

一种三角形网格空洞修复算法

刘 全^{1,2}, 杨 凯¹, 伏玉琛¹, 张书奎¹

(1. 苏州大学计算机科学与技术学院, 江苏苏州 215006; 2. 吉林大学符号计算与知识工程教育部重点实验室, 吉林长春 130012)

摘 要: 无线传感器网络由大量传感器节点组成, 在网络初始化时节点随机部署在目标区域中, 导致某一区域未被覆盖而形成覆盖空洞. 针对目标区域中存在覆盖空洞问题, 设计了一种基于三角形网格的无需地理信息的空洞探测算法 ATN 和空洞修复算法 TNR. 利用 ATN 算法检测节点与其邻居形成的三角形网格是否被完全覆盖, TNR 算法以 ATN 算法理论为基础, 向三角形网格中添加节点使目标区域完全覆盖. 理论与仿真实验分析表明, ANR 算法能够探测出目标区域中所有空洞, TNR 算法在部署密集传感网络中能够快速完成空洞修复.

关键词: 无线传感器网络; 覆盖空洞; 空洞修复; 三角形网格

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2013) 02-0209-05

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn> **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2013.02.001

An Algorithm for Hole Recovery in Wireless Sensor Networks Based on Triangle Net

LIU Quan^{1,2}, YANG Kai¹, FU Yu-chen¹, ZHANG Shu-kui¹

(1. Institute of Computer Science and Technology, Soochow University, Suzhou, Jiangsu 215006, China;

2. Key Laboratory of Symbolic Computation and Knowledge Engineering of Ministry of Education, Jilin University, Changchun, Jilin 130012, China)

Abstract: Wireless Sensor Network (WSN) consists of many spatially-distributed sensors. When the WSN is conducted, there is some areas which are not monitored by sensors, which are called coverage holes. To solve the problem of coverage holes in target areas, we design a hole detecting algorithm ATN and a recovery algorithm named TNR based on triangle net. These algorithms do not require the location informations. ATN detects the triangle net which is conducted by their two neighbour nodes. Based on ATN, TNR adds some new sensors to hole. Analyses and Simulation prove that, ATN can detect the coverage holes in the target area, TNR has a better performance in dense deployed wireless sensor networks.

Key words: wireless sensor networks; coverage hole; hole recovery; triangle net

1 引言

随着低能耗传感器技术、嵌入式处理器技术的不断发展, 无线传感器网络被广泛应用于战场监控、救援和放射性物质检测等多个监测领域. 近年来, 无线传感器网络相关研究已经逐渐成为网络研究的重点. 但是无线传感器网络与传统传感器网络有明显的区别, 无线传感器网络中具有一些特殊性质, 如节点有无线通信的能力、网络中节点密集分布、节点数据处理能力有限等, 在研究具体问题时, 需要对这些因素加以考虑. 本文主要研究传感器节点覆盖问题. 将一定数目的传感器节点随机分布到一个二维区域中, 由于节点分布的随机性, 不

可避免的会产生覆盖空洞, 即某一区域不能被传感器节点监测到. 为了避免这一覆盖空洞的产生, 检测和修复空洞成为目前研究的热点.

本文的工作主要分为两个部分: 空洞探测和空洞修复. 空洞探测是对随机分布的传感器节点进行检测, 标记出处于覆盖空洞的节点, 确定覆盖空洞的大小和位置. 空洞探测算法一般分为两种. 第一种基于概率的方法, 计算出能够完全覆盖目标区域的无线传感器节点的密度, 再使用该密度来分布传感器节点. 这是一种极其粗糙的方法, 并且无法证明空洞探测算法的有效性. 文献[1]中提出了以一定密度随机分布传感器节点即可达到 k 覆盖的方法. 第二种是使用计算几何学上的方法来

收稿日期: 2012-03-01; 修回日期: 2012-07-01

基金项目: 国家自然科学基金 (No. 61070223, No. 61070169, No. 61070122, No. 61272005); 江苏省自然科学基金 (No. BK2012616, No. BK2011376); 江苏省高校自然科学基金项目 (No. 09KJA520002, No. 09KJB520012), 吉林大学科学符号计算与知识工程教育部重点实验室资助项目 (No. 93K172012K04).

