

基于改进 PSO 的 WMSNs 覆盖增强算法

郭 剑^{1,2,3}, 孙力娟^{1,2,3}, 韩 崇¹, 肖 甫^{1,2,3}, 王汝传^{1,2,3}

(1 南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003; 2 江苏省无线传感网高技术研究重点实验室, 江苏 南京 210003;
3 宽带无线通信与传感网技术教育部重点实验室, 江苏 南京 210003)

摘 要: 对无线多媒体传感器网络(WMSNs)的覆盖增强问题进行了研究. 在 WMSNs 网络中, 视频、图像节点的视角范围有限, 只能监控周围的部分区域. 由于节点数量众多、部署方式受限等原因, 网络中往往存在大量的监测重叠与监控盲区, 需要对各节点的感知方向进行优化, 以提高网络的监控质量. 文中基于有向感知模型, 提出了一种覆盖增强算法 MCE. MCE 对各节点的感知方向进行调整, 并使用了改进的 PSO 算法来计算求解. 仿真实验表明, MCE 算法能够有效地提高网络的覆盖率.

关键词: 覆盖增强; 无线多媒体传感器网络; 粒子群优化算法; 有向感知模型

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)05-0001-05

A Coverage Enhancing Algorithm Based on Improved PSO for Wireless Multimedia Sensor Networks

GUO Jian^{1,2,3}, SUN Li-juan^{1,2,3}, HAN Chong¹, XIAO Fu^{1,2,3}, WANG Ru-chuan^{1,2,3}

(1 College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China;

2 Jiangsu High Technology Research Key Laboratory for Wireless Sensor Networks, Nanjing 210003, China;

3 Key Lab of Broadband Wireless Communication and Sensor Network Technology,
Ministry of Education Jiangsu Province, Nanjing 210003, China)

Abstract: The issue of coverage enhancement in Wireless Multimedia Sensor Networks (WMSNs) was studied. In WMSNs, nodes of video and image had limited view range and could monitor only part of the surrounding. Due to the large quantity of sensor nodes and the limitation of deploying methods, phenomenon of monitoring overlapping and blind area occurred frequently. Hence, to improve monitoring quality, optimizing the monitoring directions of the sensors was necessary. This problem was discussed in this paper, and based on the directional sensing model, a coverage enhancing algorithm called MCE was proposed. MCE used an improved particle swarm optimization algorithm and adjusted the directions of all sensors. Simulation results showed that, MCE algorithm improved the coverage greatly.

Key words: coverage enhancing; wireless multimedia sensor networks; particle swarm optimization algorithm; directional sensing model

收稿日期: 2011-09-21; **修回日期:** 2011-10-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(60973139, 61003039, 61003236, 61171053); 江苏省科技支撑计划(工业)项目(BE2010197, BE201019); 江苏省级现代服务业发展专项资金; 江苏省高校自然科学基金基础研究项目10KJB520013, 10KJB520014); 高校科研成果产业化推进工程项目(JH10-14); 国家和江苏省博士后基金(20100480048, 20100471353, 1001006B); 江苏高校科技创新计划项目(CX10B-196Z, CX10B-197Z, CX10B-198Z, CX10B-199Z, CX10B-200Z); 江苏省六大高峰人才项目(2008118); 教育部高等学校博士学科点专项科研基金(20103223120007); 江苏省计算机信息处理技术重点实验室基金(KJS1022); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(yx002001)

1 引言

无线多媒体传感器网络^[1] (Wireless Multimedia Sensor Networks, WMSNs) 是无线传感器网络 (Wireless Sensor Networks, WSNs) 的高级形式, 在安全监控、军事侦察、活动看护等领域具有广泛的应用前景. WMSNs 能够提供温度、湿度、压力、图像、声音、视频等多种类型的感知数据, 并能完成目标识别、物体跟踪、图像压缩等多种高级任务, 功能比 WSNs 更为强大.

