

基于空间分辨率的无线传感网节点调度策略

任秀丽, 王伟勇*

(辽宁大学 信息学院, 沈阳 110036)

(*通信作者电子邮箱 wangwy_1987@163.com)

摘要:节点调度策略是解决无线传感器网络(WSN)能量受限和覆盖高度冗余的一种有效方法,但在节能的同时又必须满足覆盖率的需求。针对随机调度中的能量消耗不均衡且使用不合理等问题,提出一种基于空间分辨率的节点调度策略。该策略通过控制区域中的活动节点数来保障网络的覆盖率要求,并利用剩余能量来均衡化各节点的能耗。同时借助邻居节点保障机制,一方面关闭休眠节点的实时监听,减少不合理的能耗;另一方面缓解节点轮休时可能出现的覆盖漏洞问题,有效保障网络覆盖率。仿真结果表明,该策略在网络覆盖率、生存期以及节点间的能耗均衡度等方面的性能表现优于 Gur Game 等调度算法。

关键词:节点调度;覆盖冗余;空间分辨率;能耗均衡;可靠性

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A

Node scheduling scheme based on spatial resolution in wireless sensor networks

REN Xiuli, WANG Weiyong*

(College of Information, Liaoning University, Shenyang Liaoning 110036, China)

Abstract: Node scheduling scheme is an effective approach to solve problems of energy constraints and high coverage redundancy in Wireless Sensor Network (WSN). However, it should satisfy the requirements of coverage rate as well as energy saving. To solve the problems of unbalanced and inefficient energy consumption of nodes in random node scheduling schemes, a node scheduling scheme based on spatial resolution was proposed. This scheme maintained coverage rate by controlling the number of active nodes in a deployed area, and balanced the remaining energy of every node. Meanwhile, a neighbor nodes protection mechanism was adopted to ensure that the dormant nodes closed real-time listening to reduce energy consumption, and the demand of coverage rate was fulfilled effectively due to relieving the situation of coverage holes which may occur when nodes take turns to rest. The simulation results indicate the performance of this scheme is superior to other similar schemes in coverage rate, lifetime and balance of energy consumption among nodes.

Key words: node scheduling; coverage redundancy; spatial resolution; energy consumption balance; reliability

0 引言

物联网作为下一代信息网络的新兴产业,推动了科技发展和社会进步,已成为国际竞争的焦点。作为物联网信息采集关键技术的无线传感器技术,极大地改变了人类与自然的交互方式,被广泛应用于军事、环境、医疗等相关领域^[1]。

不同于传统的端到端网络,无线传感器网络(Wireless Sensor Network, WSN)节点携带的能量有限,且其部署的环境比较复杂,使其在部署后能量难以得到及时补充。因此,在保证满足用户需求的前提下,如何最大限度地减少能量的消耗来延长网络的服务周期是传感器网络技术研究的关键问题,即服务质量保障问题^[2]。

节点调度是一种比较有效的能量优化策略,其主要思想是保证在一定覆盖率的前提下,通过合理地分配节点的数据采集和传输时间,让已处于覆盖冗余的节点轮流切换至低功耗的休眠状态,从而达到能量有效利用的目的。由于传感器网络节点通常是高密度部署的,若所有节点全都处于工作状态,一方面会使冗余节点的能量白白浪费并产生数据采集冗余;另一方面易使局部信道拥塞和数据冲突,导致能量过多消耗而缩短网络生存时间^[3]。