发现空洞.文献[2~4]中使用网格进行空洞探测,将网格应用到空洞探测算法中,可以简化算法计算.其中文献[2,3]提出网格未被传感器节点覆盖则网格处于空洞,文献[4]则在网格中随机分布多个探测点,利用探测点检测空洞,其中文献[2,4]需要节点间精确的地理信息,文献[3]提出的三角形网格划分方法虽然不需要精确地理信息,但是不能检测出三角形空洞.文献[5~7]使用 Voronoi 图和 Delaunay 三角形进行空洞探测,其中文献[7]中使用分组的思想将 1-覆盖扩展为 k-覆盖.文献[8]提出了一个使用覆盖弧性质的空洞探测算法,该算法的主要思想是找出一个节点的分割弧序列,能够适应于多种应用场景,但计算覆盖弧相关性比较复杂.

探测算法检测到覆盖空洞的方位和大小,就可使用空洞修复算法对空洞进行修复.文献[3]中提出了在传感器网络基于节点联通的空洞修复算法,该算法以三角形网格算法为基础,激活传感器网络中至少能够连通两个空洞边缘节点的冗余节点,简单高效,但比较粗糙且不能检测出三角空洞.文献[4]提出了 SNCR (Sensor Network Coverage Restoration)算法,该算法将目标区域划分为若干网格,在网格中随机分布多个探测点,没有被感知圆覆盖的探测点即为空洞区域.空洞修复即向目标区域中添加新节点覆盖区域中的探测点.该算法依赖于探测点分布概率并且需要精确的地理信息,是一种简便高效的修复算法.文献[9]以空洞边缘节点的覆盖弧为基础,提出了一个分布式空洞修复算法 CHH (Coverage Hole self-Health),并且提出了算法修复原则.文献[10]提出了在传感器网络中通过节点大规模移动实现节点均匀分布的算法,但是该算法需要精确的地理信息.文献[11,12]采用 Voronoi 图作为解决空洞覆盖的方法,文献[12,13]中节点被标记为空洞边缘节点时,它将朝着距节点最近的 Voronoi 边移动,能够减少覆盖空洞面积,但由于该算法中节点需要具有一定移动能力,因此应用范围相对狭窄.

本文提出一种不需要地理信息的基于三角形网格的空洞探测算法 ATN (Advanced Triangle Net)和空洞修复算法 TNR (Triangle Net Recovery,).ATN 算法以文献[2]中算法为基础,引入覆盖弧性质,来判断传感器节点与其邻居节点形成的网格是否被完全覆盖,若未被完全覆盖,则节点一定为空洞边缘节点.TNR 算法以 ATN 算法为基础,利用计算几何学相关性质,在适当位置加入新的节点,使节点能满足 ATN 算法.与其他基于网格的算法相比,本文从理论上证明了 ATN 算法的正确性,并说明了 ATN 算法是一种精确的空洞探测算法.仿真实验表明,TNR 算法在空洞修复时能够快速终止,以较小的代价完成空洞修复.

2 问题描述

假定无线传感器网络中传感器节点的感知半径和通信半径分别为 SR 与 TR ,且有 $TR \geq 2 * SR$,则完全覆盖的网络一定是联通的,反之亦然.在无线传感器网络中每一个节点都有唯一 ID,可以通过 ID 识别节点身份.在传感器网络中,每个节点都可以感知目标区域并与相邻节点进行通信.另外,目标区域中传感节点不需要精确的地理信息,仅仅拥有周围邻居的相对位置,边界区域的节点都能够正确标识自身,不会将自己标识为空洞边缘节点.

