

基于 Multi-Agent 的多权值优化分簇算法及仿真研究

刘 佳, 黄友锐, 唐超礼, 曲立国, 韩 涛

(安徽理工大学 电气与信息工程学院, 安徽淮南 232001)

摘 要: 提出了一种基于 Multi-Agent 的多权值优化分簇算法, 算法定义了多种 Agent 类型, 在簇头选举阶段选取了影响簇头合理分布的多个网络参数, 在簇的更新阶段采用移动 Agent 启发机制进行簇的局部更新. 仿真结果表明, 算法不仅可以选出合理的簇头, 使能量均匀的消耗, 还可以节省整个网络的能量消耗.

关键词: 节点能耗; 多权值优化; 多智能体; 簇头选举

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)08-0040-05

Multi-weighted Optimization Clustering Algorithm Based on the Multi - Agent and Simulation Study

LIU Jia, HUANG You-rui, TANG Chao-li, QU Li-guo, HAN Tao

(School of Electrical and Information Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan 232001, China)

Abstract: A multi-weighted optimization clustering algorithm based on the multi-Agent is presented in the paper. The algorithm defines multiple Agent types, considers the multiple network parameters that have a great influence on the reasonable distribution of cluster heads when choosing the cluster heads, takes the mobile Agent inspired mechanism for partial updates in the update stage. The simulation results show that the algorithm not only can choose the reasonable cluster heads to make the energy consumption evenly but also can save the energy consumption of the whole network.

Key words: the energy consumption of nodes; multi-weighted optimization; multi-Agent; cluster heads generation

1 引言

无线传感器网络在军事和民用领域有很大的应用前景, 如环境监测、智能交通、医疗、资源勘探和入侵检测等, 因此, 无线传感器网络的研究正成为电子通信领域的热点问题. 无线传感器节点通常部署在恶劣环境或无人值守的区域, 并采用能量有限不能充电的电池供电, 因此最大限度地延长网络的生命周期至关重要, 而设计能量消耗低, 能量消耗均匀的网络拓扑结构有利于延长网络的生命周期^[1].

分簇式拓扑结构由于具有节约数据通信量, 节省能量, 便于管理, 有利于分布式算法的应用等优点, 成为学者们主要的研究方向之一, 但目前的分簇式拓扑控制算法^[2-3]存在能量消耗较大, 节点能量消

耗不均匀, 选取的簇头不合理等问题, Agent^[4]以其独特的优点可以很好地解决上述问题. Agent 是一个智能的程序的片段, 具有数据处理功能, 尤其是移动 Agent 可以在网络中自由移动, 完成特定的任务, 适合无线传感器网络的分布式计算环境. 另外, 移动 Agent 可以独立地感知环境的变化, 并快速做出响应, 使系统保持在最优状态. 将 Agent 思想应用到分簇算法中可以有效减少传输的数据量, 及时对簇内问题进行处理. 该文提出了一种基于 Multi-Agent 的多权值优化分簇算法, 在簇头选举时考虑多个影响因素, 使簇头的分布更加合理, 利用移动 Agent 进行睡眠调度和路由空洞的修复可以有效地减少网络的能量消耗, 利用非均匀分簇策略使距离汇聚 Agent 较近的簇规模减小, 有效地解决

收稿日期: 2013-11-02; 修回日期: 2013-12-31

基金项目: 国家自然科学基金项目(51104003, 51274011, 61300001); 教育部新世纪优秀人才计划支持项目(NCET-10-002)

了部分节点能量消耗过快问题,使能量均匀地消耗,延长了网络的生命周期。

2 信道能量损耗模型

该文采用的信道能量损耗模型^[5]考虑了发射电路的损耗,功率放大电路的损耗和接收电路的损耗,模型图如图1所示。节点能量的损耗与传输距离的远近有关,当传输的距离小于 d_0 时,公式后半部分的功率放大损耗是自由空间模型,路径损耗指数为2;当传输的距离大于等于 d_0 时,公式后半部分采用的是多路径衰减模型,路径损耗指数为4。当发射 l 比特的数据,传输距离为 d 时,节点发送数据所消耗的能量 E_{Tx} 为

$$E_{Tx}(l, d) = \begin{cases} lE_{elec} + \epsilon_{fx} d^2, & d < d_0 \\ lE_{elec} + \epsilon_{mp} d^4, & d \geq d_0 \end{cases} \quad (1)$$

