

无线传感器网络中覆盖空洞修复算法

贺学剑^{1,2}, 李强懿^{1,2}, 白 舸¹, 陈家新¹, 李振东², 郭淑香²

(1 河南科技大学 电子信息工程学院, 河南 洛阳 471023; 2 河南科技大学 林业职业学院, 河南 洛阳 471002)

摘 要: 针对目标区域中的覆盖空洞问题, 设计出相应的覆盖空洞修复算法, 通过计算无线传感器节点周围区域的综合感知概率, 使无线传感器节点向感知概率低的区域移动, 实现对监测区域的最大覆盖。仿真结果表明, 该算法实现无线传感器节点合理分布, 提高网络覆盖率, 减少无线传感器节点移动距离, 达到延长网络使用时间的目标。

关键词: 无线传感器网络; 覆盖空洞; 修复算法; 区域覆盖; 感知概率

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)12-0097-03

Coverage Hole Recovery Algorithm in Wireless Sensor Network

HE Xue-jian^{1,2}, LI Qiang-yi^{1,2}, BAI Ge¹, CHEN Jia-xin¹, LI Zhen-dong², GUO Shu-xiang²

(1 Electronic Information Engineering College, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471023, China;
2 Forestry Vocational College of Attached to Science and Technology University of Henan, Luoyang 471002, China)

Abstract: In the wireless sensor network if no wireless sensor node is available in the area due to used up energy or any other reason, the area forms a coverage hole which can not be detected by any wireless sensor node. A coverage hole recovery algorithm aiming at the coverage hole in wireless sensor network is designed. The algorithm calculates the perceived probability in the area around the wireless sensor nodes and moves the wireless sensor nodes to the low perceived probability area and achieves the maximum coverage of the monitoring area. The simulation results show this algorithm achieves the goal of the wireless sensor nodes reasonable distribution with improving the network coverage and reducing the wireless sensor nodes movement distance and extends the lifetime of the network.

Key words: wireless sensor network; coverage hole; recovery algorithm; area coverage; perceived probability

1 引言

节点部署是无线传感器网络的基本问题, 部署的方式影响了网络的构建成本、覆盖质量、拓扑结构和路由算法。覆盖效果是无线传感器网络覆盖控制问题的基础, 也是无线传感器网络中衡量服务质量的一个重要标准^[1]。

国内外学者相继开展对无线传感器网络节点部署优化问题的研究^[2], 为了优化无线传感器节点的移动^[3], 通过使用遗传算法、鱼群优化算法^[4]、改进蚁群算法和微粒群优化算法^[5]等人工智能算法提高网络的整体覆盖率, 部署方案需要通过多次迭代计算得到, 算法复杂度较高。文献^[6]中提出基于虚拟力的部署算法, 快速有效地实现无线传感器节点的布局优化, 移动方案由无线传感器节点之间相互位

置关系计算获得, 受无线传感器节点密度影响较大, 达不到全局优化的目标。

由于无线传感器网络节点能量耗尽或其它原因, 使目标区域中出现未被无线传感器节点覆盖的称为“空洞”的区域, 本文针对监测区域中覆盖空洞问题, 设计出基于感知概率的覆盖空洞修复算法, 通过计算无线传感器节点周围半径为 R 的圆形区域内的感知概率之和, 得到无线传感器节点的移动方向和距离, 使无线传感器节点向感知概率较低的区域移动, 提高监测区域的网络覆盖率, 减少无线传感器节点的移动距离, 降低网络能量消耗, 延长网络使用时间。

2 区域覆盖

待监测区域内有 $m \times n$ 个像素, 每个像素的面积大小表示为 $\Delta x \times \Delta y$ (假定每个像素的面积为 1),

第 i 个像素点被无线传感器网络感知到的概率为 $P(p_i)$, 当 $P(p_i) \geq P_{th}$ 时 (P_{th} 为无线传感器网络所允许的最低感知概率), 该像素点可视为被无线传感器网络感知到。

第 i 个像素点是否被无线传感器节点感知到, 用 $P_{cov}(P_i)$ 来衡量, 即

$$P_{cov}(p_i) = \begin{cases} 0 & \text{if } P(p_i) < P_{th} \\ 1 & \text{if } P(p_i) \geq P_{th} \end{cases} \quad (1)$$

本文将区域覆盖率 R_{area} 定义为被感知到的像素点面积 A_{area} 与监测区域 A 的总面积 A_s 之比, 即

$$R_{area} = \frac{A_{area}}{A_s} = \frac{\sum_{x=1}^a \sum_{y=1}^b P_{cov}(p_i)}{a \times b} \quad (2)$$