2.1 相关符号定义

传感器节点的感知圆覆盖范围,称为感知范围.使用 D_v 表示节点 v 的感知范围.用 C_v 表示节点 v 的感知范围的边缘.传感器 v 的感知圆与传感器 u 的感知圆相交,重叠部分在 u 节点边界所产生的一段弧,称为覆盖弧.用 $S_{u,v}$ 表示,即 $S_{u,v} = C_u \cap C_v$,覆盖弧对应的圆心角的角度,称为弧度.用 $\mu_{u,v}$ 表示.一个点在另外一个点的二维坐标系中的角度,称为方向角.用 $\theta_{u,v}$ 表示 v 在 u 坐标系中的角度,指明了 v 在 u 中的方向.用 $\langle d_{u,v}, \theta_{u,v} \rangle$ 表示相对位置坐标,其中 $d_{u,v}$ 为 u 距 v 的距离, $\theta_{u,v}$ 为 v 在 u 坐标系中的角度,指明了 v 在 u 中的方向.

本文主要考虑覆盖弧相交的相关性质,这里有:

(1) $\mu_{u,v} = 2 * \cos^{-1} \frac{SR_u^2 + d_{u,v}^2 - SR_v^2}{2 * SR_u * d_{u,v}}$, SR_u 与 SR_v 分别是节点 u 和 v 的感知范围半径

(2) $\angle v, u, w = \cos^{-1} \frac{d_{v,u}^2 + d_{u,w}^2 - d_{v,w}^2}{2 * d_{v,u} * d_{u,w}}$

(3) 若覆盖弧 $S_{u,v}$ 与 $S_{u,w}$ 相交当且仅当 $\mu_{u,w} + \mu_{u,v} > 2 * \angle v, u, w$

2.2 网络模型及相关性质

在无线传感器网络空洞探测阶段,本文使用基于三角形网格的探测算法来检测是否存在覆盖空洞.三角形网格的思想是将目标区域划分为以邻居节点为顶点的不重叠三角形,若节点未与邻居节点构成三角形,则该节点一定为空洞边缘节点.原始的三角形网格算法基于传感器节点邻居的位置信息,将网络拓扑结构划分为三角形网格,判断一个区域是否存在空洞.但是这种探测算法是一种粗略的不精确的算法,并且不能证明其有效性.ATN 算法在其之上进行改进,利用三角形网格性质提出了一种精确的覆盖确认算法.以 3 个节点的简单模型为例.3 个节点感知区域完全覆盖的必要条件是 3 个节点的感知圆两两相交,但是感知圆相交并不能推断出该区域一定被完全覆盖,因为 3 个节点之间可能存在区域 D 且 $D \notin (D_A \cup D_B \cup D_C)$,区域 D 称为三角形空洞.通过分析简单模型,有如下性质:

性质 1 圆 A 、 B 、 C 的覆盖区域 D_A 、 D_B 、 D_C 两两相交,如果其中任意圆与其他圆形成覆盖弧相交,则在由圆心形成的 $\triangle ABC$ 区域中有 $\forall P \in \triangle ABC$ 都存在 $P \in D_A \cup D_B \cup D_C$.

性质 2 半径为 r 的圆 S 、 A 、 B 满足 $SA \leq 2r$, $SB \leq 2r$,且 $AB \geq SB$, $AB \geq SA$,若增加一半径为 r 的圆 O ,令 O 为 AB 中点,则此时满足 $\triangle ABC \subset (D_s \cup D_a \cup D_b \cup D_o)$.

由性质 1、性质 2 可知,在三角形网格探测算法中,算法退出的条件为某节点 S 与两个邻居节点 B 、 C 不满足 $\triangle SBC \subset (D_s \cup D_b \cup D_c)$.我们提出了一个以三角形网格为基础的空洞修复算法 TNR ,其基本原理是在空洞边缘节点的适当位置添加新的节点,使其满足三角形网格探测算法,经过多次修复即可完成感知区域的完全覆盖.

