

一种移动自组网混合式功率路由协议

熊建军 李春生 王青山 许胤龙

(中国科学技术大学计算机科学与技术系 合肥 230027) (国家高性能计算中心(合肥) 合肥 230027)

摘要 移动自组网是一组能量受限的移动节点组成的多跳无线网络。网络中节点主要依赖电池供电,因而节能问题一直是移动自组网研究的热点之一。在选路标准中考虑能量的因素,延长网络寿命是移动自组网功率路由的主要目标。本文提出了一种新的混合式功率路由——HPARP(Hybrid Power-Aware Routing Protocol),对本地节点的能量和拓扑信息进行监控,以节点剩余能量为标准,利用局部的网络拓扑结构信息,有效地延长了网络寿命,提高了网络吞吐量。

关键词 移动自组网,混合式功率路由,网络寿命,吞吐量

A Hybrid Power-Aware Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Network

XIONG Jian-Jun LI Chun-Sheng WANG Qing-Shan XU Yin-Long

(Department of Computer Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230027)

(National High Performance Computing Center at Hefei, Hefei 230027)

Abstract A Mobile Ad hoc Network (MANET) consists of mobile hosts that can peer-to-peer communicate with other mobile hosts through the multi-hopping routing. Efficient energy consumption is an important key for supporting the wireless mobile applications. This paper proposes a HPARP: Hybrid Power-Aware Routing Protocol for MANET, which considers both energy conservation and the topology of local scope. The simulation results verify that this scheme performs better than MMBCR in terms of the lifetime of MANET as well as throughput.

Keywords Mobile ad hoc network, Hybrid power-aware routing, Network lifetime, Throughput

1 引言

移动自组网(MANET—Mobile Ad Hoc Network)^[1]是一组能量受限的移动节点(如带无线网卡的笔记本、具有无线功能的PDA等)组成的多跳无线网络,具有无基站或固定基础设施、网络拓扑动态可变、快速自动组网、网络带宽有限、节点一般使用电池供电等特点。在移动自组网的典型应用场合,如战场环境、灾难救助等,节点可能无法充电,或者充电比较困难,这使得节能问题一直是移动自组网研究的热点之一。

移动自组网路由协议^[2~5]研究主要针对拓扑变化,使用基于跳数的最短路径、地理距离等为标准,以最大化网络吞吐量和最小化网络延迟为目标。因为移动自组网中的节点主要由能量有限的电池供电,所以基于能量标准的路由协议也是其一个重要的方面。Laura Feeney在文[6]中的模拟实验结果表明,能量和带宽是两个完全不同的标准,路由协议对资源的利用仅用带宽标准衡量是不够准确的。基于能量利用率的功率路由协议的主要目标是在保证网络一定吞吐量的前提下,尽可能地延长网络寿命。有效地延长网络寿命的功率路由协议通常考虑以下一些因素:(1)如何降低网络的整体能量消耗;(2)如何平均地降低网络各节点的能量消耗;(3)如何有效率地利用现存网络的电池能量来传送数据。目前提出的功率路由协议主要有MTPR^[7]、MBCR^[8]、MMBCR^[8]、CMMBCR^[9]、MRPC^[10]、CMRPC^[10]、MDR^[11]和CMDR^[11]等等。在

这些功率路由协议中,有的是以网络中各节点在转发数据包时消耗的能量来作为路径选择标准(例如MTPR),有的是以网络中各节点的剩余能量作为路径选择标准(例如MBCR、MMBCR),有的试图同时考虑网络中各节点的剩余能量和转发数据包时消耗能量作为路径选择标准(例如MRPC、CMRPC、MDR、CMDR、CMMBCR)。

已有的功率路由协议仅以能量为标准来选路,往往影响了网络的其他性能。本文提出了一个新的混合式功率路由协议——HPARP(Hybrid Power-Aware Routing Protocol)。HPARP以MMBCR为基础,利用对 k 跳邻居节点最新的剩余能量信息和网络局部最新的拓扑信息,选择功耗最小的路由。不同场景下的实验结果表明,HPARP的网络寿命和吞吐量都有显著的提高,尤其是节点高速移动场景。

2 混合式功率路由

2.1 出发点

已有的功率路由协议虽然在路由选择标准中考虑了能量因素,但是存在两个问题:能量信息更新不及时导致非最优路由;拓扑信息更新不及时导致非最优路由。

(1)节点缺乏对整个网络能量变化情况的了解。路由发现阶段,若中间节点根据自己cache(缓存)中保存的路由来回答RREQ(Route Request)包,它提供的路由往往不是最优的路由。如图1(a)所示,源节点S需要发现一条到目的节点D