3 感知概率

本文将第 i 个像素点 p_i 被第 j 个无线传感器节点 s_j 所感知的事件定义为 r_{ij} , 该事件发生的概率 $P(r_{ij})$ 即为像素点 p_i 被无线传感器节点 s_j 所感知的概率 $P(P_i, s_j)$, 即

$$P(p_i, s_j) = \begin{cases} 1 & \text{if } d(p_i, s_j) \leq R_s - R_e \\ e^{-\lambda[d(p_i, s_j) - R_s + R_e]^\alpha} & \text{if } R_s - R_e < d(p_i, s_j) < R_s + R_e \\ 0 & \text{if } d(p_i, s_j) \geq R_s + R_e \end{cases} \quad (3)$$

式中, $d(p_i, s_j)$ 是第 i 个像素点 p_i 与第 j 个无线传感器节点 s_j 之间的距离, λ 和 α 是与感知概率有关的参数, R_e 是无线传感器节点 s_j 感知误差范围。

本文采用多个无线传感器节点协作感知的监测方法, 则像素点 p_i 被所有无线传感器节点协作感知到的概率为

$$P(p_i) = 1 - \prod_{j=1}^N [1 - P(p_i, s_j)] \quad (4)$$

4 算法描述

4.1 移动方案

通过计算以无线传感器节点 s_j 为圆心, R 为半径的圆形区域内像素点的被感知概率之和 $P(i)$, 决定无线传感器节点 s_j 的移动。

$$P(i) = \sum_{j=1}^N P(p_i, s_j) \quad (5)$$

设任意像素点 p_i 和无线传感器节点 s_j , 则无线传感器节点 s_j 受到像素点 p_i 的作用力可表示为

$$F(p_i, s_j) = \begin{cases} \frac{[P(i) - \beta]}{d(p_i, s_j)^\gamma} & 0 < d(p_i, s_j) < R \\ 0 & d(p_i, s_j) \geq R \end{cases} \quad (6)$$

式中, $P(i)$ 为第 i 个像素点被无线传感器网络感知到的概率, β, γ 为增益系数, $d(p_i, s_j)$ 为第 i 个像素点 p_i 与无线传感器节点 s_j 之间的距离。

该作用力方向由像素点 p_i 指向无线传感器节点 s_j , 分解后可得沿 x 轴方向的分量 $F_x(p_i, s_j)$, 沿 y 轴方向的分量 $F_y(p_i, s_j)$, x 轴方向所受合力为

$$F_x(s_j) = \sum_{j=1}^N F_x(p_i, s_j), y \text{ 轴方向所受合力为 } F_y(s_j)$$

$$= \sum_{j=1}^N F_y(p_i, s_j). \text{ 于是无线传感器节点 } s_j \text{ 周围半径}$$

为 R 的圆形区域内的像素点对其产生的合力为

$$F_{xy}(s_j) = \sqrt{F_x^2(s_j) + F_y^2(s_j)}.$$

无线传感器节点 s_j 经过受力计算后, 根据所受合力的大小将无线传感器节点 s_j 从原位置 (x_{old}, y_{old}) 移动至新位置 (x_{new}, y_{new}) :

$$x_{new} = \begin{cases} x_{old} & |F_{xy}(s_j)| \leq F_{th} \\ x_{old} + \frac{F_x(s_j)}{F_{xy}(s_j)} \times \text{MaxStep} \times e^{-F_{xy}^{-1}(s_j)} & |F_{xy}(s_j)| > F_{th} \end{cases} \quad (7)$$

$$y_{new} = \begin{cases} y_{old} & |F_{xy}(s_j)| \leq F_{th} \\ y_{old} + \frac{F_y(s_j)}{F_{xy}(s_j)} \times \text{MaxStep} \times e^{-F_{xy}^{-1}(s_j)} & |F_{xy}(s_j)| > F_{th} \end{cases} \quad (8)$$

式中, F_{th} 是虚拟力的门限值, 当无线传感器节点 s_j 所受虚拟力小于该值时, 则不需要移动, MaxStep 是无线传感器节点 s_j 所允许的最大移动距离。

4.2 算法步骤

Step1: 待监测区域中每个无线传感器节点均广播信息, 信息中包括该无线传感器节点的编号和位置信息, 进入 Step2。

Step2: 如果无线传感器节点 s_j 收到邻居无线传感器节点的广播信息, 更新邻居表 L_j 信息, 进入 Step3。

Step3: 通过式(3)、式(4)、式(5)计算出无线传感器节点 s_j 周围半径为 $R = (R_s + cR_e)$ 的圆形区域内像素点 p_i 的被无线传感器节点感知到的概率之和 $P(i)$, 进入 Step4。

Step4: 通过式(6)、式(7)、式(8)计算无线传感器节点 s_j 需要移动到的新位置 (x_{new}, y_{new}) , 进入 Step5。

Step5: 如果需要移动到的新位置位于监测区域外部, 移动过程将不会进行, 该无线传感器节点不移

动,进入 Step6;否则移动到新的位置,进入 Step6.