节点调度最首要的任务是判别节点是否是覆盖冗余的。常用的方法是通过获取节点精确的地理信息来计算节点是否被邻居全覆盖^[4-5];Zhang等^[4]研究如何使用最少节点来使网络全覆盖且保证其连通性。但此类方法需要借助精准的定位技术,复杂度高,甚至需要消耗更多的能量。因此,近年来不断有学者提出不依赖准确地理信息的调度策略。一种是节点协作调度^[6-8],节点充分利用周围邻居节点的距离、密度等信息来调度,可有效地减少网络中的冗余节点。然而若只单纯依赖邻居信息,易使部分区域因局部性因素而产生节点分布不均衡,如区域边界的节点,容易因其邻居数较少而无法等概率休眠导致其过早耗亡^[9]。另一种是随机调度,节点按照某种概率随机自适应调度^[6,10-13],调度与节点的位置信息无关,且简单易实现。Choi等^[10]证明对于网络要求某个覆盖度,只要节点数目达到一定要求时,随机调度策略能以较大概率满足指定的覆盖要求。Iyer等^[11]提出了基于 Gur Game 模型的调度策略,控制网络的活动节点数收敛于某个最佳值,并利用马尔可夫随机过程来记录节点的工作状态,但存在节点一旦活动将持续到其消亡才开始新一轮调度的问题,导致各区域节点能量消耗不均衡。Tsai等^[12]提出的 Shuffle 算法对其进行了改进,但是引进的边缘状态互换机制导致多个节点

收稿日期:2013-03-11;修回日期:2013-04-10。 基金项目:辽宁省自然科学基金资助项目(201202089)。

作者简介:任秀丽(1965-),女,吉林四平人,教授,博士,主要研究方向:无线网络与通信;王伟勇(1987-),男,福建泉州人,硕士研究生,主要研究方向:无线传感器网络。

要在同一时间内转换状态,且需花费时间来调整网络平衡。

针对以上调度存在的问题,力求改善其节点能量消耗不均衡且不合理使用等现象。而 Gur Game 模型仅使用既定的最佳活动节点数,并未对其空间分辨率与覆盖区域关系进行说明。本文结合 Gur Game 模型的特点,得出了节点空间分辨率的概念及其与覆盖区域大小的关系,并提出基于空间分辨率的节点调度策略(Node Scheduling Scheme based on Spatial Resolution, N3SR)。

1 系统模型

1.1 Gur Game 模型

Gur Game 模型^[11]是一种协作环境中的自我控制随机模型。其核心思想是通过控制区域中的最佳活动节点数来保证网络的覆盖率,由 Sink 节点管理各传感节点自适应地轮换工作,保证区域内只有指定个数的节点活动。

假设在传感器网络中, n 个传感器节点被随机均匀地部署在监测区域 Ω 内,且区域内的节点数满足网络的覆盖要求, Sink 节点位于区域中心。由部署的目标区域大小确定所需的最佳活动节点数为 S 。传感节点采取一跳到 Sink 节点,类似分簇拓扑结构中簇内的通信模型。首先, Sink 节点广播通知传感节点调度开始,并监听传感节点回复包;然后,全体传感节点收到通知包后,处于活动状态的传感节点回复 Sink 节点;接着, Sink 节点收到回复包便统计处于活动状态的节点数 k ,并根据该 k 值由奖惩函数式(1)计算出相应的奖惩值 $P(k)$,并将该奖惩门限值再广播给各传感节点;最后,各传感节点随机生成一个数 Pr ,并与收到的奖惩门限值比较,若 $Pr \leq P(k)$ 将得到奖励,否则将得到惩罚。

$$P(k) = 0.2 + 0.8 \exp(-0.002(k - S)) \quad (1)$$

依据节点目前所处作息状态,进行奖惩状态转换。如图1所示,奖励的概率为 $P(k)$,惩罚的概率为 $1 - P(k)$ 。

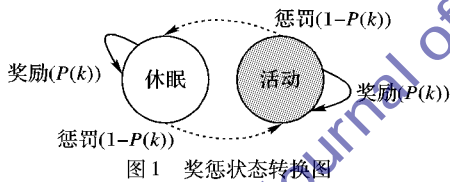


图1 奖惩状态转换图

1.2 相关定义

定义1 邻居节点。在监测区域 Ω 内对于任意一个节点 i ,其邻居节点 $N(i)$ 定义如下:

$$N(i) = \{j \in \Omega \mid d(i, j) \leq 2R, i \in \Omega, j \neq i\} \quad (2)$$

