

异构传感器网络虚拟网格移动算法

关志艳,冯秀芳

(太原理工大学 计算机与软件学院, 山西 太原 030024)

摘 要: 通过把复杂问题逐步简化,分析了同构传感器网络的菱形网格和正方形网格划分方法,从拓补学角度提出了异构正六边形网格和异构正方形网格划分方法,并且计算采用两种网格方法实现无缝完全覆盖所需的最少节点数量,得到正方形网格更有优势.最后利用虚拟力算法,提出异构虚拟正方形网格移动算法,仿真实验证明了算法的有效性.

关键词: 异构传感器网络;正六边形网格;正方形网格;虚拟力

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)03-0063-04

Virtual Grid Moving Algorithm for Non-isomorphic Sensor Network

GUAN Zhi-yan, FENG Xiu-fang

(School of Computer and Software, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: By simplifying the complex issues, we analyses the division methods of rhomb grid and square grid in isomorphic networks. This paper proposes the division methods of heterometrous regular hexagon grid and heterometrous square grid, from the viewpoints of topology calculates the least number of nodes which are required to realize the seamless complete coverage using two grid direction method. The square grid has the superiority. Last, we point out heterometrous virtual square grid moving algorithm. Simulations prove the efficiency of the algorithm.

Key words: non-isomorphic sensor nentworks; regular hexagon grid; square grid; virtual force

1 引言

覆盖问题是无线传感器网络中需要解决的几个基本问题之一.传感器网络应用非常广泛,一般来说,覆盖可以认为是衡量一个传感器网络质量的标准^[1].

传感器节点布置有三种方式:随机分布、确定分布和自组织分布.随机分布存在的不确定性太大,覆盖效果也得不到保证,最近一些学者提出了源于势场的虚拟力方法,基本思想是把在此指导思想下,结合虚拟力算法,提出异构传感器网络虚拟正方形网格移动算法,并传统的虚拟力算法进行比较,实验结果显示了该算法的优越性.网络中每个节点看作

一个虚拟的电荷,各节点受到其他节点的虚拟引力或斥力作用,节点之间既吸引又排斥从而扩散监测面积,最终达到平衡状态^[2-3].

异构节点覆盖是指参与覆盖的节点的电源能量、感知范围、通信范围、移动能力、计算能力和存储能力等各不相同,或者某几个方面不同,这样会对于提高网络服务质量和延长网络使用寿命带来一定的优势,但是对于这些异构节点的部署,性能优化也增加了一定的难度.

文中对于一个给定的探测区域,鉴于同构网络网格划分方法,提出了两种异构网络网格划分方法,比较这两种划分方法,得到更有优势的异构正方形网格划分方法^[4].

收稿日期: 2009-02-20; 修回日期: 2009-04-20

基金项目: 山西省自然科学基金资助项目(2008011040);山西省回国留学人员科研资助项目(2007-27);太原科技项目(08122018)

2 传统的同构传感器网络网格划分方法

2.1 覆盖效率

覆盖效率(coverage efficient)用来衡量节点覆盖范围的利用率,一方面反映覆盖情况,另一方面反映整个网络的能量消耗情况.定义为区域中所有节点的有效覆盖范围的并集与所有节点覆盖范围之和的比值^[5].

$$CE = \frac{\bigcup_{i=1,2,\dots,n} A_i}{\sum_{i=1,2,\dots,n} A_i} \quad (1)$$

2.2 同构网络区域网格划分方法

在传感器监测区域内,在节点半径有限的情况下,用最少的节点数实现给定区域完全无缝覆盖,使该区域内的每个节点所能覆盖的有效区域面积最大化,尽量减少辐射圆之间的重叠部分.传统的网格划分都是针对同构传感器网络,假设监测区域 $L \times S$ 内的所有传感器节点的覆盖范围都是一个半径为 r 的圆形区域,且覆盖问题涵盖连通问题,主要有两种网格划分方法,一种是虚拟菱形网格划分方法,另一种是虚拟正方形网格划分方法^[6-7].