接收比特为 l 的数据所消耗的能量 E_{Rx} 为

$$E_{Rx}(l) = lE_{elec} \quad (2)$$

式中, E_{elec} 表示每比特数据在发射电路或接收电路中的能量损耗, ϵ_{fx} 为在自由空间传输时可接受的位差错率, ϵ_{mp} 分为多路径衰减传输时可接受的位差错率, d_0 为距离常数,可由式(3)计算得到。

$$d_0 = \sqrt{\frac{\epsilon_{fx}}{\epsilon_{mp}}} \quad (3)$$

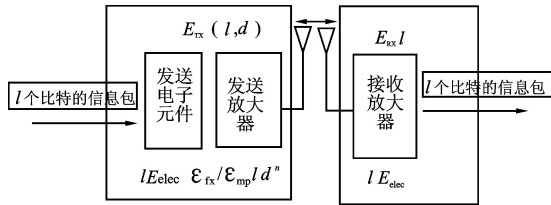


图1 信道能量损耗模型图

3 基于多 Agent 的无线传感器网络

将 Agent 思想应用到无线传感器网络中,构成一个多 Agent 的无线传感器网络,系统框图如图2所示。

在多 Agent 的无线传感器网络中,监测 Agent 主要负责对周围环境的参数信息进行监测和简单处理,并向移动 Agent 提供外部访问和更新簇信息的接口,移动 Agent 由簇头 Agent 产生,通过遍历簇内各监测 Agent,进行睡眠调度以及对簇内的路由空洞问题进行修复。监测 Agent 将简单处理后的数据传输到簇头 Agent;各簇头 Agent 将接收到的数据进行融合后,将融合的数据传送至接入工业以太网或互联网的汇聚 Agent 进行处理,汇聚 Agent 通

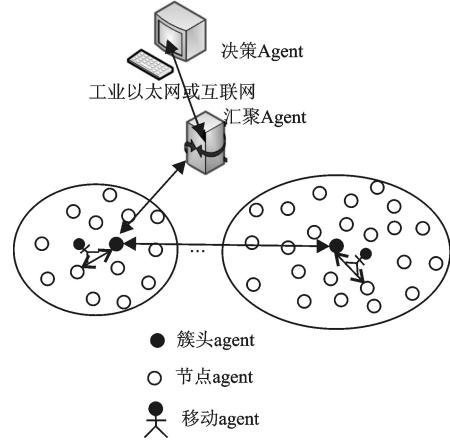


图2 多 Agent 的无线传感器网络框图

过有线传输方式将数据传输到决策 Agent 进行分析显示,决策 Agent 也可以通过汇聚 Agent 向监测 Agent 发布各种监测任务。

4 基于 Multi-Agent 的多权值优化分簇算法

假设 N 个传感器节点随机分布在边长为 L 的正方形二维区域内,汇聚 Agent 位于区域外部,且能量供应不受限制,该网络还具有以下性质:

- (1) 监测 Agent 和汇聚 Agent 部署后位置固定。
- (2) 所有监测 Agent 同构,即具有相同的通信能力和数据处理融合能力。
- (3) 每个监测 Agent 上都有移动 Agent 的运行环境,且监测 Agent 的初始能量相同,统一用 E_0 表示。
- (4) 无线传感器网络中每个监测 Agent 都有唯一的编号,且已知自身和其一跳邻居监测 Agent 的编号。
- (5) 监测 Agent 的位置未知,但发射和接收的信号强度已知,监测 Agent 之间的距离可通过损耗的信号强度 RSSI 计算得到。

