

无线多媒体传感器网络高效快速恢复路由协议^①

姚国祥, 叶毅峰

(暨南大学 信息科学技术学院, 广州 510632)

摘要: 无线多媒体传感器用途广泛, 但往往由于部署在陌生的环境中, 容易造成传感器工作不稳定甚至失效. 因此本文提出了一种用于无线多媒体传感器网络的高效快速恢复路由协议, 它以目的路由的方式, 通过有选择地转发 RREQs, 有效减少路由建立开销并高效地完成路由寻找. 每个节点都建立了多条到 SINK 节点的路径, 当节点失效时, 立即从另外一条路径转发数据, 避免重新建立路由开销. 仿真实验表明, 本算法增加了网络的稳定性和延长网络生存时间.

关键词: 无线多媒体传感器网络; 节点失效; 高效建立路由; 路由恢复

Energy Efficient and Fast Recovery Routing Protocol for Wireless Multimedia Sensor Networks

YAO Guo-Xiang, YE Yi-Feng

(School of Information Science and Technology, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Abstract: Wireless multimedia sensor are widespread use in many areas, but it often be deployed or become invalid in an unfamiliar environment, so it is easy to cause instability and even failure of the sensor networks. Therefore propose an energy efficient and fast recovery routing protocol for Wireless multimedia sensor networks, multipath was established according to destination routing approach. By selectively forwarding RREQs, it effectively reduces the routing overhead and efficient completion of the establishment of route finding. Each node has established a number of paths to SINK, when the node fails, immediately forward data from another path, to avoid re-establish the routing overhead, thus increasing the stability of the network and extend network lifetime.

Key words: wireless multimedia sensor networks; node failure; efficient to establish routing; route recovery

无线多媒体传感器网络(Wireless Multimedia Sensor Networks, WMSNs)是在无线传感器网络的基础上发展而来. WMSNs 与传统的无线传感器网络相比, 增加了视频、音频、图像等的多媒体数据的收集, 能获得对监测环境更加精准和充足的数据. WMSNs 部署灵活、方便, 并且随着电子器件日益提高的性能和逐渐下降的生产成本, WMSNs 的使用更加广泛, 广泛用于战场可视化监控、交通监控、环境监测、安全监控等.

路由问题是无线网络中的关键技术, WMSNs 路由采用多跳方式, 并且具有自组织和资源受限(能量受限、带宽受限、计算能力受限、存储能力受限)等特点. WMSNs 路由协议应该把能量的消耗平均分散到每个

节点, 避免某个节点过早的消耗, 这有利于网络的正常运行. 但由于传感器往往部署在陌生的环境中, 容易受到天气、温度、湿度或者人为破坏等因素而突然失效, 路由协议应该对节点的失效做出立即的反应, 以免出现关键数据丢失或者极大的延时. 遇到这种情况, 非多路径路由协议通常的做法是, 当节点发现下一跳节点失效时, 通知源节点(源路由方式)或者汇聚节点(目的路由方式)重新进行路由选择.

多路径路由协议当节点失效时, 通过某种方式选择下一跳到 sink 节点的路径, 减少了重新建立路由的开销. 其中, SAR^[1]协议汇聚节点的所有一跳邻居节点都以自己为根创建生成树; 各节点根据能量参数和

^① 基金项目:国家自然科学基金(61272415,61272413,61133014);广东省自然科学基金(S2011010002708);广东省科技计划(2010A011200038, 2011B090400324);广东省工程研究中心专项(GCZX-A1103);广州市科技计划(2011J4300047)

收稿时间:2013-01-29;收到修改稿时间:2013-03-05

QoS 参数选择优化的路径,并且在路由路径失效时,通过其他路径进行路由恢复.该协议生成多棵路由树,缺点是路由表较复杂,特别是节点间要维护这种全局路由信息,能量和代价消耗都很大;可扩展性差,在大规模的 WSNs 网络中可能无法使用.另一个协议是 SMR^[2]协议,它以源路由方式在源节点和目的节点间建立节点最大不相交多路径,路径失效时,选择备选的一条路径作为传输路径,减少了重新建立路由的时间和能量开销. HENDMR^[3]协议对其转发策略进行改进,降低建立路由的开销.其他算法^[3-12]都是对这几种算法的改进,只适应特点的环境.