3 ATN 算法及 TNR 算法

本文提出的空洞探测算法和空洞修复算法,包括改进的三角形网格探测算法和空洞修复算法.这两种算法不需要精确的地理信息,算法使用节点间的相对位置作为计算基础.算法可以是集中式也可以是分布式,为了使问题简化,我们选用集中式算法作为本文算法的设计基础,每个节点按 ID 顺序执行算法.

3.1 改进三角形网格探测算法 ATN

ATN 算法的基本思想是以目标区域中的节点为顶点,将目标区域划分为若干个三角形,且每个三角形的边长均小于等于感知半径的 2 倍,若这些三角形中任意两个端点的覆盖弧相交,且这些三角形能够形成一个循环队列,则该区域为完全覆盖,否则节点被标记为空洞边缘节点.与原始算法的相比,将粗糙的算法改进为一种精确的 1 覆盖算法.算法具体如下:

ATN 算法:

- setp1 区域中任意一个无线传感器节点 u ,其感知半径为 r ,扫描 u 周围距 u 距离小于 $2 * r$ 的邻居节点构造队列 Q 中成员为逆时针遍历的邻居节点
- step2 若 Q 成员个数小于 3,则退出,将 u 标记为空洞边缘节点.否则,令 $v = \text{head}(Q)$, $w = v \rightarrow \text{next}$,并且 goto Step3
- step3 计算 $\mu_{u,v}$ 、 $\mu_{u,w}$ 、 $\angle v, u, w$.判断 $\mu_{u,w} + \mu_{u,v} > 2 * \angle v, u, w$,若成立令 $v = v \rightarrow \text{next}$, $w = w \rightarrow \text{next}$ goto Step4. 否则,退出,将 u 标记为空洞边缘节点
- step4 判断 $w = \text{NULL}$,若成立,令 $w = \text{head}(Q)$,goto step5. 否则 goto step3
- step5 判断 $\mu_{u,w} + \mu_{u,v} > 2 * \angle v, u, w$,若成立,退出. 否则,退出将 u 标记为空洞边缘节点

根据计算几何学性质,存在下述定理:

定理 1 若存在一圆 s ,在该圆周围有 n 个圆,且

任意圆 o_i 与圆 s 相交.若按一定方向,圆心 s 与其相交圆的圆心可形成 $\triangle so_1o_2$ 、 $\triangle so_2o_3$ 、 \dots 、 $\triangle so_i o_{i+1}$ 、 $\triangle so_{i+1} o_1$ ($1 \leq i \leq n-1$),并且任意一个三角形都满足 $\triangle so_i o_j \subset (D_s \cup D_i \cup D_j)$ (若 $i \neq n, j = i+1$ 否则 $j = 1$),则 s 完全覆盖.

如图 1(a)所示, S 与邻居节点 A 、 B 、 C 、 D 、 E 形成的三角形网格中,任意两点的覆盖弧都相交,并且这些三角形网格可以形成一个循环序列.在图 1(b)中,三角形网格 $\triangle SBC$ 、 $\triangle SCD$ 、 $\triangle SDE$ 节点不满足覆盖弧相交,因此 S 为空洞边缘节点.与原始的网格探测算法相比,本算法更为精确,可以探测出三角形空洞.从算法细节来看,该算法不需要大规模计算,只需要计算每一个三角形网格中任意两端点的覆盖弧相交,就能确定该三角网格区域是否被完全覆盖.从算法性能来看,该算法能够精确地完成 1 覆盖的探测.