Step6:如果达到预先设定的循环次数,算法结束;否则转向 Step1,开始进入到下一个移动过程.

5 仿真分析

使用 Matlab 软件对该算法进行仿真,假设在 $100\text{ m}\times 100\text{ m}$ 的待监测区域内随机部署 N 个无线传感器节点,所有无线传感器节点感知半径 $R_s=10\text{ m}$,感知误差范围 $R_e=3\text{ m}$,通信半径 $R_c=3R_s=30\text{ m}$.

本文算法各项参数为: $\lambda=0.2, \alpha=2, \beta=2, \gamma=2, F_{th}=1, P_{th}=1, \text{MaxStep}=5\text{ m}, c=3, R=19\text{ m}$.

虚拟力算法各项参数为: $k_1=1, \alpha_1=2, F_{th}=1, P_{th}=1, \text{MaxStep}=5\text{ m}$.

为了防止无线传感器节点移出监测区域,如果无线传感器节点所要移动到的新位置位于监测区域内部 5 m 宽的边缘时,该无线传感器节点将不会移动,仍处于原位置.

初始部署阶段分别在 $N=20, 25, 30, 35, 40$ 时,仿真 30 次,对结果取平均值.如图 1 和图 2 所示.

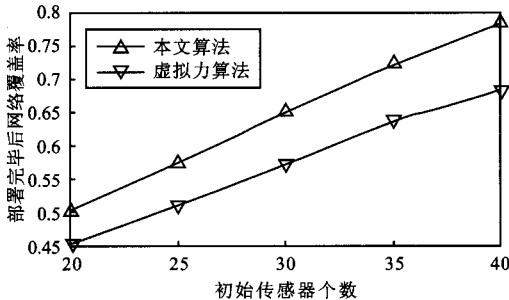


图 1 部署完毕后不同算法下的覆盖率

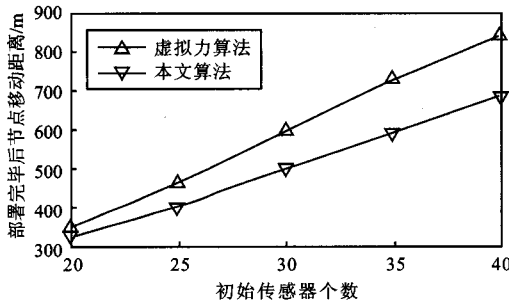


图 2 部署完毕后不同算法下的节点移动距离总和

初始部署完毕后,随机失效 $M=3$ 个无线传感器节点,分别使用各自的算法对无线传感器网络中产生的覆盖空洞进行修复.仿真 30 次,对结果取平均值.如图 3 和图 4 中所示.

从图 1、图 2 和图 3、图 4 中可以得出,随着无线传感器节点数量增加,监测区域覆盖范围增大,无线传感器节点移动距离也增大.由于虚拟力算法在无

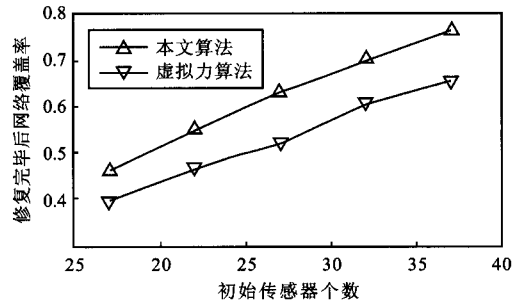


图 3 修复完毕后不同算法下的覆盖率

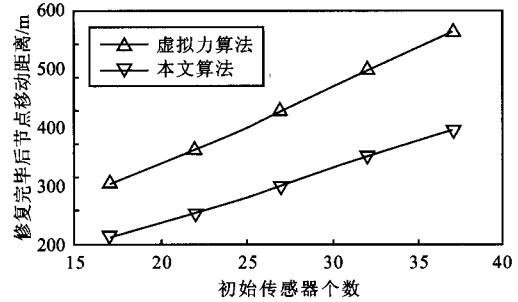


图 4 修复完毕后不同算法下的节点移动距离总和

线传感器节点密集处没有控制好无线传感器节点移动的位置,移动距离过大,移动效果不好,对提高覆盖率帮助较小.本文算法根据无线传感器节点周围区域的被感知概率进行移动,使无线传感器节点向感知概率低的区域移动,在无线传感器节点部署与修复阶段均能实现理想的效果,使无线传感器节点逐渐移动到最佳的监测位置,在提高覆盖率的同时,减少每个无线传感器节点移动的距离,因此无线传感器节点移动距离总和较小.