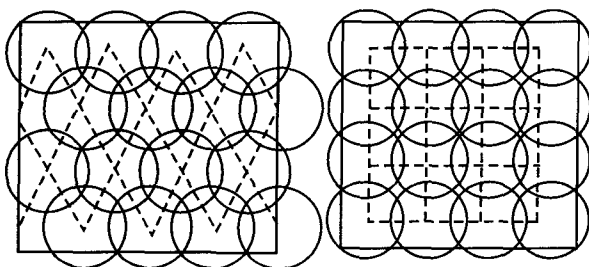
上述两种方法都实现了网络的无缝覆盖,图 1(a)所示为菱形网格划分方法,每个传感器节点位于菱形的顶点,可知此时菱形边长是 $\sqrt{3}r$,此时

$$\begin{aligned} CE_{\text{菱}} &= \frac{S_{\text{菱}}}{\left(2 \times \frac{1}{3} + 2 \times \frac{1}{6}\right) S_{\text{圆}}} \\ &= \frac{\sqrt{3}r \times \sqrt{3}r \times \sin 60^\circ}{\pi r^2} \\ &= 0.827, \end{aligned}$$

实现完全无缝覆盖所需的最少节点数为

$$N_{\text{菱}} = \frac{L \times S}{S_{\text{菱}}} = \left\lceil \frac{L \times S}{3\sqrt{3}r^2/2} \right\rceil.$$

图 1(b)所示为正方形网格划分方法,每个传感器节点位于正方形的顶点,可知此时正方形边长是 $\sqrt{2}r$,此时



(a) 菱形网格

(b) 正方形网格

图 1 同构网络网格划分方法

$$CE_{\text{正}} = \frac{S_{\text{正}}}{4 \times \frac{1}{4} S_{\text{圆}}} = \frac{\sqrt{2}r \times \sqrt{2}r}{\pi r^2} = 0.637,$$

实现完全无缝覆盖所需的最少节点数为

$$N_{\text{正}} = \frac{L \times S}{S_{\text{正}}} = \left\lceil \frac{L \times S}{2r^2} \right\rceil.$$

通过比较可知,无论是从覆盖效率($CE_{\text{菱}} > CE_{\text{正}}$)还是最少节点数量($N_{\text{菱}} < N_{\text{正}}$),都可以看出菱形网格的优势.

3 异构网络区域网格划分方法

研究异构网络网格划分方法,需要作以下必要假设:

- ① 每个节点的覆盖范围是一个半径为 r 的圆形区域 $D = \pi r^2$.
- ② 监测区域有两种类型的传感器节点,探测半径分别为 R_{S1} 、 R_{S2} ,且 $R_{S1} > R_{S2}$.
- ③ 探测区域内所有节点都在同一个平面内,节点的初始布置是随机的.
- ④ 所有节点可获取自身位置,且有一定的移动能力.

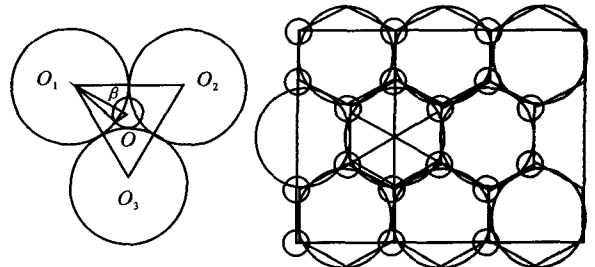
- ⑤ 假设所有节点通讯半径大于 2 倍的探测半径,那么覆盖问题会涵盖连通问题.

3.1 异构正六边形网格划分

鉴于同构网络菱形网格划分方法的分析,三圆交于一点达到最佳分布,当把三圆向外扩散,这时中间空白部分用另一个半径圆来覆盖,如图 2(a)所示,文献[5]中描述过这种覆盖情况,并且证明 R_{S1}

$$= \sqrt{31}R_{S2} \text{ 时达到最大 } CE_1 = \frac{S_{\text{三}}}{3 \times \frac{1}{6} S_{\text{大圆}} + S_{\text{小圆}}}$$

$= 0.903$.如图 2(b)所示,把圆与圆相交部分简化,用线段代替圆的相交部分,即用正六边形代替大半径圆,而正六边形的各个顶点代替小半径圆,这样监测区域相当于是被正六边形覆盖,这种情况称之为异构网络正六边形网格划分.