本算法分为簇头 Agent 的选举、簇的形成和簇的更新 3 个阶段。

4.1 簇头 Agent 的选举阶段

对簇头 Agent 进行选举时,考虑对其分布的合理性影响较大的三个参数,分别是:每个监测 Agent 的剩余能量、与所有邻居的平均距离和发射范围内的邻居数目。在选举阶段,计算出各监测 Agent 的权值大小,权值最优的监测 Agent 当选为簇头 Agent。簇头 Agent 具体选举过程如下所示:

步骤 1: 每个监测 Agent 向其周围的监测 Agent 发送询问报文, 询问报文中包括自身的 ID 号、发射信号强度和剩余能量, 收到询问报文的监测 Agent 回复应答报文, 应答报文中包含自身的 ID 号、接收到的信号强度和剩余能量, 监测 Agent 处理单元中的计数器用来统计收到的包含不同 ID 号的应答报文个数, ID 号不同的应答报文的个数即是发射范围内的邻居监测 Agent 数目之和, 用 N_{ID} 表示。

步骤 2: 监测 Agent 已知自身的发射信号强度 $RSSI_1$, 通过接收到应答报文可得出发射范围内的邻居监测 Agent 接收到的信号强度 $RSSI_2$, 损耗的信号强度 $RSSI$ 为发射信号强度和接收到信号强度的差值, 可由式(4)计算得到。

$$RSSI = RSSI_1 - RSSI_2 \quad (4)$$

通过信号强度损耗可估算出发射监测 Agent 到接收监测 Agent 之间的距离 D_i , 可由式(5)计算得到。

$$RSSI = -(10n \cdot \lg D_i + A) \quad (5)$$

式中, n 代表信号传播常量或传播指数, 它表示信号能量随着收发器距离的增加而衰减的速率, A 表示距离 1 m 时的接收信号强度绝对值, 用 dBm 表示。

监测 Agent 到其发射范围内的邻居监测 Agent 的平均距离 $\overline{D_{aver}}$ 为监测 Agent 到各邻居监测 Agent 距离之和除以发射范围内的邻居监测 Agent 数目之和, 其计算如式(6)所示。

$$\overline{D_{aver}} = \sum_{i=1}^{N_{ID}} D_i / N_{ID} \quad (6)$$

步骤 3: 各监测 Agent 直接读出自身的剩余能量 E_v 。

步骤 4: 完成以上步骤后, 各监测 Agent 利用已知参数通过式(7)计算各自的权值。

$$W_v = \frac{\mu_1}{E_v} + \mu_2 \times |N_{ID} - \delta| + \frac{\mu_3}{\overline{D_{aver}}} \quad (7)$$

式中, δ 为一般情况下簇头 Agent 可以处理的理想节点数, $\mu_1 - \mu_3$ 为权重因子, 相加之和为 1, 它们均可根据各监测 Agent 周围的环境随时作出调整。

步骤 5: 每个监测 Agent 计算出自身权值后向周围广播自己的权值, 并将接收到邻居监测 Agent 的权值与自己的权值比较, 若其在邻居监测 Agent 中具有最小权值, 则该监测 Agent 宣布成为簇头 Agent, 并向周围监测 Agent 发送通知报文, 宣布自己成为簇头 Agent。

4.2 簇的形成阶段

簇的形成阶段首先使网络中的所有节点加入某一特定的簇, 分簇完成后由移动 Agent 携带最佳调度方案, 让部分节点进入睡眠状态。

4.2.1 成簇阶段

由于距离汇聚 Agent 较近的簇头 Agent 要转发来自其他距汇聚 Agent 较远簇头 Agent 的参数信息, 所以能量消耗相对较大, 为了使能量均匀消耗, 该文采取非均匀分簇策略, 簇头 Agent 的竞争半径不同, 距离汇聚 Agent 较远的簇头 Agent 的竞争半径较大, 非均匀分簇的结果是靠近汇聚 Agent 的簇, 规模较小。成簇阶段的具体步骤如下所示。