对目标区域进行监控是 WMSNs 的基本任务之一. 人们可以将一些多媒体节点布置在指定的环境中, 并对感兴趣的数据进行收集. 网络对目标区域的覆盖率常常作为衡量 WMSNs 服务质量的一个重要指标. 通常情况下, 网络监测覆盖的范围越广, 它的监控质量就越高. 因此, 当一个网络刚刚铺设时, 往往需要对其进行覆盖优化处理, 以减少监测重叠与监控盲区, 提高网络的服务质量.

WSNs 中已经有了不少覆盖增强的处理手段, 但这些方法在 WMSNs 中并不一定有效. 这是因为, WSNs 采集的数据比较简单, 节点的感知范围往往看成一个圆盘, 即认为节点可以全方位的感知到周围的情况^[2], 但在 WMSNs 中, 多媒体节点的视角范围是很有限的, 全向感知模型无法使用. 为了解决这个问题, 研究人员提出了方向受限的感知模型, 如等腰三角形模型^[3] 和扇形模型^[4-5] 等. 在后一种模型的基础上, 研究人员引入了虚拟势场方法来提高网络的覆盖能力^[5], 其核心思想是将传感器节点看作是可以绕节点位置旋转的质点, 并利用质点之间的“引力”与“斥力”来调节节点的感知方向. 肖甫等人又将这个方法用于路径覆盖问题中^[6-7]. 这类方法的主要问题是: 算法的计算量较大, 且容易早熟, 停滞于局部最优解.

本文引入了粒子群优化算法 (Particle Swarm Optimization, PSO) 来解决这个问题^[8-9]. PSO 算法是一类经典的演化方法, 但算法收敛速度较慢, 且容易陷入局部最优. 本文改进了 PSO 算法的位置更新方法, 提出了一种多位置可选的 PSO 算法 (Multi-position Selectable Particle Swarm Optimization Algorithm, MPSO). 在此基础之上, 本文将其应用到 WMSNs 的覆盖控制中, 提出了基于 MPSO 的覆盖增强算法 (MPSO Based Coverage Enhancing Algorithm, MCE). 仿真实验表明, MCE 算法取得了较好的效果.

2 网络模型

2.1 感知模型

本文使用图 1 所示的节点感知模型^[4]. 它表示传感器节点 O 只能感知半径为 R , 角度为 2θ 的一个扇形区域. 假设 $\vec{OD}$ 是该扇形对角线方向上的一个单位向量, 则称 $\vec{OD}$ 是节点 O 的主感知方向.

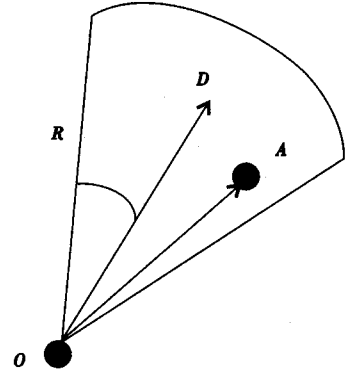


图1 多媒体节点的感知模型

对于平面上的某一点 A , 如果它在该扇形区域之内, 就认为节点 O 覆盖了它, 即满足:

$$\begin{cases} |\vec{OA}| \leq R \\ \vec{OA} \cdot \vec{OD} \geq |\vec{OA}| \cos \theta \end{cases} \quad (1)$$

2.2 网络模型

本文假定研究的 WMSNs 模型符合如下要求.

- (1) 节点使用上节所述的有向感知模型, 且所有节点的感知半径与视角大小相同.
- (2) 节点被随机部署在一个矩形区域内. 节点的位置与主感知方向均满足均匀分布.
- (3) 节点的位置固定, 但可以围绕自身旋转, 从而调节节点的主感知方向.