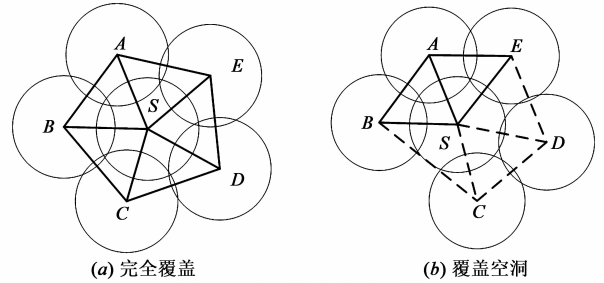


图1 三角形网格完全覆盖

3.2 空洞修复算法 TNR

空洞修复算法以空洞探测算法为基础,当一个节点被标记为空洞边缘节点时,节点运行空洞修复算法.该算法基本思想是,在适当位置填补上新的节点,以使节点满足完全覆盖.根据定理 1,在每个未被完全覆盖的三角形网格中,在三角形最长边上增加一个节点一定可以使三角形网格被完全覆盖.空洞修复算法如下:

TNR 算法:

- setp1 传感器节点 u 被标记为空洞边缘节点,其感知半径为 r ,逆时针扫描 u 周围距 u 距离小于 $2 * r$ 邻居节点,并根据节点在 u 坐标系角度按从小到大的次序加入到队列 Q_{all} 中,令 $v = \text{head}(Q_{all})$, $w = v \rightarrow \text{next}$, goto step2;
- step2 如果 $\mu_{u,w} + \mu_{u,v} > 2 * \angle v, u, w$,且 $u = \text{tail}(Q_{all})$, $v = \text{head}(Q_{all})$,退出. 否则 goto step3;
- step3 如果 $\mu_{u,w} + \mu_{u,v} > 2 * \angle v, u, w$,令 $v = v \rightarrow \text{next}$, $u = u \rightarrow \text{next}$ (如果 $u = \text{NULL}$, 则令 $u = \text{head}(Q_{all})$), goto step2. 如果 $\mu_{u,w} + \mu_{u,v} \leq 2 * \angle v, u, w$ goto step4;
- step4 计算三角形网格最长边,若最长边为 uw 或 uw 加入最长边中点 c ,令 $v = w$, $w = w \rightarrow \text{next}$ (如果 $u = \text{NULL}$, 则令 $u = \text{head}(Q_{all})$) goto step2. 如果 $vw = \max(vw, uw, uv)$ goto step5;
- step5 若 $w = \text{head}(Q_{all})$, goto Step6. 否则按性质 3 加入 c ,且令 $w = c$, goto step2;
- step6 加入 c 点,且令 $w = c$, goto step2.

在 TNR 算法中,值得注意的是,在计算某一个三角形网格时,若填补的传感器节点为中点的对称点,将填补节点按极坐标大小加入到邻居队列队尾后,该算法仍然要进行修复运算,直到空洞节点完全覆盖.由实验可以证明,在密集网络中,大多数节点在一步迭代过程中就可以达到完全覆盖.本文虽然修复精确度不高,但提出的算法简单易行,不需要进行大规模的计算,减少了传感器节点的能量消耗,有利于延长无线传感器网络的生命周期.

4 仿真实验

为了分析 ATN 与 TNR 算法性能,从边缘节点数量、填补节点数量、空洞修复后覆盖率以及算法执行轮数等多个方面进行比较.

4.1 仿真实验设置

仿真实验在一个 400×400 的矩形区域中随机部署 400 个无线传感器节点,传感器节点的感知半径设为 40,在实验过程中,通过变化传感器节点数量和感知半径,比较在不同条件下的算法性能.实验在目标区域中随机产生大小不同覆盖的空洞,实验仿真在不同条件下算法的性能.为了简化问题,本实验只设计了空洞修复算法,没有涉及到节点之间的通信协议.

4.2 实验结果分析

由于本文仿真实验平台所限,不可避免的会使目标区域边缘节点识别为空洞节点.这里为了更好的分析空洞探测算法,我们并没有去掉这些目标区域边缘节点.由于所有传感器节点的位置是随机产生的,我们取 10 次实验的平均值作为实验的结果.在无线传感器网络中,覆盖空洞的大小与传感器的节点数量、传感器节点的半径有很大关系.如图 2 所示,随着布置的传感器节点的数量增加,空洞边缘节点数量大大减少.但是由于目标区域边界的存在,即使在节点数量为 1000 时依然存在空洞边缘节点,当然这里大部分节点为目标区域的边界点,我们可以忽略它.同样在布置相同数量的节点时,感知半径大的无线传感器网络其空洞边缘节点的数量明显小于感知半径较小的网络.