步骤 1: 部分监测 Agent 成为簇头 Agent 后, 以一定的竞争半径向其周围的监测 Agent 发送通知报文, 宣布自己成为簇首 Agent。

步骤 2: 监测 Agent 接收到通知报文后, 判断接收到各簇头 Agent 的信号强度的大小, 向接收到信号强度最大的簇头 Agent 发送加入请求报文, 申请加入该簇头 Agent 所在的簇。

步骤 3: 监测 Agent 得到簇头 Agent 的应答后, 成为该簇的簇内成员。所有监测 Agent 都加入到某一特定的簇后, 分簇过程完成。

4.2.2 睡眠调度

分簇完成后, 各簇头 Agent 分别产生移动 Agent, 在本簇内进行睡眠调度。

睡眠调度对无线传感器网络来说是节约能源最常见的策略。网络中的一些节点需要通过定期睡眠来节约能量消耗, 而覆盖范围必须保持大于一个阈值。该文中睡眠监测 Agent 的数量用冗余参数 η 表示。如果目标区域需要的最小监测 Agent 数是 n , 网络中总监测 Agent 数是 N , 则 $N - n$ 个监测 Agent 会进入睡眠模式。冗余参数可通过式(8)得到。

$$\eta = \frac{N - n}{N} \times 100\% \quad (8)$$

当簇头 Agent 已经计算出最优覆盖方案, 每个移动 Agent 将遍历簇内各个监测 Agent, 让相关监测 Agent 进入睡眠状态。

进行睡眠调度前所有的监测 Agent 都处于活动状态, 拓扑结构如图 3 所示。

移动 agent 携带最佳睡眠调度方案遍历簇内监测 Agent, 得到睡眠任务的监测 Agent 将在移动 Agent 离开之后进入睡眠状态, 同时移动 Agent 通知其他监测 Agent 改变自身的发射功率进而改变网络拓扑结构。进行睡眠调度后的拓扑结构见图 4 所示。

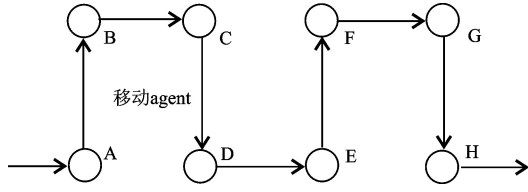


图3 进行睡眠调度前的拓扑结构图

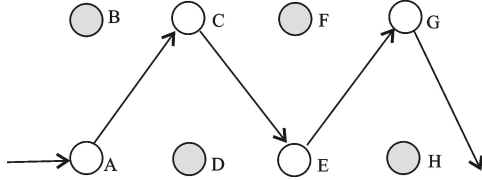


图4 进行睡眠调度后的拓扑结构图

4.3 簇的更新阶段

该文算法不是周期性地进行簇的全局更新,而是采用移动 Agent 启发机制进行本簇内簇头 Agent 的重新选举,对无线传感器网络的拓扑结构进行局部更新。

4.3.1 簇的更新过程

进行簇的更新时,移动 Agent 遍历簇内各监测 Agent,若发现路由空洞问题及时进行修复,修复完成后通知簇内监测 Agent 进行本簇内新一轮的簇头的选举,在本簇内重新选举出最优替代点担任簇头 Agent,当簇头监测 Agent 的权值高于簇内其他监测 Agent 时,移动 Agent 启发进行簇头 Agent 的重新选举。

4.3.2 路由空洞的修复

对于节点 C 来讲,到达簇头 Agent 的最优路径为 $C \rightarrow F \rightarrow J \rightarrow O$,当节点 G 和 F 失效后,节点 C 通常选择路径 $C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow I \rightarrow J \rightarrow O$ 或 $C \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow H \rightarrow L$ 进行数据的转发,造成了路由空洞现象。如图 5 所示。

