验: 基于蜂窝网络覆盖原理, 在  $1000 \times 1000$  的任务区域需要 60 个节点能够完成整个网络的全覆盖。实验中检验不同节点数对于网络覆盖率的影响。分别将节点数设置成少于覆盖要求的 50 个节点最佳节点数的 60 个节点和多于最佳节点数的 70 个节点, 其覆盖率仿真实验如图 6 所示。可以看出, 基于锚点的虚拟力算法在最佳的部署节点数时, 收敛速度较快, 在较短的迭代时间 25 轮内覆盖率就能达到 95% 以上; 另一方面, 并不是随机播撒的节点数越多, 覆盖率越高。因此, 只要按公式 (7) 计算出, 最佳覆盖节点的, 就没有必要为了提高覆盖率而播撒更多的节点。

### 3 结论

本文针对如何进行灵活的传感器网络节点部署问题开展研

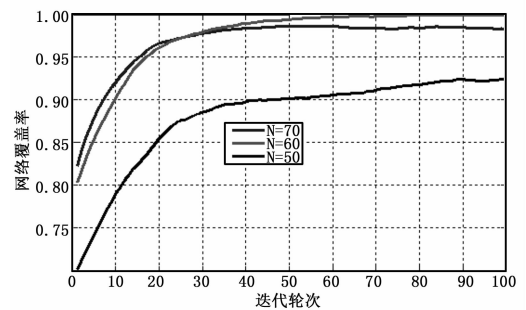


图 6 算法的随仿真轮次的覆盖率

究, 将节点分布呈理想的蜂窝网络覆盖的最大化覆盖理论引入到传感器网络的节点部署问题中, 在整个任务区域内建立蜂窝网络虚拟锚点, 建立虚拟锚点对传感器网络节点的虚拟作用力和节点间的虚拟作用力, 节点这些力的作用下移动, 从而完成传感器网络节点随机部署的再部署。仿真实验说明了基于锚点的虚拟力导向算法收敛时间较快, 在较少的迭代时间部署后, 就能达到较好的覆盖率。

### 参考文献:

- [1] 何中胜, 朱宇光, 庄燕滨. 无线传感器网络中覆盖控制技术综述 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (7): 1737-1749.
- [2] Bang W, Hock B L, Di M. A survey of movement strategies for improving network coverage in wireless sensor networks [J]. Computer Communications, 2009, 32 (13): 1427-1436.
- [3] Liu B, Brass P, Dousse O, et al. Mobility Improves Coverage of Sensor Networks [A]. Proceedings of the 6th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing. Urbana-Champaign, USA [C]. USA: ACM, 2005: 300-308.
- [4] Zou Y, Chakrabarty K. Sensor Deployment and Target Localization Based on Virtual Forces [A]. Proceedings of the IEEE INFOCOM, San Francisco, USA, 2003 [C]. USA: IEEE, 2003: 1293-1303.
- [5] 周 彤, 洪 炳, 朴松昊. 基于虚拟力的混合感知网节点部署 [J]. 计算机研究与发展, 2007, 44 (6): 965-972.
- [6] 周浦城, 崔逊学, 王书敏, 等. 基于虚拟力的无线传感器网络覆盖增强算法 [J]. 系统仿真学报, 2009, 3 (5): 1416-1419.
- [7] 王 雪, 王 晟, 马俊杰. 无线传感网络布局的虚拟力导向微粒群优化策略 [J]. 电子学报, 2007, 35 (11): 2038-2042.
- [8] 张云亚, 纪志成. 虚拟力导向多粒子群算法的部署策略 [J]. 江南大学学报, 2012, 8 (11): 428-431.
- [9] 田一鸣, 陆 阳, 魏 臻, 等. 无线传感器网络虚拟力覆盖控制及节能优化研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 11 (23): 65-71.
- [10] 李 贤, 何启丽, 唐秋玲, 等. 一种基于网格划分的虚拟力部署算法的研究 [J]. 广西大学学报: 自然科学版, 2012, 12 (37): 1164-1169.
- [11] Aitsaadi N, Achir N, Boussetta K. Potential Field Approach to Ensure Connectivity and Differentiated Detection in WSN Deployment [A]. IEEE international Conference on Communication 2009 [C]. Paris, Franch, IEEE Press, 2009: 1-6.
- [12] Tan L, Yu C, Yang M. Self-Deployment Algorithm of Mobile Sensor Network Based on uniform Density Cluster [A]. WiCom 2010, Chengdu [C]. IEEE Press, 2010: 1-4.