熊建军 硕士研究生,主要研究方向为网络路由算法和协议;李春生 实验师,主要研究方向为并行工具与环境;王青山 博士研究生,主要研究方向为网络路由算法和协议;许胤龙 教授、博士生导师、国家高性能计算中心(合肥)常务副主任,主要研究方向为并行算法、网络路由算法和协议。

的路由,于是发出 RREQ 包。当节点 A 收到 RREQ 包,根据自己 cache 回答到达节点 D 路由 ABD。但是此时可能符合节点路由标准的路由为 ACD,原因是节点 A 缺乏对网络节点能量变化的了解。

(2)算法忽视了对动态变化的网络拓扑结构的适应。在节点运动速度较快时,网络拓扑结构的频繁改变会造成算法性能及路由稳定性的急剧下降。如图 1(a)所示,一旦源节点 S 建立到目的节点 D 的路由 SABD,若 SABD 没有失效的链路,则一直使用此路由,显然会造成中间节点能量很快耗尽。但是随着节点的移动,从源节点 S 到目的节点 D 会有许多满足节能路由标准的路由出现,例如目的节点 D 进入了源节点 S 的通信范围(如图 1(b)所示)。

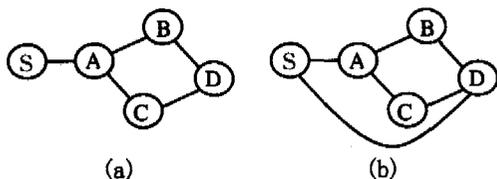


图 1 拓扑变化示意图

2.2 选路标准

HPARP 是以 MMBCR(Min-Max Battery Cost Routing)为基础,利用对 k 跳邻居节点最新的剩余能量信息和网络局部最新的拓扑信息,选择功耗最小的路由。

在 HPARP 中,每个节点维护两种类型的 cache:一种是 Link Cache,用来记录 k 跳内各邻居节点的能量信息及路由信息。 k 跳 Link Cache 的建立依赖于各节点周期性地(T 秒)发出的 hello 包。为准确获得 k 跳内的拓扑结构,同时降低系统的路由控制开销, k 一般取 2 或 3。另一种是 Path Cache,用于缓存 k 跳邻居外的路由信息。

HPARP 选路标准是利用网络局部最新的能量信息和拓扑信息来选路,以更好地适应网络能量、拓扑变化。借鉴文[8]的思想:设一路由 $r_d = n_0, n_1, n_2, \dots, n_d$,其中: n_0 为源节点, n_d 为目的节点。记 $c_i(t)$ 为节点 n_i 在时刻 t 的电池容量, $f_i(t)$ 为节点 n_i 的电量代价函数。定义 $f_i(t) = 1/c_i(t)$,定义 $R(r) = \max_{n_i \in r_j} f_i(t)$ 为路由代价函数,因而最优路由 r_0 满足条件; $R(r_0) = \min_{r_j \in r^*} R(r_j)$,其中 r^* 为所有可能路由的集合。

2.3 算法描述

HPARP 发现路由分两种情况:一是目的节点是源节点的 k 跳邻居;二是目的节点处在源节点 k 跳邻居之外。若目的节点是源节点的 k 跳邻居,则目的节点已经有了至目的节点的路由,因为 HPARP 中各个节点都已经在 Link Cache 中存至 k 跳邻居的最新路由信息了。若目的节点处在源节点 k 跳邻居之外,则源节点可以查找自己的 Path Cache(其中缓存了已知且有效的至 k 跳邻居之外的节点的路由信息)。若没有查找到至目的节点的路由,则源节点将发起路由发现进程,直至发现符合条件的路由。

HPARP 主要包含 Link Cache、Path Cache 两种缓存和路由发现、路由维护两个进程。下面详细介绍 Link Cache、Path Cache 的建立和路由发现、路由维护的过程。

Link Cache 的建立:每个节点周期性地(T 秒)发出 hello 包,hello 包内记录了发送节点的能量信息,传送距离为 k 跳,即:节点若发现接收到的 hello 包已经传送了 k 跳,则将其丢

弃。节点接收到所有 k 跳邻居的 hello 包后,根据 HPARP 选路策略,利用 hello 包中记录的能量信息计算自己到 k 跳邻居节点的最佳路由,并更新自己的 Link Cache。这样,各节点将每隔 T 秒刷新一次自己的 Link Cache,以获得 k 跳邻居节点的更新能量信息和路由信息。

Path Cache 的建立:采用与 DSR 类似的策略。当节点接收到一个 RREQ 包时,判断发送节点是否为 k 跳以外,若是则提取 RREQ 中的路由信息,并将该路由信息存入自己的 Path Cache;当节点获得至 k 跳以外节点的路由后,将该路由添加至自己的 Path Cache。