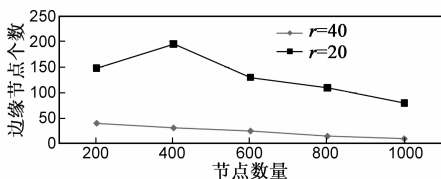


图2 不同感知半径下边缘节点数量(未忽略目标区域边缘节点)

将 TNR 算法与其他空洞修复算法进行比较.本次仿真实验在节点感知半径 40,随机分布 400 个传感器节点的条件下去进行的.图 3 显示 TNR, CHH, SNCR 在不同算法执行轮数下不同的覆盖率.从覆盖率来看,TNR

算法和 CHH 算法实现覆盖空洞全修复,SNCR 算法在执行 10 轮之后覆盖空洞依然存在,这是因为 SNCR 在目标区域中随机分布探测点,以未被节点覆盖的探测点为填补位置,由于探测点的随机性目标,故仍有空洞区域未能被新加入节点覆盖.与 CHH 算法相比,TNR 算法能够在第 3 轮达到全覆盖.这是因为 CHH 算法以空洞边缘节点和其邻居节点形成的空洞弧为目标,在闭合空洞时能够达到理想的效果,但是在非闭合空洞时,空洞边缘节点所产生的空洞弧无法被 CHH 算法所直接修复,算法修复非闭合空洞不够理想.而 TNR 算法以三角形网格为基础进行修复,虽然修复一个空洞节点需要补充更多节点,但是无论对于闭合空洞和非闭合空洞,算法都能快速修复.

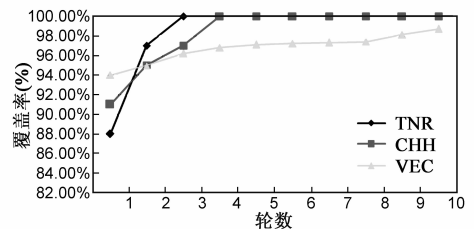


图3 算法覆盖率比较

本文将 CHH 算法改造为直接向网络中添加新节点,忽略了节点移动的过程.如图 4 所示,CHH 算法在算法第一轮时添加的节点数量要小于 TNR 算法,在算法第 2 轮和第 3 轮,TNR 算法要明显优于 CHH 算法.而 SNCR 算法初始时添加节点个数最多,但是由于该算法依赖于随机性探测点的分布,故在其后的几轮迭代中添加节点的数量要少于其他两种算法.从实验可以看出,CHH 算法以覆盖空洞弧为修复基础,确实能够最大限度上修复闭合空洞.但是在修复非闭合空洞时,若覆盖弧弧度过大则修复过程很难进行下去. SNCR 算法简单易行,但是该算法不能保证完全覆盖整个目标区域,是一种不精确的修复方式,并且 SNCR 算法需要节点间精确地理信息,其算法要求过高,不适用于随机覆盖的场景.而 TNR 算法以三角形网格为基础,尽管修复精度不够,需要填补大量的节点,但从整体来看,性能还是不错的.