3 问题描述

假设监控区域中所有点的集合为 S , 部署的 WMSNs 由 n 个节点组成. 对于某一节点 i , $1 \leq i \leq n$, 假设初始的主感知方向为 $\vec{v}_i$, 覆盖的点集为 s_i , 覆盖增强处理后, 它的主感知方向变为 $\vec{v}'_i$, 覆盖的点集变为 s'_i . 分析如下.

实施覆盖增强处理前后, 网络的覆盖率 P 和 P' 分别为:

$$P = \frac{(\bigcup_{i=1}^n s_i) \cap S}{S} \quad (2)$$

$$P' = \frac{(\bigcup_{i=1}^n s'_i) \cap S}{S} \quad (3)$$

覆盖率的增量 ΔP 为:

$$\Delta P = \frac{(\bigcup_{i=1}^n s'_i) \cap S - (\bigcup_{i=1}^n s_i) \cap S}{S} \quad (4)$$

网络的覆盖率应尽可能地增大,即 $\max(\Delta P)$.

在式(4)中,当 WMSNs 部署后, $\bigcup_{i=1}^n s_i$ 、 S 均是常量,因此要使 $\max(\Delta P)$ 成立,只需式(5)成立即可.

$$\max(\bigcup_{i=1}^n s'_i) \quad (5)$$

因此,覆盖增强的目标就是找到一组向量 $\{\vec{v}_1, \vec{v}_2, \dots, \vec{v}_n\}$,使得 $\bigcup_{i=1}^n s'_i$ 最大.

4 多位置可选的 PSO 算法

4.1 标准 PSO 算法

PSO 算法是一种基于群智能的优化算法. 它将搜索个体看成解空间中的粒子,并通过粒子间的信息交流,不断调整粒子的速度和位置,从而在解空间中进行搜索寻优操作.

标准 PSO 算法(Standard PSO, SPSO)的主要思想如下. 假设算法中有 N 个粒子,搜索空间为一个 D 维的空间. 对于某一粒子 i , $1 \leq i \leq N$,其坐标位置记为 $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id}, \dots, x_{iD})$,速度记为 $v_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{id}, \dots, v_{iD})$,则粒子 i 根据式(6)、(7)调整自己的速度与位置.

$$v_i^{k+1} = \omega v_i^k + c_1 \text{rand}_1() (P_i^k - x_i^k) + c_2 \text{rand}_2() (P_g^k - x_i^k) \quad (6)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \quad (7)$$

其中, P_i^k 是粒子 i 的历史最优位置, P_g^k 是整个粒子群体的最优位置, ω 为惯性权重, c_1 、 c_2 为加速常数, $\text{rand}_1()$ 和 $\text{rand}_2()$ 是函数,其作用是产生 $[0, 1]$ 上的随机数.

4.2 MPSO 算法

在实际应用中发现,SPSO 的收敛速度较慢,寻优能力不是很强^[9]. 分析更新公式(6)、(7)后可以发现,公式(6)中包括三项内容: ωv_i^k 、 $c_1 \text{rand}_1() (P_i^k - x_i^k)$ 和 $c_2 \text{rand}_2() (P_g^k - x_i^k)$, 分别代表粒子的飞行惯性、历史经验和群体经验,这三项往往存在着耦合与冲突,不可能每一项都代表最佳的飞行方向,而式(6)只是将它们加在一起,进行了简单的折中,容易导致节点错过最佳的方向与位置,因而减缓了粒子的更新速度,降低了算法的搜索性能.

针对这个问题,文中提出了 MPSO 算法,对式(6)和(7)进行了改进. MPSO 在更新粒子的位置时,会进行多个位置的尝试,并从中选出最佳位置作

为粒子的新位置,其具体过程如下.