(a) 异构节点分布

(b) 异构网络正六边形分布

图 2 异构网络正六边形网格划分

下面计算监测区域采用正六边形网格划分实现完全无缝覆盖所需的最少的节点数量. 在监测区域 $L \times S$ 内, 设 $R_{S1} = r, R_{S2} = kr, k = 1/\sqrt{31}$, 从图2可以看出, 一个正六边形由一个大半径圆和6个小半径圆的 $1/3$ 组成(即2个小半径圆), 所以大小半径圆的数目比例为 $1:2$, 监测区域被多少个正六边形组成, 就由多少个大半径圆组成, 而小半径圆的数量是大半径圆的二倍.

$$\alpha = \frac{\pi}{3}, \beta = \arcsin\left[\frac{\sqrt{3}k}{2}\right]$$

$$|OO_1| = kr \cos 60^\circ + r \cos \beta = \frac{r}{2}(\sqrt{4-3k^2} + k)$$

$$N_{\text{异六}} = \frac{L \times S}{S_{\text{六}}} = \frac{L \times S}{6S_{\Delta}} =$$

$$\left\lceil \frac{(L \times S) / \frac{3\sqrt{3}r^2}{4}(2-k^2+k\sqrt{4-3k^2})}{4} \right\rceil$$

且 $k = 1/\sqrt{31}$, 化简得

$$N_{\text{异六}} = \frac{L \times S}{3.017r^2} \quad (2)$$

式中, $S_{\text{六}}$ 为正六边形面积, S_{Δ} 为正三角形面积.

$N_{\text{异六}}$ 为大半径圆的个数, 那么小半径圆的数量为 $M_{\text{异六}} = 2N_{\text{异六}}$.

3.2 异构网络正方形网格划分

鉴于同构网络正方形网格划分方法的分析, 四圆交于一点达到最佳分布, 当把四圆向外扩散, 这时中间空白部分用另一个半径圆来覆盖, 如图3所示, 文献[5]中描述过这种覆盖情况, 并且证明 $R_{S1} = \sqrt{5}R_{S2}$ 时达到最大 $CE_2 = \frac{S_{\text{四}}}{4 \times \frac{1}{4}S_{\text{小圆}} + S_{\text{大圆}}} =$

0.849. 如图3所示, 用正四边形代替大半径圆, 而正四边形的各个顶点代替小半径圆, 这样监测区域相当于是被正四边形覆盖, 这种情况称之为异构网络

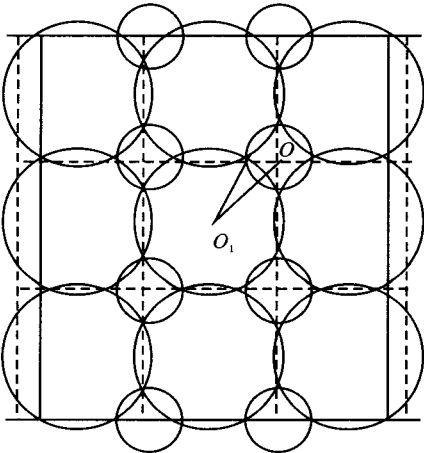


图3 异构网络正方形网格划分

正四边形网格划分.

下面计算监测区域采用正四边形网格划分实现完全无缝覆盖所需的最少的节点数量. 在 $L \times S$ 监测区域内, 设 $R_{S1} = r, R_{S2} = kr, k = 1/\sqrt{5}$ 从图3可以看出, 一个正四边形由一个大半径圆和4个小半径圆的 $1/4$ 组成(即1个小半径圆), 所以大小半径圆的数目比例为 $1:1$. 同理有

$$|OO_1| = \frac{\sqrt{2}r}{2}(\sqrt{2-k^2} + k) \quad (3)$$

$$N_{\text{异四}} = \frac{L \times S}{S_{\text{四}}} =$$

$$\left\lceil \frac{(L \times S) / r^2 2 + 2k\sqrt{2-k^2}}{3.2r^2} \right\rceil \text{ 且 } k = 1/\sqrt{5}, \text{ 有}$$

$$N_{\text{异四}} = \frac{L \times S}{3.2r^2} \quad (4)$$

式中, $N_{\text{异四}}$ 为大圆的个数, 则小圆为 $M_{\text{异四}} = N_{\text{异四}}$

经过分析正四边形网格划分与异构正四边形网格划分, 可以得知 $CE_1 > CE_2$, 但是式(2)与式(4)可以明显看出, $N_{\text{异六}} > N_{\text{异四}}$, 且 $M_{\text{异六}} = 2N_{\text{异六}}$, $M_{\text{异四}} = N_{\text{异四}}$, 这样当覆盖相同的监测区域时, 异构正四边形网格划分方法所需的最小节点数量明显比异构正六边形网格划分方法所需的最小节点数量要少, 异构正四边形网格划分方法的优势更大^[6-7].