本文设计了一个高效快速恢复路由协议,它以目的路由方式,每个节点都建立了到汇聚节点的多条路径,当出现节点失效时,节点自动更换下一跳地址,并且路由建立的开销不会随着源节点的增加而增加.

1 高效快速恢复路由协议

1.1 多路径路由建立策略

协议开始,汇聚节点发送路由请求消息(Route Request Messages, RREQs), RREQs 中的字段有:经过的节点 ID、经过节点的平均剩余能量、跳数、经过节点的最小剩余能量.中间节点收到邻居节点发送的 RREQs,基于路径权值和路径 ID 对 RREQs 进行选择地转发,并且存储邻居节点发送的可行的 RREQs.源节点收到 RREQs 后,通过比较各个 RREQs,选择一条最优的路径把路由回应消息(Route Reply Messages, RREPs)发回汇聚节点,中间节点不发送 RREPs,只作转发.

1.1.2 中间节点转发 RREQs 协议

RREQs 中保存有经过的节点信息,中间节点收到的 RREQs 会经过不同的路径到达.中间节点收到 RREQs 并不立即转发,而是基于路径权值进行比较和筛选,选出一条最优的路径进行转发,这样可以降低转发数据包的开销.在仿真实验中,中间节点每收到一个数据包,就等待一定的时间,等待时间结束后,选择最优的 RREQs 进行转发,通过比较,时间取 0.08 秒性能最好.如果之后还收到含有更好路径信息的 RREQs,则会立即进行转发.

1) 基于路径的选择方法

RREQs 从汇聚节点开始,中间节点通过收集各邻居节点发来的包,建立了多条从当前节点到汇聚节点

的路径.

SMR 协议的目标是建立多条不相交的路径,但对于下列情况,这种方法不能对节点的失效做出立即的反应.图 1 中,根据 SMR 协议,由于路径 1-2-4-5-6 与路径 1-2-3-5-6 有重叠,路由协议只能选出一条路径,如 1-2-3-5-6,进行数据的传输.这时候 3 号节点突然失效,但源节点没有备份路径,则只能重新建立路由.

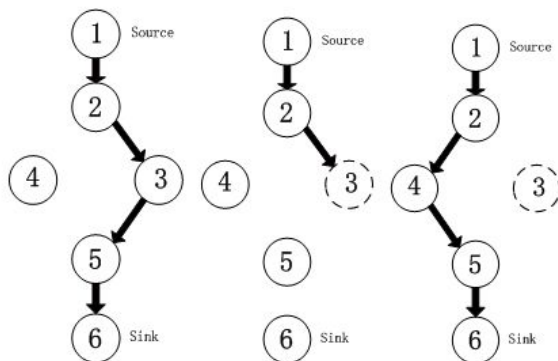


图 1 路径选择示意图

因此,在本协议中,节点路径的选择方法是:RREQs 包经过的路径不能包括本节点和邻居节点.满足此原则的 RREQs 包的路径信息都保存下来,作为备份路径.对于这种情况,依据本路由协议,节点 2 保存到汇聚节点的路径信息有 3-5-6 和 4-5-6 两条路径,因此,节点 3 失效后会立即选取节点 4 作为下一跳地址,不用重新建立路由.

中间节点保存的路径信息不是恒久不变的,而是会根据每次路由选择,动态地变化.

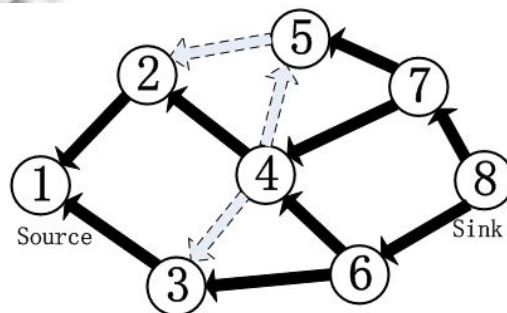


图 2 RREQs 转发示意图

在图 2 中,节点间的箭头表示 RREQs 的传输方向和节点收到 RREQs 并作保存,虚线表示看实际情况选择.节点 6 和 7 不保存对方发来的 RREQs 包,因为他们的 RREQs 包经过共同的邻居节点(节点 8).节点 4

不会保存节点 5 发来的 RREQs, 因为节点 5 发来的 RREQs 经过节点 4 的邻居(节点 7).