Step 1: 分别计算粒子按惯性、个体经验和群体经验飞行时的速度.

$$\begin{cases} v_1^{k+1} = \omega v_i^k \\ v_2^{k+1} = c_1 \text{rand}_1() (P_i^k - x_i^k) \\ v_3^{k+1} = c_2 \text{rand}_2() (P_g^k - x_i^k) \end{cases} \quad (8)$$

Step2: 根据一个或多个速度来计算粒子的备选位置 $x_i(\alpha, \beta, \gamma)$.

$$x_i(\alpha, \beta, \gamma) = x_i^k + \alpha \cdot v_1^{k+1} + \beta \cdot v_2^{k+1} + \gamma \cdot v_3^{k+1} \quad (9)$$

其中, α 、 β 、 γ 的值为 0 或 1,且 α 、 β 、 γ 不同时为 0.

Step 3: 计算所有 $x_i(\alpha, \beta, \gamma)$ 对应的适应度值,并选取最大的适应度值,将其位置作为粒子的新位置 x_i^{k+1} .

从 MPSO 的粒子更新过程可以看出,与 SPSO 算法相比, MPSO 只是计算量有所增加,算法复杂度并没有提高.

5 基于 MPSO 的覆盖增强算法

5.1 算法思路

WMSNs 覆盖增强的任务就是求得一组合适的解,使得式(5)成立. 当网络中的节点较多时,其计算量较大,因此本文使用了 MPSO 算法来求解. MCE 算法的主要思路是,将 WMSNs 覆盖增强问题转化为一个 n 维空间的最优解搜索问题,其中目标函数为 $\bigcup_{i=1}^n s'_i$,解空间为一个 n 维的空间,每一维的取值范围均是 $[0, 2\pi]$.

5.2 MCE 算法的实现

应用 MPSO 的主要问题是粒子的编码和适应评价函数的设计,下面分别进行介绍.

(1) 粒子的编码

在 MCE 算法中,一个粒子是一个 n 维的向量,每一维代表一个节点的主感知方向,其编码方式如图 2 所示.

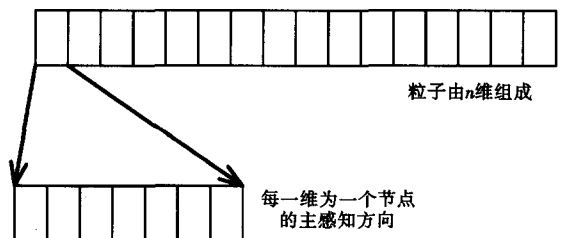


图 2 粒子编码

(2) 适应度函数的设计

理想情况下,应使用网络覆盖率来评价粒子,如式(10)所示.

$$f = \frac{(\bigcup_{i=1}^n s'_i) \cap S}{S} \quad (10)$$

其中, f 是粒子的适应度值. 直接计算式(10)较为困难,因此 MCE 算法进行了近似处理,在监控区域的水平和竖直方向上分别以间距 d 等距离的取了一些离散点,并以这些离散点被覆盖的比率作为监控区域覆盖率的近似. 假设一共取了 t 个点,其中 t_s 个点被覆盖,则适应度 f 为:

$$f = \frac{t_s}{t} \quad (11)$$

f 的求解过程如图 3 所示.

```

i = 1, t_s = 0
while i <= t
do
    j = 1
    while j <= n
    do
        if Sensing (point[i], sensor[j]) is true
        {
            t_s = t_s + 1
            break
        }
        j = j + 1
    end while
    i = i + 1
end while
f = t_s / t

```

图 3 求解 f 的伪代码

在图 3 的伪代码中, point 和 sensor 是两个结构体数组. 其中, point 存储了区域中所有离散点的信息, sensor 存储了网络中所有节点的信息. Sensing(point[i], sensor[j]) 是一个函数,它的功能是根据式(1)来判断 point[i] 是否处于 sensor[j] 的监控范围内,如果是则返回 true,否则返回 false.

5.3 算法流程

MCE 算法的流程如下:

- (1) 各传感器节点向 sink 节点汇报自己的位置信息.
- (2) sink 节点运行 MPSO 算法计算出各节点的主感知方向.
- (3) sink 节点将计算结果发送给传感器节点,各节点根据其进行调整.