3.3 虚拟异构正四边形网格移动算法

3.3.1 算法描述

对于给定的监测区域, 给定的符合异构正四边形网格的传感器节点比例关系 $R_{S1} = \sqrt{5}R_{S2}$, 可以计算出要完全无缝覆盖该监测区域需要的最少节点数量, 把这些一定数量的节点随机放置在该监测区域, 之后在每个节点上应用虚拟力算法原理, 节点之间通过引力、斥力相互作用, 达到最佳位置.

虚拟力算法采用距离阈值 d_{th} 调整传感器节点间相互作用力的属性. F_{ij} 与距离 D_{ij} 之间的关系如下式^[5]:

$$F_{ij} = \begin{cases} (w_A(D_{ij} - d_{th}), \alpha_{ij}), & \text{if } d_{th} < D_{ij} < 1.5d_{th} \\ (w_R(\frac{1}{D_{ij}} - \frac{1}{d_{th}}), \alpha_{ij} + \pi), & \text{if } D_{ij} < d_{th} \\ 0, & \text{if otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

式中, α_{ij} 为传感器节点 S_i 到 S_j 的方位角; w_A 与 w_R 分别表示虚拟力的引力系数和斥力系数, 用于调节虚拟力算法布局优化后传感器节点的疏密程度.

依据异构正方形网格两种类型节点半径的比例关系, 以及节点之间的距离关系, 给虚拟力算法提供

最佳的距离阈值,但是不同于同构网络,异构网络存在不同类型节点的作用力.在用异构四边形网格划分方法覆盖的监测区域需要考虑三种情况:两个节点都为大半径圆;两个节点都为小半径圆;两个节点是半径不同的圆.该算法是一个分布式算法,作用于每一个节点上.

3.3.2 算法流程

算法流程如图 4 所示.

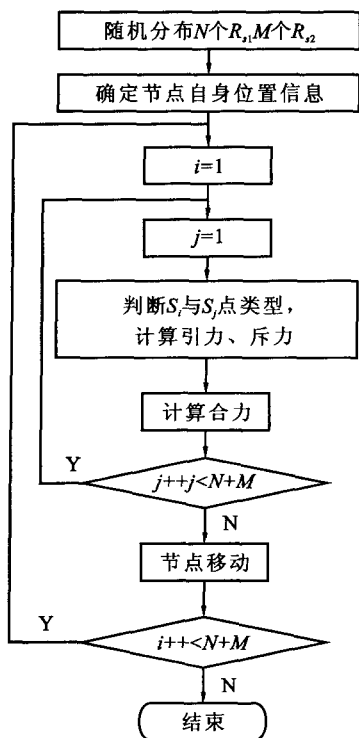


图 4 程序流程图

4 算法仿真与性能分析

假设 30×30 的监测区域中布置两类传感器节点,其中一类传感器节点感知半径为 $R_{S1} = 4$,另一类传感器节点的感知半径为 $R_{S2} = R_{S1}/\sqrt{5} = 1.8$,利用公式 $N_{\text{异四}} = L \times S / 3.2r^2$ 可以计算出,在理论上可以完全覆盖测量区域的 $R_{S1} = 4$ 节点的最小节点数目为 $N = 9$,又因为 $M_{\text{异四}} = N_{\text{异四}}$ 那么 $R_{S2} = 1.8$ 节点数目为 $M = 18$.按照节点数量能否完全覆盖监测区域将实际应用分类,分为节点部分覆盖($N = M = 10$)和节点完全覆盖($N = M = 18$).