节点 4 与 5、节点 3 与 4 之间是否保存对方的 RREQs 包, 视乎节点 4 的选择. 节点 4 会接收来自节点 6 和 7 的 RREQs. 如果节点 4 选择节点 6 的 RREQs 并转发出去, 节点 5 会接收节点 4 发出的 RREQs, 因为这个 RREQs 路径中不包含邻居节点, 而节点 3 不保存, 因为它经过了节点 3 的邻居(节点 6); 如果节点 4 选择节点 7 的 RREQs 并转发, 节点 5 会忽略, 因为它经过了节点 5 的邻居(节点 7), 而节点 3 会保存作为备份路径.

2) 基于路径权值的排序

中间节点对接收并保存下来的 RREQS 进行基于路径权值的排序, 路径权值最大的路径会作为转发包路径, 其余的作为备份路径, 当传输路径的下一跳节点失效时(通过接收到来自链路层的反馈信息), 备份路径会立即启动, 以减少重新建立路由的时间和资源开销.

考虑到平均分散节点能量消耗和减少延迟的需要, 路径权值的计算加入了路径上节点平均能量、路径中节点能量最小值和延迟.

给出路径权值计算公式前, 给出以下定义:

- 节点 i 收到的 RREQs 的权值为 W_i^n , n 为收到的来自不同邻居节点的 RREQs.

- θ_i 为汇聚节点到节点 i 的路径, θ_{i-1} 为下一跳节点 i-1 到汇聚节点的路径, 节点 i 剩余能量为 e_i .

- θ_i 上的跳数为 n. 汇聚节点发出的 RREQs 跳数为一, 每经过一个节点, 跳数加一.

- θ_i 上节点平均能量为 E_a , $E_a = \frac{\sum e_j}{n}$, 由于总能量相加的数值会变的很大, 因此在实现中, RREQs 传输的是 E_a , 所以实际计算公式为

$$E_a = \frac{E_{a_{i-1}} \times n_{i-1} + e_i}{n_{i-1} + 1}$$

- θ_i 上节点能量最小值为 $E_{\min} = \text{MIN}(e_i, E_{\min_{i-1}})$, 通过加入能量最小值, 可以减低对最小能量节点的消耗.

- θ_i 上传输时延为 DELAY.

路径的传输时延和路径长度相关, 而路径长度以跳数量度. 因此, θ_i 上传输时延为:

$$\text{DELAY} = N \tag{1}$$

在传输路径上, 路径的平均能量 E_a 和能量最小值 E_{\min} 越大越好, 剩余能量越多, 表明节点的生存时间越长, 通过充分利用这些节点进行传输, 可以延长网络的生存时间. 而传输时延 DELAY 越小越好, DELAY 越小, 表明数据传输快, 有利于保证 QOS. 因此为体现以上特点, 得出:

$$W_i^n = \frac{E_a \times E_{\min}}{E \text{ DELAY}} \tag{2}$$

中间节点根据 RREQs 的 W_i^n 进行排序, 位于队列头的 RREQs 中保存的路径成为传输路径, 加入路由表, 同时节点把队列头的 RREQs 复制并加入自身节点信息, 发送出去. 因此, 到达源节点的 RREQs 会包含最优的路径.

1.2 路由维护

1) 全网更新路由

路由全网更新关系到网络生存时间和数据传输时延. 如果更新太频繁, 过多 RREQs 的转发会无谓地消耗节点能量, 减少网络生存时间; 如果更新太慢, 路径权值 W_i^n 更高的路径得不到及时更新使用, 不利于网络的最优化.

目的路由方式相对源路由方式的路由更新方法更加灵活. 源路由方式更新路由的触发点在路由失效和定时更新, 定时更新的时间比较难以确定, 不利于网络的最优化. 而本文的路由协议采用目的路由方式, 路由的建立信息从汇聚节点开始, 汇聚节点可以根据接收的数据包的数量, 动态地调节更新频率, 可以既保证不会过频繁地更新, 也利于网络路由信息可以及时更新.

2) 恢复失效路由

节点 i 通过获取链路层的反馈信息, 得知下一跳节点 i-1 失效时, 有两种情况:

第一种情况: 节点 i 如果有备份的路径可以选择, 则执行以下步骤:

A 删除包含下一跳地址的路径信息(RREQs), 并立即更新路由信息.