6 结束语

本文提出一种根据监测区域内被感知概率对移动无线传感器节点进行部署的方案.仿真结果表明,在提高网络覆盖率,减少无线传感器节点移动距离等方面,本文算法均优于虚拟力算法,实现无线传感器网络节点合理分布,达到降低能量消耗的目标,延长无线传感器网络的使用时间.

参考文献:

[1] 李世伟,王文敬,张聚伟.基于潜艇深度的水下传感器网络部署[J].传感技术学报,2012,25(11):1613-1617.
[2] 李强懿,马冬前,张聚伟.基于平衡距离的无线传感器网络节点部署算法[J].电子技术应用,2013,39(4):96-98.
[3] 李强懿,马冬前,张聚伟,等.基于证据理论的无线传感器网络节点部署算法[J].计算机测量与控制,2013,21(6):1715-1717.

(下转第 103 页)

据地址符合 $3+n \times 4$, n 为任意非负整数. 因而当转换模块的低位地址 YADR 3F 换成十进制数 63 符合第四个 16 位数据地址表达式, 对 64 位数据的第四块 16 位数据操作, 如图 4 所示其他三块的数据都置为 FFFF, 第四块 16 位数据置成 201F.

3 仿真实验

仿真通过测试接口将一串 16 位数据 201F、1817、100F、0807……写入到 Flash 中, 再通过测试接口读出写入的数据.

整体仿真验证了接口相应的复用情况首先将一串数据通过测试接口写入到 Flash 中, 然后再通过相应的测试接口将写入的数据读取出来. 通过相应的仿真图可以看出测试接口对 Flash 进行了正确的读写等测试. 实现了 Flash 的可测试性

4 结束语

本文提出了一种 DSP 片上 Flash 存储器的片外 Data/Address/Control signal bus multiplexing 测试接口的设计, 大大增强了片上 Flash 的可测试性. 测试接口能够在复用控制信号 SEL 的控制下灵活的控制 Flash 进行读、写和擦除操作, 实现了对片

上 FLASH 的测试. 本测试接口既可以在片外对 Flash 进行测试, 也可用于片内自测试系统当中, 提高 Flash 可靠性同时也提升了整个 DSP 系统测试的灵活性. 经仿真验证设计实现了功能要求并通过 TSMC65nm 工艺成功应用于一款 32 位定点 DSP 中.

参考文献:

- [1] 鉴海防, 王占. SOC 嵌入式 Flash 存储器的内建自测试设计[J]. 微电子学与计算机, 2005, 22(4): 87-91.
- [2] 雷加, 晏筱微. Flash 存储器的内建自测试设计[J]. 微计算机信息, 2008, 24(2): 296-297.
- [3] International SEMATECH. The International Technology Roadmap for Semiconductors[C]// proceedings of the 20th Anniversary Symposium Tokyo, Japan: IEEE, 2005.
- [4] 张玥 万培元 林平分. 集成电路可测性设计 IO 复用方法[J]. 半导体技术, 2011, 36(9): 705-709.

作者简介:

杨 阳 男, (1988—), 硕士研究生. 研究方向为专用集成电路设计.

宋明歆 男, (1974—), 副教授, 研究方向为集成电路设计.

(上接第 99 页)

- [4] Vedat Coskun. Relocating sensor nodes to maximize cumulative connected coverage in wireless sensor networks[J]. Sensors, 2008, 8(4): 2792-2817.
- [5] Chun-Hsien Wu, Yeh-Ching Chung. A polygon model for wireless sensor network deployment with directional sensing areas[J]. Sensors, 2009, 9(12): 9998-10022.
- [6] Gaojuan Fan, Ruchuan Wang, Haiping Huang, et al. Coverage-guaranteed sensor node deployment strategies for wireless sensor networks[J]. Sensors, 2010, 10(3): 2064-2087.
- [7] 郑耿忠, 刘秋梅. 基于模糊控制的移动无线传感器网络部署优化[J]. 微电子学与计算机, 2011, 28(2): 28-32.

- [8] 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.
- [9] 杨明华, 曹元大, 谭励, 等. 一种移动传感器网络精确部署算法[J]. 北京理工大学学报, 2009, 29(1): 27-31.
- [10] 李明, 石为人. 虚拟力导向差分算法的异构移动传感网络覆盖策略[J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(5): 1043-1050.

作者简介:

贺学剑 男, (1975—), 硕士研究生, 讲师. 研究方向为计算机应用技术.

陈家新 男, (1962—), 博士, 教授, 硕士研究生导师. 研究方向为计算机图形学、数字图像分析、人工智能系统.