① $w_{A1} = 1.2, w_{R1} = 12$,根据式(3)可以计算得 $d_{th1} = 2 \sin 45^\circ \mid OO_1 \mid = 7.16$

② $w_{A2} = 0.4, w_{R2} = 4, d_{th2} = \mid OO_1 \mid = 5.06$

③ $w_{A3} = 0.2, w_{R3} = 2, d_{th3} = d_{th1}$

从图 5 可以看出,无论是节点部分覆盖情况还

是节点完全覆盖情况,经过异构正方形网格移动算法,节点的分布都均匀了很多,而且可以看出半径 1.8 的节点在逐渐向半径为 4 的节点的交叉点移动,说明半径小的节点在补缺由于半径大的节点在最大化覆盖时中间留有的空隙,这样就恰巧可以发挥小半径节点的作用.但是也不难看出,监测区域内依旧存在盲区,对于在初始随机分布无法达到的边缘地带,经过异构正方形网格移动算法优化后,盲区并没有消失,这是虚拟力算法的缺陷,如何有效消除盲区是以后工作要考虑的.

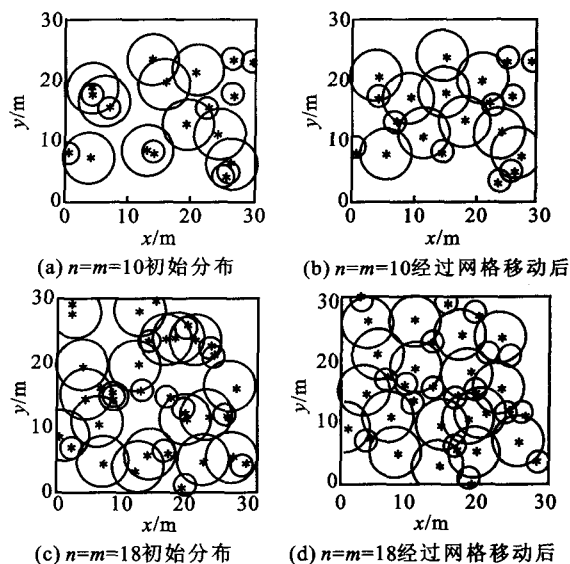


图 5 节点分布

5 结束语

通过分析同构网络网格划分方法,提出了异构正六边形网格划分和异构正方形网格划分,分析了两种划分方法的优劣,最后得到异构正方形网格的优势更大.最后将虚拟力算法原理与异构正方形网格相结合提出虚拟异构正方形网格移动算法,并用仿真验证了算法的有效性.但是在算法的实现过程中,对于参数的选取,如虚拟力系数,还有距离的作用范围等,都是靠实验过程的经验来判断,如何选取最佳参数将是后续重点工作.

参考文献:

- [1] 李德识,李薇. 无线传感器网络中覆盖问题的研究[J]. 微电子学与计算机, 2005, 22(9): 150-152.
- [2] Howard A, Mataric M J, Sukhatme G S. Mobile sensor network deployment using potentialfield: a distributed scalable solution to the area coverage problem[C]// The 6th Int'l Symp. on Distributed Autonomous Robotics Systems (DARS02). Japan, 2002.

(下转第 70 页)

真过程中取空隙的大小是同步消息的 $2/3$ 倍. 那么, 在一个基本周期内可以传输 20 个周期消息和 2 个非周期消息, 则基本周期中传输周期性信号需要的时间为 1.46ms , 空隙大小为 0.042ms , 剩余的 0.498ms 分配为异步相用来调度非周期性消息信号, 可传输 $0.498/0.209 \approx 2$ 个消息. 对基本周期消息进行编号: 其中 S_0 为同步消息即参考帧, $S_1 - S_3$ 为周期 2ms 的周期消息, $S_4 - S_8$ 为周期是 4ms 的周期消息, $S_9 - S_{12}$ 为周期是 6ms 的周期消息. 可得初始系统矩阵周期公式如式(5)所示, 以及优化后的系统矩阵周期, 如式(6)所示.