定义2 覆盖率。在某一 t 时刻,活动节点的感应覆盖区域面积 $A_{\text{cover}}(t)$ 占总部署区域面积 A 的比例为覆盖率 $\lambda(t)$:

$$\lambda(t) = A_{\text{cover}}(t)/A \quad (3)$$

定义3 空间分辨率。在某个监测区域内,既能达到满足用户要求的覆盖率 λ ,又能使传感器网络能耗最低的最小活动节点数 S ,即为该区域的空间分辨率。Choi 等^[10]给出了其与覆盖率 λ 、部署区域大小 $l \times l$ 及传感器网络半径 R 的关系如式(4)所示:

$$S = \left\lceil \frac{\log(1 - \lambda)}{\log[(l^2 + 4lR)/(l^2 + 4lR + \pi R^2)]} \right\rceil \quad (4)$$

2 基于空间分辨率的节点调度策略

基于空间分辨率的节点调度策略采用时分复用(Time Division Multiple Access, TDMA)机制分轮进行调度工作。为简化相关工作,本文选用非层次化网络拓扑模型,亦可扩展到

层次拓扑结构的内部调度。

2.1 信息收集

在初始阶段, Sink 节点广播 Begin_Scheduling() 通知各节点开始调度并转入监听;各传感节点回应并报告当前状态 Node_State(节点 id , 作息状态 $Mode$, 当前剩余电量 E_{id})。

Sink 节点收到上述回应报文,统计节点状态为活动的节点个数 k ,由式(1)计算出奖惩门限值 $P(k)$,并将其广播给所有传感节点。在其通信半径的其他传感节点也同样接收到上述 Node_State 报文后,接着测量与之的相关距离(注:假设节点一旦部署后不再移动,故该测距只在初始阶段进行,后期只需对邻居表进行更新,以节省能量),最后在邻居表中建立相应的邻居信息 Nbr_Item(节点 id , 作息状态 $Mode$, 当前剩余电量 E_{id} , 与当前节点距离 d_{id})。

2.2 调度的优化

2.2.1 收敛速度优化

Gur Game 模型中奖惩门限值的模糊性导致调度应当增加还是减少活动节点的问题不明确。如图2所示,假设 $S = 35$,当活动节点数 a 和 b 满足条件为: $b < S, a > S$ 且 $P(b) = P(a)$ 时,系统无法确定应增加或减少活动节点才能迅速让网络收敛到最佳活动节点数。因此,为了优化收敛速度, Sink 节点广播奖惩门限值 $P(k)$ 时,附加标志位 $Flag$ 。当 $Flag$ 为负值时说明少于 S ,控制部分休眠节点转为活动状态;当其为正值时说明多于 S ,控制部分活动节点转为休眠状态,从而提高网络的收敛速度。

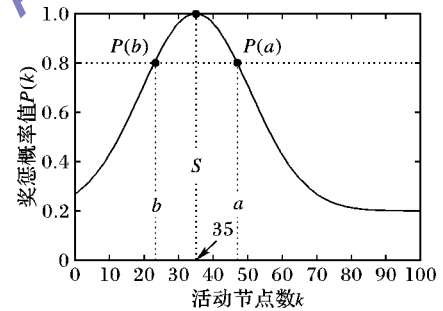


图2 奖惩概率函数 ($S = 35$)

2.2.2 奖惩门限值的修正

由于 Gur Game 模型中节点的调度使区域内节点能量消耗不均衡,节点一旦被确定活动状态后将持续工作到其耗亡,才开启新一轮的节点调度。针对该问题, N3SR 采用每隔 m 轮修改一次奖惩门限值来调整网络节点能量消耗的不均衡性。当每个传感节点在第 r 轮收到 Sink 节点发送的奖惩门限值 $P(k)$ 后,对其进行修正的奖惩门限值 $P_{\text{mod}}(k, r)$:

$$P_{\text{mod}}(k, r) = \begin{cases} P(k), & r \bmod m \neq 0 \\ P(k) \cdot e^{-\varphi}, & r \bmod m = 0 \end{cases} \quad (5)$$