B 广播包含更新路径信息的 RREQs(表示节点的路由信息有改变, 收到这个 RREQs 的节点都会更改队列里的信息并重新排序, 如果更新后队列头发生改变, 再发送 RREQs, 如此重复).

C 路由信息已经更新, 可以立即转发数据包.

第二种情况: 节点 i 没有备份路径可以选择.

A 发送包含错误信息的 RREPs 给源节点.

B 收到包含错误信息的 RREPs 中间节点会删除到达包含下一跳地址的路径信息.

C 如果中间节点没有其它备份路径可以选择, 就再转发 RREPs; 否则跳到 D.

D 中间节点有备份路径, 则不再转发 RREPs, 中间节点更新路由信息, 以后的信息就通过新的传输路径转发.

如此一来, 大大减少错误信息 RREPs 的转发, 节约能量和时间开销. 失效的节点可能再次正常启动, 只要通过全网的路由更新, 复活的节点可以再次参与数据的传输.

2 仿真与分析

2.1 仿真环境

仿真平台采用 NS2^[13,14], 仿真模拟了 100 个节点的一个无线多媒体传感器网络, 100 个节点随机分布在 200m×200m 的环境中, 节点通信距离为 35m, 采用 IEEE 802.15.4 MAC 层协议. 网络中设置一个 sink 节点和多个源节点, 源节点发送持续的数据包给 sink 节点. 各节点的初始能量相同, 节点发送和接受单位数据消耗的能量为 0.2 焦耳和 0.1 焦耳.

本协议在相同环境下与 HENDMR 和 SMR 进行比较, 主要比较以下方面(1)建立路由需要发送请求包的平均数量. (2)节点失效时, 路由恢复开销. (3)网络节点能量消耗.

2.2 路由请求包发送数量

从图 3 可知 sink 节点设置在仿真区域的右方, 因此在本次仿真实验中, 源节点的选取设置在远离 sink 节点的最左边, 以达到最佳的测试效果.

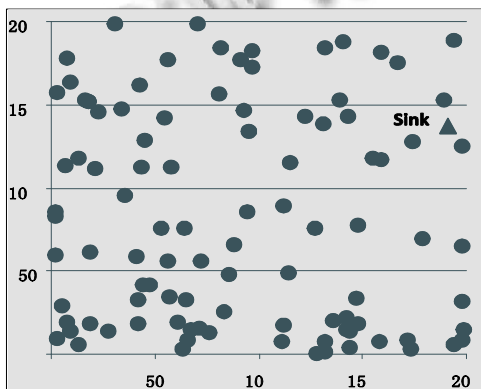


图 3 仿真节点位置示意图

从图 4 可以看出, 快速恢复协议随着发送节点的增加, 但发送请求包的数量增加缓慢, 而其它两个协议发送数量急剧增加. 这主要是因为快速恢复协议路由的建立所发送的 RREQs 是定值, 一次建立后, 每一个节点都有到 sink 节点的多条路径, 随着源节点的增加, 只是增加发送少量的 RREPs 即可建立路由. 其它两个协议因为每增加一个源节点, 都要再一次全网广播 RREQs, 因此发送请求包的数量庞大.

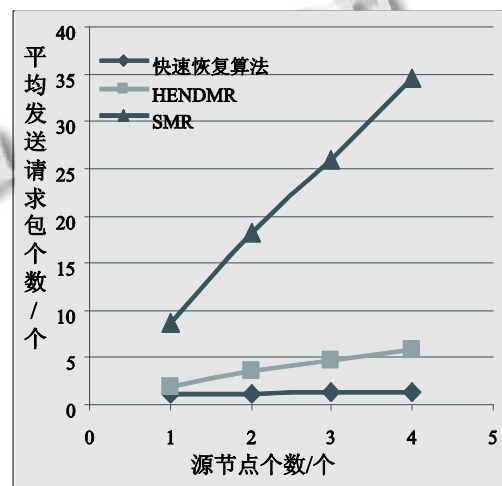


图 4 建立路由需要发送请求包个数比较

2.3 路由恢复开销

由于 HENDMR 和 SMR 协议在节点失效时处理方法是一样的, 因此路由恢复开销的比较只在 HENDMR 和快速恢复路由协议之间.

恢复开销包括耗时和发送额外信息包的数量. 由于两种协议建立路由的方法不同, 所以它们选取的路由路径不同, 所以为了公平地比较两种协议的开销, 模拟失效的节点设在跳数相等的节点上. 恢复耗时定义为: 从节点发现下一跳节点失效后开始, 到 sink 节点收到重发的数据包的时间间隔.