$$S_T = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 4 & 10 & 3 & 5 & 8 & 9 & 12 & 1 & 6 & 7 & 11 & -1 \\ 0 & 2 & 4 & 10 & -2 & -2 & -2 & -2 & -2 & -2 & -2 & -2 & -2 & -1 \\ 0 & 2 & 4 & 10 & 3 & 5 & 8 & 9 & 12 & -2 & -2 & -2 & -2 & -1 \\ 0 & 2 & 4 & 10 & -2 & -2 & -2 & -2 & -2 & 1 & 6 & 7 & 11 & -1 \\ 0 & 2 & 4 & 10 & 3 & 5 & 8 & 9 & 12 & -2 & -2 & -2 & -2 & -1 \\ 0 & 2 & 4 & 10 & -2 & -2 & -2 & -2 & -2 & -2 & -2 & -2 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$S'_T = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 4 & 10 & 3 & 8 & 1 & 11 & -1 \\ 0 & 2 & 4 & 10 & 5 & 9 & 6 & 12 & -1 \\ 0 & 2 & 4 & 10 & 3 & 8 & 7 & 11 & -1 \\ 0 & 2 & 4 & 10 & 5 & 9 & 1 & 12 & -1 \\ 0 & 2 & 4 & 10 & 3 & 8 & 6 & 11 & -1 \\ 0 & 2 & 4 & 10 & 5 & 9 & 7 & 12 & -1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

4 结束语

文中主要改进了 TTCAN 网络调度平台上的调度策略, 并通过遗传算法对系统矩阵进行优化, 在一定程度上改进了系统的性能. 最后利用 Simulink 中 Stateflow 工具, 建立了一个一般工业控制现场 TTCAN 网络系统的仿真模型. 仿真结果表明改进后的 TTCAN 网络调度平台的带宽利用率和总线通

信量大大提高了, 同时减少了各周期消息传感器节点的响应时间并且降低了非周期消息传感器节点的延时时间.

参考文献:

- [1] Ryan C, Heffernan D. Clock synchronization on multiple TTCAN network channels[J]. Microprocessors and Microsystems, 2004, 26(2): 54-78.
- [2] Shaheen S, Heffernan D. A gateway for time-triggered control networks[J]. Microprocessors and Microsystems, 2007, 23(1): 126-317.
- [3] 王国新, 宁汝新, 王爱民. 基于仿真的生产调度优化技术研究[J]. 计算机集成制造系统, 2005, 17(5): 78-99.
- [4] 王欢, 王丽芳. TTCAN 通讯网络实时性分析[J]. 高技术通信, 2006, 16(8): 830-833.
- [5] 万定生, 余长海, 徐立中, 等. 基于位变异防止遗传算法过早收敛的算法[J]. 微电子学与计算机, 2005, 22(8): 119-122.
- [6] 周双娥, 雷辉. 基于改进的遗传-模拟退火的有序任务调度算法[J]. 微电子学与计算机, 2006, 23(10): 62-64.
- [7] 刘鲁源, 李芳, 吕伟杰. TTCAN 协议的分析与展望[J]. 天津理工大学学报, 2005, 21(3): 20-45.
- [8] 朱智林, 时辰. 周期性任务调度的装箱算法[J]. 计算机应用, 2006, 17(2): 33-67.

作者简介:

冯晓东 男, (1970-), 博士, 讲师. 研究方向为智能检测技术、传感器网络和现场总线技术.

张争明 女, (1984-), 硕士研究生.

(上接第 66 页)

- [3] Zou Y, Chakrabarty K. Sensor deployment and target localization in distributed sensor networks[J]. ACM Transactions on Embedded Computing Systems, 2004, 3(1): 61-91.
- [4] 毛莺池, 周晓峰, 王志坚, 等. 能量感知的无线传感器网络覆盖控制协议[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(10): 27-29.
- [5] 刘丽萍. 无线传感器网络节能覆盖[D]. 浙江: 浙江大学控制科学与工程系, 2006: 149-151.
- [6] 汪学清, 杨永田. 一种基于虚拟菱形网格的传感器节点布置算法[J]. 计算机应用, 2006, 26(7): 1554-1556.
- [7] 翟正怡, 张轮. 无线传感器网络正六边形网格划分方法[J]. 电脑知识与技术, 2007, 19(4): 89-91.

作者简介:

关志艳 女, (1983-), 硕士研究生. 研究方向为无线传感器网络节点覆盖.

冯秀芳 女, (1966-), 副教授, 硕士生导师. 研究方向为无线传感器网络.