其中当前剩余能量比率 $\varphi = \text{剩余能量} / \text{初始能量}$ 。传感节点将事先已随机生成的数 $Pr (Pr \in (0 \sim 1))$ 与修正后的 P_{mod} 值进行比较,根据比较结果来调整节点的作息状态。

2.3 节点状态的迁移

每个传感节点均使用马尔可夫随机过程独立记录自身所处的作息状态,如图3所示。每个节点有限状态机均有 $2N + 1$ 种状态,分别有 N 个活动状态 ($+1, +2, \dots, +N$), N 个休眠状态 ($-1, -2, \dots, -N$), 1 个预休眠状态 0。相关工作^[13]表明,当 $N = 3$ 时整个系统的性能达最佳状态。

根据 2.2 节所述的比较结果来调整节点的作息状态:若 $Pr \leq P_{\text{mod}}$,则沿图3所示的实线向两边的状态转移(概率为 P_{mod}),边缘状态自循环转移;若 $Pr > P_{\text{mod}}$,则沿图3的虚线向

中间的状态转移(概率为 $1 - P_{mod}$)。特别地,当节点休眠前会先进入预休眠状态0。此时节点先将自身的状态标志置为休眠态,并发送状态更新包 *Update_Msg*(节点 *id*, 节点状态 *Mode*) 通知邻居自己休眠,然后判断是否还有数据未处理。若有数据,则在进入节点工作阶段后,不监听信息,而只负责上传已采集的数据,直至传完或规定的时间内进入休眠状态-1;否则,直接进入休眠状态-1。经过若干次调度调整,直至传感节点数收敛至 *S* 时,该轮调度结束。

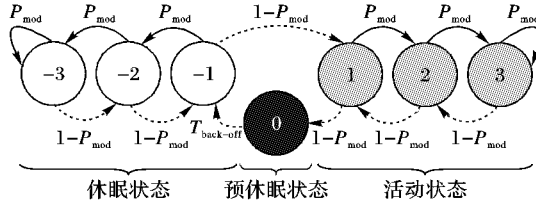


图3 节点状态有限状态机转换图 ($N=3$)

2.4 邻居节点可靠性保障

与 Gur Game 模型不同的是, N3SR 引入邻居节点可靠性保障机制,一方面关闭休眠节点的实时监听,减少不合理的能量开销;另一方面缓解节点轮休时可能出现的覆盖洞问题,有效保障网络覆盖率。当节点在休眠时,它无需开启通信模块监听异常事件的发生;而是由被判定为异常的节点提前几轮指定某个邻居节点监听等待,其他节点仅需周期性地节点调度阶段开启通信模块监听等待,其他时间均休眠。

2.4.1 异常节点的判断

由无线通信理论的能量衰减模型^[14]可知,假设传感节点在前几轮中平均每轮向 Sink 节点发送 *L* 比特消息,则节点的生命周期可维持的轮数:

$$R = \frac{E_{init}}{E_{round}} = \frac{E_0}{L(2E_{elec} + E_{DA} + \epsilon_{fs} \cdot d_{toSink}^2)} \quad (6)$$

其中: E_0 表示节点初始能量, d_{toSink} 表示传感节点与 Sink 节点的距离, E_{elec} , E_{DA} 表示电路和数据融合的能量消耗, ϵ_{fs} 表示 Friss free-space 无线信道传播模型参数。则第 *r* 轮时每个节点要维持正常运行所需的平均能量为

$$\bar{E}(r) = E_0 \cdot \left(1 - \frac{r}{R}\right) \quad (7)$$

当节点 *i* 的当前剩余能量 E_i 小于能维持后几轮运行的所需能量时,如式(8)所示,则判定此节点为异常节点。

$$E_i < \bar{E}(r) \quad (8)$$

2.4.2 邻居节点的选择与唤醒

一旦某个传感节点被判定为异常节点后,便提前预警。在执行调度时,从邻居表中选取一个条件最优的邻居节点。具体的选择标准由式(9)计算可得, *Nbr* 的值越大,说明其条件越优。当选中某个邻居节点后,便广播该节点的 *id* 值,通知其监听报文,并在适当的时间内唤醒工作,以确保在该点的有效覆盖。该被选中的节点在收到通知后便监听直至收到唤醒报文后由监听转为活动状态。