5.4 复杂度分析

假设网络中传感器节点的个数为 n , 在 MPSO 算法中, 粒子个数为 m , 算法的迭代次数为 l , 并假设粒子的每一维使用了 k 位的二进制编码.

(1) 时间复杂度

在 MCE 算法中, 最复杂的操作就是粒子的适应度评估. 对单个粒子进行适应值评估的时间开销是 $O(tn)$, 所以 MCE 算法总的时间复杂度为 $O(tmnl)$.

(2) 空间复杂度

MCE 算法的存储开销由两部分组成: 离散点信息存储和粒子群信息存储, 其空间复杂度分别为 $O(t)$ 和 $O(mnk)$. 因此, MCE 算法总的存储开销为 $O(t+mnk)$.

6 仿真及测试

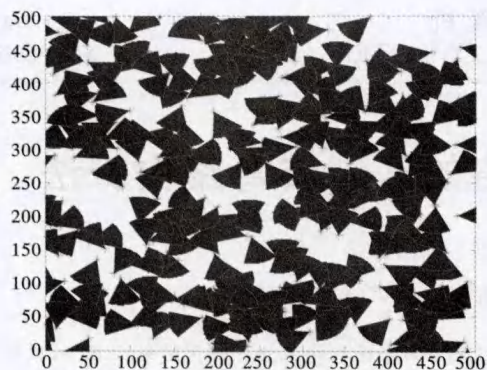
在 Matlab 环境下实现了 MCE 算法, 并进行了仿真测试. 为了进行对比, 本文另外实现了两个算法: 基于虚拟势场的覆盖增强算法 PFCE^[5] (Potential Field based Coverage Enhancing algorithm) 和基于标准 PSO 的覆盖增强算法 SCE (Standard PSO based Coverage Enhancing algorithm). 算法的迭代次数均为 200 次, 在 MCE 算法和 SCE 算法中, 粒子数均为 200.

实验分为两组进行. 仿真场景大小均为 $500 \times 500(\text{m}^2)$. 在第一组实验中, 节点半径 r 保持 40 不变, 节点数 n 依次为 100、150、200、250、300、350、400. 在第二组实验中, 节点数 n 保持 300 不变, 节点半径 r 依次为 10、20、30、40、50、60、70. 每个场景各进行 30 次试验, 并计算平均值.

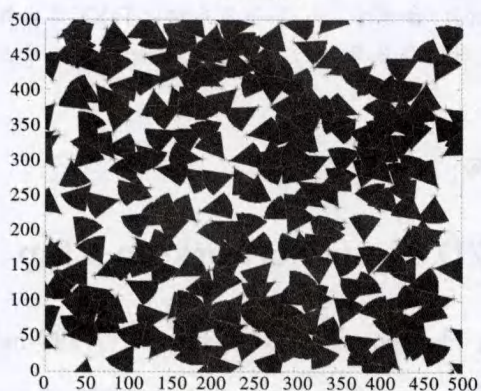
图 4 和图 5 是其中一次实验的结果. 图 4 是使用覆盖增强算法的效果对比. 从图中可以看出, 进行覆盖增强处理后, 网络中的覆盖重叠和覆盖盲区均有所减少, 网络的覆盖率均有所提高. 相比之下, MCE 算法的覆盖率增加得最多, SCE 次之, PFCE 最少. 图 5 是三种算法运行过程中最优解的进化对比. 从图中可以看出, MCE 算法不仅收敛速度较快, 而且最优解的质量也最高.

图 6 和图 7 是三种算法的平均值比较. 图 6 是节点数不同时, 三种算法覆盖率提高的结果比较. 图 7 是感知半径不同时, 三种算法覆盖率提高的结果比较.