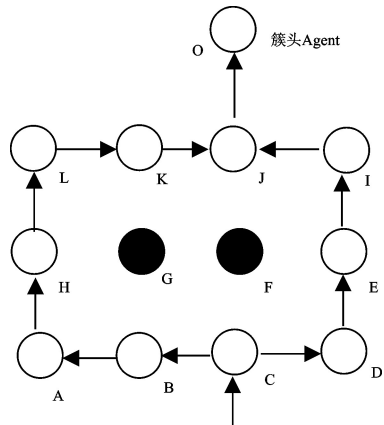


图5 路由空洞

路由空洞现象增加了源节点到目的节点之间的跳数,从而增大了能量消耗,在这种情况下,C 直接发送到 J 的能量消耗远小于通过多跳路径所消耗的能量。移动 Agent 可以通过改变 C 的发射功率解决路由空洞问题。当移动 Agent 从 C 到达 J,发现发送到 J 的能量消耗远小于在多跳路径上消耗的能量,再回到节点 C,通知节点 C 增大发射功率,直接将数据发送到节点 J,从而解决路由空洞问题,如图 6 所示。

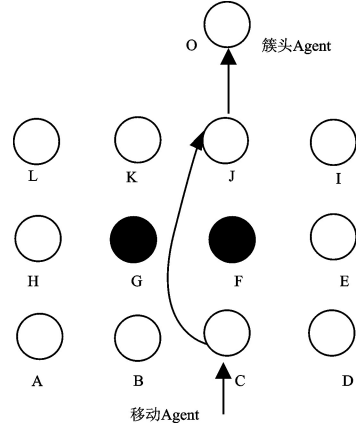


图6 移动 Agent 解决路由空洞

移动 Agent 将会在每个节点上做出一个判断,如果移动 Agent 发现在节点 k 处满足式(9),然后它回到节点 i 处,让 i 直接发送数据到节点 k 。

$$E_{TX}(i, k) < \sum_i^k E_{TX}(i, i+1) + E_{RX}(i, i+1) \quad (9)$$

此外,监测 Agent 应该有一个最大发射功率 P_{max} ,因为发射功率过大会导致监测 Agent 的能量很快消耗。因此所有监测 Agent 的发射功率均不应超过这个上限值。

5 仿真结果分析

该文算法采用 OMNET++ 仿真软件进行了仿真实验,并与文献[2]中的 HEED 算法、文献[3]中的 MWBC 算法在分簇能量消耗、平均延时、整个网络的生存周期(第一个节点死亡时的分簇轮数)等方面进行比较分析。该文算法初始仿真环境主要参数配置情况如表 1 所示。

该文算法和 HEED 算法^[2] MWBC 算法^[3] 都在 OMNET++ 仿真平台运行,结果如图 7、8、9 所示。

表 1 仿真环境主要参数配置

仿真参数	参数值
初始能量 E_0	10 J
权重因子 λ_1	0.4
权重因子 λ_2	0.3
权重因子 λ_3	0.3
节点距离临界值 d_0	150 m ²
仿真区域面积	150 m×150 m
E_{elec}	50 nJ/bit · m ⁻¹
ϵ_{fs}	10 pJ/bit · m ⁻²

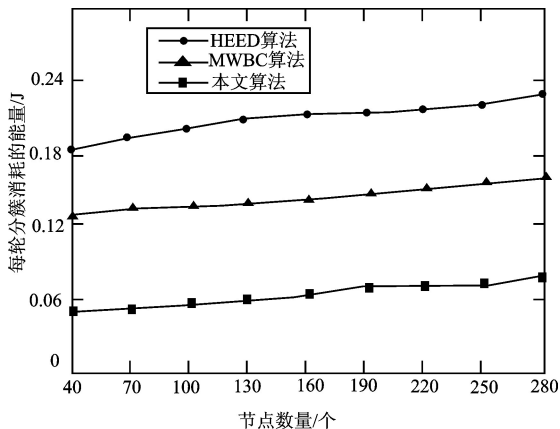


图 7 每轮分簇消耗能量对比图

图 7 所示是每轮分簇能量的消耗情况,网络中的节点数增多时,需要处理、传输和交换的数据量也会增多,加大了能量消耗,所以三种算法的仿真曲线都呈上升趋势,而该算法明显比 HEED 算法^[2]和 MWBC 算法^[3]节省能量.因为算法加入 Agent 思想,监测 Agent 具有分布式数据处理功能,减少了所需传输的数据量,从而降低了通信过程的能量消耗.在簇的更新阶段,移动 Agent 及时对簇内路由空洞问题进行修复,节省了路由空洞问题造成的能量浪费,减少了分簇过程的能量消耗.