$$Nbr_{id}(\varphi_{id}, d_{id}) = \alpha \cdot \varphi_{id} + (1 - \alpha) \left(\frac{d_{id} - d_{min}}{d_{max} - d_{min}} \right) \quad (9)$$

其中 φ_{id} 为邻居节点的当前剩余能量比率。

3 性能评估

为验证上述方案的有效性,在 NS2 仿真环境下,将本文的 N3SR 同 Gur Game 算法、对其改进的 Shuffle 算法以及文献[6]中的 LDAS 随机调度算法进行比较。100 个节点被均匀随机部署到 100 m × 100 m 的监测区域中,监测区域的空间分

辨率为 35,节点的初始能量为 1 J,实验采用文献[6]使用的能量模型,节点在传输、空闲和休眠状态的能耗比率为 20:4:0.01。主要从三个方面来验证各算法的性能:网络覆盖率、网络生存期和能量均衡度。

图4是部署网络的覆盖率与运行时间的关系曲线。从图中可以看出,在运行初期四种算法均保持较高的覆盖率,但随着网络的运行,网络中出现部分节点因能量耗尽而死亡,而周围缺乏节点及时补充,从而导致覆盖率下降。假设网络的覆盖率低于 80% 时,网络不可用。LDAS 维持覆盖率高于 80% 的时间略短于 Gur Game,其休眠机制促使节点调度不均匀,导致其运行后期覆盖率急剧下降;而 N3SR 由于邻居节点保障机制使其明显优于以上算法,能比 Shuffle 更有效地改善 Gur Game 的性能,缓解节点轮休时可能出现的覆盖洞问题,提高网络的覆盖率。

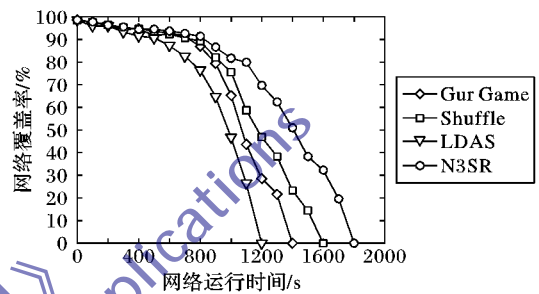


图4 网络覆盖率与运行时间的关系

图5是网络中节点剩余能量与网络运行时间的关系曲线,从图中可以看出网络的剩余能量随着网络的运行而逐渐减少。LDAS 由于其休眠机制依赖于邻居节点个数使其运行后期节点没有获得足够的票数休眠,导致能量迅速减少;Gur Game 网络剩余能量下降相对平缓,Shuffle 优于 Gur Game;而 N3SR 则优于以上算法,虽然在初始化时因维护邻居表能量消耗较大,但其提高了调度的收敛速度,并关闭休眠节点的实时监听功能,减少了不合理的能量消耗,在一定程度上延长了网络的生存周期。

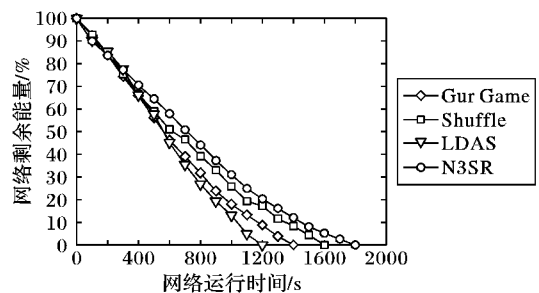


图5 网络剩余能量与运行时间的关系

为了验证 N3SR 能否有效解决 Gur Game 恒醒恒睡问题,采用网络能耗方差来评估网络中各节点能耗平衡情况。网络能量均值为

$$\bar{E}(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i(t) \quad (10)$$

网络能量方差为

$$D_E(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i(t) - \bar{E}(t))^2 \quad (11)$$