从图 6 和图 7 中可以发现, 当节点过密和过疏时, 覆盖率增加得都不是太多. 这是因为密度较低



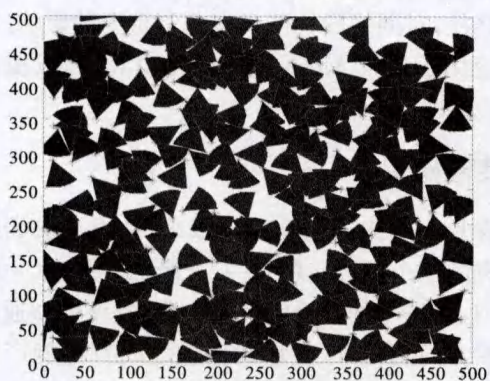
(a) 初始分布



(b) PFCE 运行后的效果



(c) SCE 运行后的效果



(d) MCE 运行后的效果

图4 某次实验的结果比较($n=300, r=40$)

时,监控重叠区域比较少,所以覆盖率提高的潜力不大,而密度较高时,原先的覆盖率已经达到了较高的

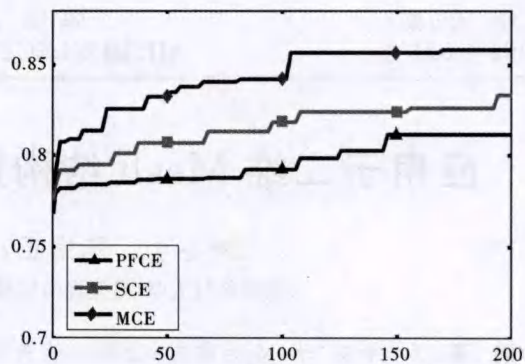


图5 最优解的进化比较

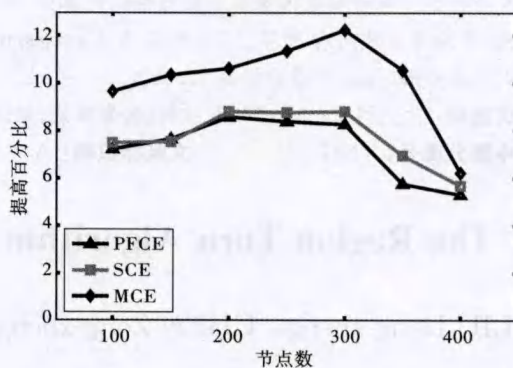


图6 不同节点数对应的覆盖率提高程度

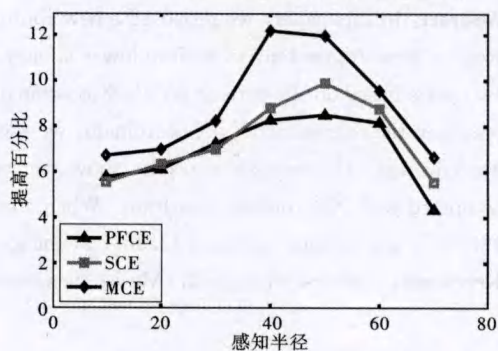


图7 不同感知半径对应的覆盖率提高程度

水准,监控区域中的盲区不多,所以也无法提高很多.尽管如此,在所有的场景中,MCE算法的效果都是最好的,它的寻优能力比PFCE和SCE都要强,覆盖率提高得也最多.

7 结束语

在WMSNs网络中可以通过调整节点的感知方向来提高网络的覆盖率.本文根据这个原理,设计了一种覆盖增强算法MCE. MCE使用了改进的演化算法MPSO来求解各传感器节点的最优感知方向,能够有效地减少网络中的重叠与盲区,提高网络的监控能力,仿真试验也很好的验证了这一点.