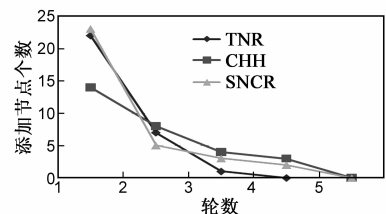


图4 算法加入节点数量比较

5 结论

覆盖问题是无线传感器网络的核心问题.本文针

对传感器网络覆盖控制问题,从理论上给出了使用三角形网格覆盖的定理.基于该定理,在没有地理信息的支持下,针对无线传感器网络中空洞修复问题,提出了一种改进的空洞探测算法 ATN 和三角形网格修复算法 TNR.其中 ATN 以网格划分为基础,通过判断目标区域中的三角形网格能否被感知圆覆盖来检测目标区域是否被完全覆盖;TNR 算法以 ANT 为基础,通过向三角网格特定位置添加节点使得每个没有被覆盖的三角形网格最终达到完全覆盖.仿真实验表明,ATN 算法能够精确检测出目标区域中的空洞边缘节点,TNR 经过有限次迭代,通过添加有限个节点可以完成修复工作.由于本文算法没有地理信息的支持,在节点修复过程中不可避免的会出现节点冗余.下一步工作就是在保证节点修复精确度的前提下,设计添加最少的传感器节点的算法,使目标区域完全覆盖.

参考文献

- [1] W Wei, K C Chua. Trade-offs between mobility and density for coverage in wireless sensor networks [A]. Proc MobiCom '07 [C]. New York: ACM, 2007. 39 – 50.
- [2] F S Xing, C Jiming. Grid scan: a simple and effective approach for coverage issue in wireless sensor networks [A]. Proc ICC '06 [C]. New York: IEEE, 2006. 3480 – 3484.
- [3] X Y Li, H David. Distributed coordinate-free hole recovery [A]. Proc IEEE GlobeCom '06 [C]. New York: IEEE, 2006. 189 – 194.
- [4] K Nitin, G Dimitrios. Sensor network coverage restoration [J]. CITESEER, 2008, 10(12): 21 – 24.
- [5] G Amitabha. Estimating coverage holes and enhancing coverage in mixed sensor networks [J]. Local Computer Networks, 2009, 29(2): 68 – 76.
- [6] S Anthony, Y Y Ye. On solving coverage problems in a wireless sensor network using voronoi diagrams [J]. LNCS, 2005, 3828: 584 – 593.
- [7] W Jiong, M Sirisha. Energy-efficient k-coverage for wireless sensor networks with variable sensing radii [A]. Proc IEEE GLOBECOM [C]. Honolulu: IEEE, 2009. 1 – 6.
- [8] Y Bejeranp. Simple and efficient k-coverage verification without location information [A]. Proc the IEEE Conference on Computer Communications [C]. New York: IEEE, 2008. 291 – 295.
- [9] 苏瀚,汪芸. 传感器网络中无需地理信息的空洞填补算法[J]. 计算机学报, 2009, 32(10): 1957 – 1970.
Su Han, Wang Yun. A self-healing algorithm without location in sensor networks [J]. Chinese Journal Of Computers, 2009, 32(10): 1957 – 1970. (in Chinese)
- [10] K Prasan, Z T Jang. Vector method based coverage hole recovery in wireless sensor [A]. Proc the Communication Systems and Networks [C]. New York: IEEE, 2010. 1 – 9.
- [11] 徐鹏飞,陈志刚. 无线传感器网络中的分布式 Voronoi 覆盖控制算法[J]. 通信学报, 2010, 31(8): 25 – 34.
Xu Peng-fei, Chen Zhi-gang. Distributed voronoi coverage algorithm in wireless sensor networks [J]. Journal on Communications, 2010, 31(8): 25 – 34. (in Chinese)
- [12] G Wang, G Cao. Movement-assisted sensor deployment [A]. Proc IEEE Conference on Computer Communications [C]. New York: IEEE, 2005. 584 – 593.
- [13] 王瑞,谢维信. 传感器网络高阶模糊覆盖分析[J]. 电子学报, 2007, 12A(35): 109 – 112.
Wang rui, Xie wei-xin. Analysis of higher order fuzzy coverage for sensor networks [J]. Acta Electronica Sinica, 2007, 12A(35): 109 – 112. (in Chinese)

作者简介



刘 全 男, 1969 年生于内蒙古, 博士, 教授, 博士生导师. 主要研究方向为强化学习、无线传感器网络、智能信息处理.
E-mail: quanliu@suda.edu.cn



杨 凯 男, 1985 年生于湖北, 硕士, 主要研究方向为无线传感器网络.