其中: *n* 表示区域内部署的传感器总节点数, $E_i(t)$ 表示节点 *i* 在 *t* 时刻的能量值。

图6是整个网络能量方差与运行时间的关系曲线。在能耗均衡度比较中,能量方差越低说明网络各节点的能量消耗越均衡,从图中可以看出,LDAS 在能量均衡度性略优于 Gur

Game,但其生命周期较短,说明其同时工作的节点数多于 Gur Game,但覆盖率却没有明显提高;而 Gur Game 由于其只有等到某一节点死亡后才破坏网络平衡的恒醒问题导致其能耗均衡度最差,变化幅度最大;Shuffle 的状态互换机制有效地减小了 Gur Game 的能量方差,且略优于 LDAS;而 N3SR 在调度过程中充分利用了网络的剩余能量,比 Shuffle 更进一步地减小了 Gur Game 的能量方差,有效缓解了 Gur Game 的能耗均衡度问题。

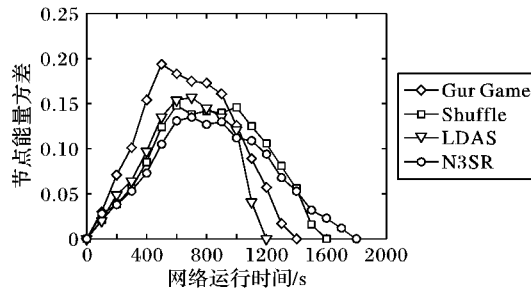


图6 节点能量方差与运行时间的关系

4 结语

针对随机节点调度策略中存在的能量消耗不均衡且不合理使用等问题,本文结合 Gur Game 模型的特点,给出了节点空间分辨率的概念及其与覆盖区域大小的关系,并提出了基于空间分辨率的节点调度策略。实验结果表明,本文方法相比 Gur Game 等节点调度算法进一步有效地保障了网络的覆盖率,延长了网络的生存时间,并均衡了网络各节点间的能量消耗。下一步将在层次化网络拓扑结构下展开基于空间分辨率的节点调度策略的研究,分析网络覆盖率、节点连通性以及网络生命周期之间的关系。

参考文献:

- [1] ATZORI L, IERA A, MORABITO G. The Internet of Things: a survey [J]. *Computer Networks*, 2010, 54(15): 2787 - 2805.
- [2] 文浩,林闯,任丰原,等. 无线传感器网络的 QoS 体系结构[J]. *计算机学报*, 2009, 32(3): 432 - 440.
- [3] WINSTON J J, PARAMASIVAN B. A survey on connectivity maintenance and preserving coverage for wireless sensor networks [J]. *International Journal of Research and Reviews in Wireless Sensor Networks*, 2011, 1(2): 11 - 18.
- [4] ZHANG H, HOU J C. Maintaining sensing coverage and connectivity in large sensor networks [J]. *International Journal of Ad-Hoc and Sensor Wireless Networks*, 2005, 1(1/2): 89 - 124.
- [5] 温俊,蒋杰,方力,等. 异构无线传感器网络的转发连通覆盖方法[J]. *软件学报*, 2010, 21(9): 2304 - 2319.
- [6] WU K, GAO Y, LI F, *et al.* Lightweight deployment-aware scheduling for wireless sensor networks [J]. *Mobile Networks and Applications*, 2005, 10(6): 837 - 852.
- [7] YOUNIS O, KRUNZ M, RAMASUBRAMANIAN S. Location-unaware coverage in wireless sensor networks [J]. *Ad Hoc Networks*, 2008, 6(7): 1078 - 1097.
- [8] YEN L, CHENG Y. Range-Based Sleep Scheduling (RBSS) for wireless sensor networks [J]. *Wireless Personal Communications*, 2009, 48(3): 411 - 423.
- [9] JIANG S, YANG M, SONG H, *et al.* An enhanced perimeter coverage based density control algorithm for wireless sensor network [C]// *Proceedings of the 3rd International Conference on Wireless and Mobile Communications*. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2007: 79.
- [10] CHOI W, DAS S K. Trade-off between coverage and data reporting latency for energy-conserving data gathering in wireless sensor networks [C]// *Proceedings of the 1st International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems*. Piscataway: IEEE, 2004: 503 - 512.
- [11] IYER R, KLEINROCK L. QoS control for sensor networks [C]// *ICC 2003: Proceedings of IEEE International Communication Conference 2003*. New York: IEEE, 2003, 1: 517 - 521.
- [12] TSAI R, WANG H. Shuffle: an enhanced QoS control by balancing energy consumption in wireless sensor network [C]// *Proceedings of the 5th International Conference on Advances in Grid and Pervasive Computing*, LNCS 6104. Berlin: Springer-Verlag, 2010: 603 - 611.
- [13] FROLIK J. QoS control for random access wireless sensor networks [C]// *Proceedings of the 5th IEEE Wireless Communications and Networking Conference*. New York: IEEE, 2004, 3: 1522 - 1527.
- [14] HEINZELMAN W B, CHANDRAKASAN A P, BALAKRISHNAN H, *et al.* An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks [J]. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2002, 1(4): 660 - 670.