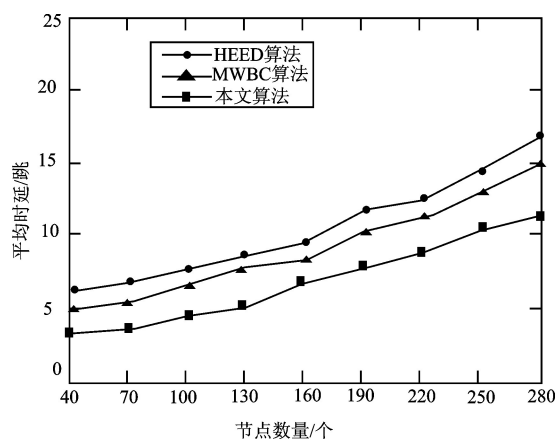


图 8 平均时延对比图

由图 8 可知,三种算法随节点数的增多数据传

输时的平均时延均呈增大趋势,这是因为节点数增多时,传输的数据量也会增多,导致传输拥塞,从而增大了平均时延.该文算法传输时延比 HEED 算法^[2]和 MWBC 算法^[3]小,因为监测 Agent 具有局部处理功能,减少了传输数据量,簇形成后利用移动 Agent 进行睡眠调度,减少了工作的监测 Agent 节点数,也会减少传输的数据量,使得数据传输过程中受传输拥塞的影响减小.

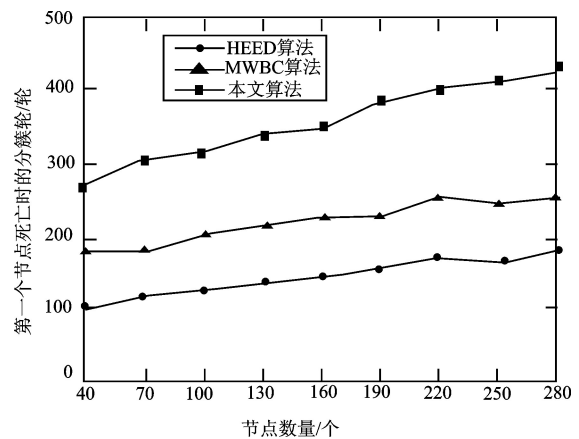


图 9 网络生存时间对比图

实验表明该文提出的算法比 MWBC 算法^[3]和 HEED 算法^[2]具有更长的网络生存时间,节点数增多时这种优势更加明显.因为算法在分簇完成后利用移动 Agent 让一部分监测 Agent 进入睡眠状态,节省了睡眠节点的能量;由于距离汇聚 Agent 较近的簇头 Agent 频繁地担任转发节点消耗了较多能量,在簇的形成阶段采用的非均匀分簇策略可使靠近汇聚 Agent 的簇规模减小,簇头 Agent 的簇内消耗较小,减少了距离汇聚 Agent 较近的簇头 Agent 提前消亡的风险;选取对簇头 Agent 影响较大的几个参数,使簇头 Agent 的分布更加合理,能量消耗更加均匀;在簇的更新阶段利用移动 Agent 进行路由空洞修复后启发进行簇内局部更新,节约了网络的能量消耗.

6 结束语

该文提出了一种基于 Multi-Agent 的多权值优化分簇算法,选举簇头 Agent 时,考虑了对簇头分布影响较大的三个参数,利用非均匀分簇策略进行分簇,在簇形成后利用移动 Agent 进行睡眠调度;在簇的更新阶段利用移动 Agent 及时对路由空洞问题进行发现和修复,修复完成后启发进行本簇内簇头 Agent 的局部更新.仿真结果表明该文提出的

(下转第 48 页)

申请和实时内存申请进行了效率比较,结果表明总体上实时内存的申请速度和普通内存的申请效率较接近.表 2 是针对于不同的读写数据量进行了效率比较,结果表明对于用户空间和内核空间存在大数据量的数据交换时实时内存的效率优于非实时内存的效率^[8-9].