(下转第9页)

5 结束语

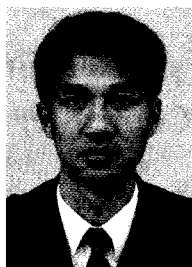
本文针对奇偶转弯模型在均匀模式下相对于 XY 路由算法不能提供更好的网络性能这一问题,提出一种新的路由算法——区域转弯算法.该算法利用当前节点的 X 坐标,将整个 Mesh 网络划分为两个部分,目的节点 X 坐标小于等于当前节点 X 坐标的实行西优先算法,反之实行北最后算法.通过 gpNoCsim 仿真工具的验证,在均匀模式下该算法相对于 XY 路由算法,平均延迟时间有所降低,当负载为 40cycles/message 时,延迟时间降低最大,达到 13.99%.吞吐率在负载为 20cycles/message 时最大提高 13.56%,因此本文算法能够有效改善网络的性能.

参考文献:

- [1] Benini L, Micheli G De. Networks on chips: a new SoC paradigm [J]. Computer, 2002, 35(1):70-78.
- [2] 钱宇平,李广军,潘经纬.基于容错虫洞路由的动态片上网络研究 [J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(9): 5-7.

- [3] 万玉鹏,吴宁.基于自适应算法的 NoC 路由单元的系统级设计 [J]. 微电子学与计算机, 2010, 27(9):43-49.
- [4] Glass C J, Ni L M. The turn model for adaptive Routing [J]. ACM, 1994, 41(5): 874-902.
- [5] Chiu GM. The odd-even turn model for adaptive routing [J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2000, 11(7): 729-738.
- [6] Hemayet H, Mostak A, Abdullah A et al. GpNoCsim—A, general purpose simulator for network-on-chip [R]. Dhaka, Information and Communication Technology, 2007: 254-257.

作者简介:



刘冬生 男,(1978-),博士.研究方向为电路系统和集成电路设计.

(上接第5页)

参考文献:

- [1] Sharif A, Potdar V, Chang E. Wireless multimedia sensor network technology: a survey [C]//Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Industrial Informatics. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2009: 606-613.
- [2] 凡高娟.无线传感器网络覆盖控制技术研究 [D].南京:南京邮电大学, 2010.
- [3] Tezcan N, Wang W. Self-orienting wireless multimedia sensor networks for occlusion-free viewpoints [J]. Computer Networks, 2008, 52 (13):2558-2567.
- [4] Ma H D, Liu Y H. On coverage problems of directional sensor networks [C]//Proceedings of the International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Networks. LNCS 3794, Berlin: Springer-Verlag, 2005: 721-731.
- [5] 陶丹,马华东,刘亮.基于虚拟势场的有向传感器网络覆盖增强算法 [J]. 软件学报, 2007, 18(5): 1152-1163.
- [6] 肖甫,王汝传,叶晓国,等.基于改进势场的有向传感器网络路径覆盖增强算法 [J]. 计算机研究与发展, 2009, 46(12): 2126-2133.

- [7] 陶丹,马华东,刘亮.视频传感器网络中路径覆盖增强算法研究 [J]. 电子学报, 2008, 36 (7): 1291-1296.
- [8] Kameyama K. Particle swarm optimization-A survey [J]. IEICE Transactions on Information and Systems, 2009, E92D(7): 1354-1361.
- [9] Rana S, Jasola S, Kumar R. A review on particle swarm optimization algorithms and their applications to data clustering [J]. Artificial Intelligence Review, 2011, 35(3): 211-222.

作者简介:

郭剑 男,(1978-),博士研究生,讲师.研究方向为无线传感器网络、演化计算.

孙力娟 女,(1963-),博士,教授,博士生导师.研究方向为无线传感器网络、演化计算.

韩崇 男(1985-),博士研究生.研究方向为无线传感器网络.

肖甫 男,(1980-),博士,博士后,副教授.研究方向为卫星网络通信、无线自组织网络、多媒体技术等.

王汝传 男,(1943-),教授,博士生导师.研究方向为无线传感器网络、计算机软件、计算机网络等.