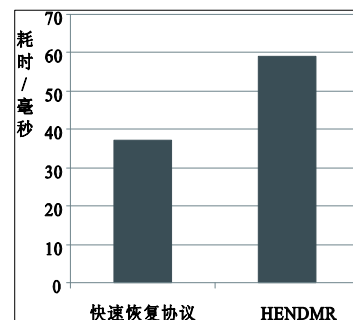


图 5 路由恢复耗时比较

发送额外信息包的数量的计算方法是：在一条路径上，节点依次失效，记录发送的额外信息包的数量，再取平均值。

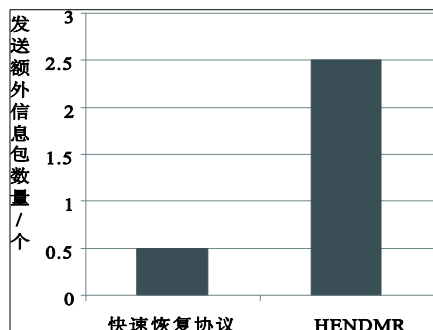


图 6 路由恢复发送的信息包数量

从图 5 和图 6 中可以看出快速恢复协议都大大优于 HENDMR 协议。其实耗时比较中，快速恢复协议的耗时绝大部分主要在 MAC 寻址上，而 HENDMR 协议在路由开始时已建立多条双向的路径，因此在节点失效时，不用 MAC 寻址，节省了这一部分时间，但由于 HENDMR 协议要把信息发回源节点，再由源节点重新发送，因此总的耗时还是快速恢复协议少。

图 5 的比较中，快速恢复协议在下一跳节点失效时，如果自身有备份路径，就可以直接转发。只有在自身没有备份路径时，才发送信息包给上一跳节点。因此快速恢复在这一方面大大由于 HENDMR 协议。

2.4 节点能量消耗

因为 HENDMR 是对 SMR 协议的改进，因而节点能量消耗的比较在 HENDMR 和快速恢复协议之间。

节点能量消耗的比较包括两方面：(1)网络节点平均剩余能量。(2)网络节点最小能量值。本次比较实验选取 2-3 个源节点，节点每隔 0.5 秒依次开始发送数据包，每秒钟发送 10 个单位数据，网络持续运行 20s，得到如下数据。

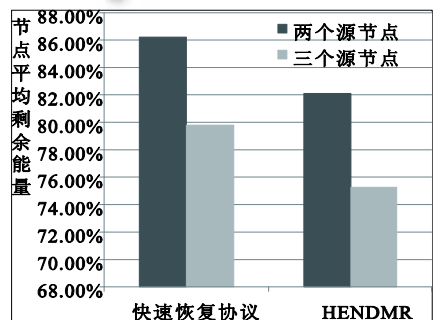


图 7 节点平均剩余能量比较

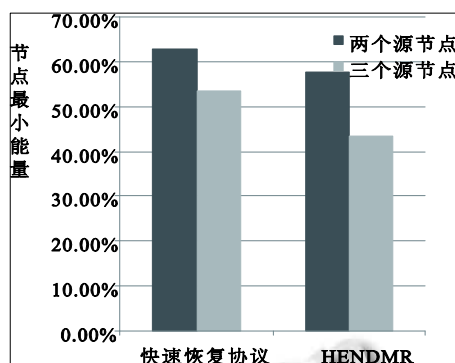


图 8 节点最小能量比较

从图 7 可以看出，在 HENDMR 协议中，三个源节点消耗的能量与两个源节点消耗的能量之比比快速恢复协议大，这是因为 HENDMR 协议随着发送节点的增加，转发的 RREQs 也增加，从而消耗了很多节点能量。在图 8 中，快速恢复协议和 HENDMR 协议的节点最小能量差距没有图 7 的大，主要是 HENDMR 协议都可以很好地平均消耗节点能量。

3 结束语

本文针对节点容易失效的情况下，提出了一种高效快速恢复路由协议。快速恢复协议通过建立每个节点到 sink 节点的多条路径，可以很好地减少节点失效时重新建立路由的巨大的开销，从而增加网络的稳定性和可靠性，协议通过优化转发策略，减少了转发 RREQs 的数量，并且由于采用目的的路由方式，发送 RREQs 的数量不会随着发送节点的增加而增加。通过仿真表明，与 SMR 和 HENDMR 相比，本协议能为无线多媒体传感器网络高效地完成路由和减少节点能量的消耗，分散节点能量的消耗，大大增加了网络的生存时间。