(上接第 2107 页)

参考文献:

- [1] KUMAR S, LAI T H, ARORA A. Barrier coverage with wireless sensors [C]// *MobiCom 2005: Proceedings of the 11th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*. New York: ACM, 2005: 284 - 298.
- [2] BAN D S, JIANG J, YANG W, *et al.* Strong k -barrier coverage with mobile sensors [C]// *IWCMC'10: Proceedings of the 6th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference*. New York: ACM, 2010: 68 - 72.
- [3] GAGE D W. Command control for many-robot systems [J]. *Unmanned Systems*, 1992, 10(4): 28 - 34.
- [4] LIU B Y, DOUSSE O, WANG J, *et al.* Strong barrier coverage of wireless sensor networks [C]// *MobiHoc'08: Proceedings of the 9th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing*. New York: ACM, 2008: 411 - 420.
- [5] LI J K, CHEN J M, LAI T H. Energy-efficient intrusion detection with a barrier of probabilistic sensors [C]// *INFOCOM'12: Proceedings of 2012 IEEE International Conference on Computer Communications*. Piscataway: IEEE, 2012: 118 - 126.
- [6] MAJID M N, MOHAMMAD K, MOHAMMAD M. A novel protocol for barrier k -coverage in wireless sensor networks [J]. *Global Journal of Computer Science and Technology*, 2012, 12(11): 57 - 62.
- [7] 班冬松,温俊,蒋杰,等. 移动无线传感器网络 k -栅栏覆盖构建算法[J]. *软件学报*, 2011, 22(9): 2089 - 2103.
- [8] 舒坚,余坤,刘琳岚,等. 无线传感器网络中基于移动模型的栅栏覆盖研究[J]. *计算机研究与发展*, 2011, 48(z2): 141 - 144.
- [9] YANG H Q, LI D Y, ZHU Q H, *et al.* Minimum energy cost k -barrier coverage in wireless sensor networks [C]// *WASA 2010: Proceedings of the 5th International Conference on Wireless Algorithms, Systems, and Applications*. Berlin: Springer-Verlag, 2010: 80 - 89.
- [10] MA H, LI D Y, CHEN W P, *et al.* Energy efficient k -barrier coverage in limited mobile wireless sensor networks [J]. *Computer Communications*, 2012, 35(14): 1749 - 1758.
- [11] 邢文训,谢金星. 现代优化计算方法[M]. 2 版. 北京:清华大学出版社, 2006: 15 - 16.
- [12] 韩志杰,吴志斌,王汝传,等. 新的无线传感器网络覆盖控制算法[J]. *通信学报*, 2011, 32(10): 174 - 184.