表 1 实时内存申请平均时间

	1 kb	4 kb	16 kb	64 kb	256 kb
非实时内存	0.2	0.2	0.3	0.5	0.7
实时内存	0.3	0.2	0.6	0.6	0.9

表 2 实时内存与非实时内存存储效率比较

	1 kb	4 kb	16 kb	64 kb	256 kb
非实时内存	5.2	18.3	75.5	250.4	843.5
实时内存	5.9	13.5	52.9	191.2	671.9

5 结束语

从测试结果可以看出来,内存映射技术解决了采用虚拟内存带来的缺页中断问题,并且有效的使用户空间和内核空间指向了同一块物理内存,使用户空间和内核空间之间大量数据交换的效率得到了显著地提高.以内存映射为基础,实时的内存管理算法为核心实现一套实时化的内存管理机制以模块的方式加载到内核中,这将是进一步研究的方向与重点.

参考文献:

- [1] 赖娟. Linux 内核分析及实时性改造[D]. 成都:电子科技大学 2007.

- [2] 刘胜,王丽芳,蒋泽军. 基于多核 PC 的 Linux 系统实时性改造[J]. 微电子学与计算机, 2013, 30(8): 120-123.
- [3] Wang Lixin, Kang Jing. MMAP system transfer in linux virtual memory management [C] // 2009 First International Workshop on Education Technology and Computer Science (ETCS). China: Wuhan, 2009: 673-677.
- [4] Hong Xu, Rong Tang. Study and improvements for the real-time performance of Linux kernel [C] // Bio-medical Engineering and Informatics (BMEI), 2010 3rd International Conference on, China: Yantai, 2010 (7): 2766-2769.
- [5] Robert Love. Linux 内核设计与实现[M]. 3 版. 陈莉君, 康华, 译, 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [6] Rubini A, Corbet J. Linux 设备驱动程序[J]. 3 版. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [7] Bryant R E, 奥哈洛伦. 深入理解计算机系统[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [8] 张立辉, 赵云忠, 王建生, 等. 基于嵌入式 Linux 的实时性分析[J]. 微电子学与计算机, 2007, 24(6): 100-103.
- [9] 张新村. 基于 RTAI 的实时 Linux 系统的研究[D]. 四川: 西南科技大学, 2012.

作者简介:

田 泉 男, (1990-), 硕士研究生. 研究方向为分布式实时嵌入式系统;

艾丽蓉 女, 副教授, 硕士导师. 研究方向为智能信息处理与 Web 安全技术;

陈 杰 男, (1988-), 硕士研究生. 研究方向嵌入式计算与应用.

(上接第 44 页)

算法比 MWBC 算法^[2]更具优势, 选出的簇头 Agent 更加合理, 减少了网络的能量消耗, 延长整个网络的生命周期.

参考文献:

- [1] 邓夏阳, 黄杰. LEACH 算法最优数据采集方案[J]. 东南大学学报, 2012, 42(1): 20-24.
- [2] Younis Ossama, Fahmy Sonia. HEED: a hybrid, energy-efficient, distributed clustering approach for Ad hoc sensor networks[J]. IEEE Trans. On Mobile Computing, 2004, 3(4): 660-669.

- [3] 黄河清, 姚道远. 一种基于多权值优化的无线传感器网络分簇算法研究[J]. 电子与信息学报, 2008, 30(6): 1489-1492.
- [4] Dimokas N, Katsaros D, Manolopoulos Y. Energy-efficient distributed clustering in wireless sensor networks[J]. Journal of Parallel and Distributed Computing, 2010, 70(4): 371-383.
- [5] 石为人, 柏荡, 等. 无线传感器网络簇头半径自适应调节路由算法[J]. 仪器仪表学报, 2012, 33(8): 1779-1784.

作者简介:

刘 佳 女, (1988-), 硕士研究生. 研究方向为多智能体技术、无线传感网络拓扑控制.