参考文献

- 1 Sohrabi K, Gao J, Ailawadhi V, Pottie GJ. Protocols for Self-Organization of a Wireless Sensor Network. IEEE Personal Communications, 2000,7(5):16-27.
- 2 Lee SJ, Gerla M. Split Multipath Routing with Maximally Disjoint Paths in Ad hoc Networks. IEEE International Conference on Communications, 2001(ICC 2001). st. Petersburg, Russia, Jnu.11-14, 2001,10:3201-3205.
- 3 金仁成,秦纪云,高腾,等.一种适用于无线多媒体传感器网

(下转第 156 页)

4 结语

新一代的 HTML5 WebSocket 技术的出现对于 Web 应用程序具有里程碑意义,它使得以往的客户请求-服务器响应模式得到转变,有效减少网络数据传输和服务器端负载.将该技术应用到光谱谱线特征的标记及多客户端异地网络化协同工作上,可极大的提高天文工作人员效率.该系统已经应用于中国科学院国家天文台 LAMOST 运行与发展中心,实现了上传载入天体光谱文件,由系统解析并绘制光谱,多客户端异地天文研究人员标记及讨论分析不同的光谱谱线特征,起到了网络化协同工作,提高天文研究工作效率的作用.

参考文献

- 1 Pilgrim M. HTML5:up and running,O'Reilly Media, 2010.
- 2 Casario M, et al. HTML5 Solutions:Essential Techniques for HTML5 Developers,Apress, 2011.
- 3 Cassetti O, Luz S. The WebSocket API as supporting technology for distributed and agent-driven data mining.
- 4 <http://jwebsocket.org/>.
- 5 Chen B, Xu Z. A framework for browser-based Multiplayer Online Games using WebGL and WebSocket. Multimedia Technology(ICMT), 2011 International Conference on, IEEE, 2011.
- 6 Powell TA.刘博译. HTML5&CSS 完全手册(第5版).北京:清华大学出版社,2011.
- 7 Boulos M, et al). Web GIS in practice VIII:HTML5 and the canvas element for interactive online mapping. International journal of health geographics,2010,9(1):14.
- 8 史美林.CSCW:计算机支持的协同工作.通信学报,1995,16(1): 55-61.
- 9 喻为栋,周景寅.一个计算机协同编辑系统的设计与实现.计算机工程,1998,24(10):16-19.
- 10 Yan X, Li LY, An FJ. Multi-Constrained Routing in Wireless Multimedia Sensor Networks.2009 International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP 2009). 2009: 924-928.
- 11 Lin K, Chen M. Reliable Routing Based on Energy Prediction for Wireless Multimedia Sensor Networks.2010 IEEE Global Telecommunications Conference Globecom. 2010.
- 12 Bashir Y, Jale BO. An Energy Efficient and QoS Aware Multipath Routing Protocol for Wireless Sensor Networks. 2009 IEEE 34TH Conference on Local Computer Networks (LCN 2009), 2009: 93-100.
- 13 Ros FJ, Ruiz PM. Implementing a New Manet Unicast Routing Protocol in NS2.2004,12.
- 14 Fall K, Varadhan K. The ns Manual,2010.
- 5 Wang XM, Yang T. ERMR: Energy-efficient and Reliability-ensured Multipath Routing for WMSNs.Chinese Journal of Electronics,2011,20(2):329-332.
- 6 Cobo L, Quintero A, Pierre S. Ant-based routing for wireless multimedia sensor networks using multiple QoS metrics. Computer Networks, 2010, 54(17):2991-3010.
- 7 周灵,王建新.无线多媒体传感器网络路由协议研究.电子学报,2011.
- 8 于继明,卢先领.无线传感器网络多路径路由协议研究进展.计算机应用研究,2007,24(6):1-3.
- 9 Alok K, Shirshu V. Geographic Node-Disjoint Path Routing for Wireless Sensor Networks. IEEE Sensors Journal, 2010, 10(6):1138-1139.

(上接第 140 页)

络的节点不相交多路径路由协议.传感技术学报,2010, 23(7).