路由发现:HPARP 属于表驱动和按需驱动相结合的功率路由算法。表驱动的路由发现用于搜寻 k 跳以内的路由;按需驱动的路由发现用于搜寻 k 跳之外的路由。当一节点 S 需要与某个节点 D 通信时,节点 S 首先查找自己的 Link Cache。若节点 D 是节点 S 的 k 跳邻居,则节点 S 已经有了到节点 D 的符合 HPARP 选路策略的路由;若节点 D 不是节点 S 的 k 跳邻居,则节点 S 继续查找自己的 Path Cache,以期找到至节点 D 的路由。若 Path Cache 没有至节点 D 的路由,节点 S 将发起一个路由发现过程。节点 S 会广播一个 RREQ 包,接收到该 RREQ 包的邻居节点首先查找自己的 Link Cache;若节点 D 是它的 k 跳邻居,则该邻居节点已经有了到节点 D 的符合 HPARP 选路策略的路由,该邻居节点给节点 S 返回一个 RREP(Route Reply)包,并将 Link Cache 中到节点 D 的路由附加到 RREP 包,这样节点 S 就获得了到节点 D 的路由。若节点 D 不是该邻居节点的 k 跳邻居,则该邻居节点将不再查找自己的 Path Cache,而是将自己的 ID 添加到该 RREQ 包中,并向自己的邻居广播该 RREQ 包,直至发现到节点 D 的路由。

路由维护:根据链路失效的位置,HPARP 采用不同的路由维护策略。若源节点为失效链路的一个端点,则由源节点发起新的路由发现进程。若路由的中间链路发生失效,则失效链路的上游节点将代替源节点发起新的路由发现进程。失效链路所在节点将向其 k 跳邻居广播路由出错消息,当收到一个路由出错消息时,节点会立即更新自己的 Link Cache 和 Path Cache,把包含失效链路的路由从 cache 中清除。

3 实验结果及其分析

3.1 模拟参数及评估指标

实验采用 NS^[12] 作为模拟平台;模拟区域为 $800\text{m} \times 800\text{m}$;MAC 层采用 802.11 协议;节点都使用全向天线;每个场景都随机地产生 20 对连接,流量模式为 CBR,每秒产生 5 个包,每个包长度为 512 字节。移动模型为 Random waypoint 运动模型,即每个节点在某处停留 5s 后,在模拟区域内随机选择一个目的地,然后在预设速度范围内($0 \sim V_{\max}$)随机选择一个速度,按该速度恒定地移向所选目的地。到达该地后再暂停 5s,然后按上述方式向下一个目的地移动。

为了评估 HPARP 中 hello 包广播周期(T 秒)对网络性能的影响,各个场景都模拟了 $T=1\text{s}$ 和 $T=3\text{s}$ 时的 HPARP。

评估指标:(1)网络寿命定义为在给定网络场景下,从模拟开始时刻至第一个节点耗尽其能量时刻的时间间隔。(2)网络吞吐量定义为在给定网络场景下,所有目的节点接收的数据包的总和。(3)端到端延迟定义为在给定网络场景下,一个数据包从源节点发出到被目的节点正确接收所经过的时

间。所有包延迟的均值为端到端平均延迟。

我们在节点密度、移动速度两个方面,对 MMBCR 和 HPARP 进行了实验对比。

3.2 节点密度不同场景

在节点密度不同这一组模拟实验中,各场景的节点数为 20~70;节点最大移动速度为 10m/s。

实验结果(图 2~4)表明,随着节点密度的增加,在网络寿命、网络吞吐量、端到端平均延迟方面,MMBCR、HPARP (3s)和 HPARP(1s)的性能都有不同程度的下降。除了端到端平均延迟稍稍差外,HPARP 在网络寿命、网络吞吐量都要好于 MMBCR。HPARP 中节点能够每隔 T 秒收集一次其 k 跳邻居的能量信息,根据各节点最新的能量信息来选路,显然能够有效延长网络寿命。较长的网络寿命提高了 HPARP 的网络吞吐量。根据 HPARP 路由维护策略,链路失效时,可能会由路由的中间节点来发现新路由,这导致 HPARP 的端到端平均延迟性能不是很理想。稠密网络场景下,hello 包广播周期 $T=3s$ 时,HPARP 网络性能要好于 $T=1s$ 时。这是因为节点密度较大而 hello 包广播周期较小,则包发生碰撞的概率会增大,从而降低了网络性能。

3.3 节点移动速度不同场景

在节点密度不同这一组模拟实验中,各场景的节点数为 40;节点最大移动速度为 0~40m/s。实验结果(图 5~7)表明,节点移动速度不同场景下,HPARP、MMBCR 的性能差异与节点密度不同时基本一致。实验中 40 个结点是接近一个稠密网络的数值,从实验结果来看,HPARP 比 MMBCR 更适合于节点密度高、移动性强的网络场景,尤其是 hello 包广播周期 $T=1s$ 时。

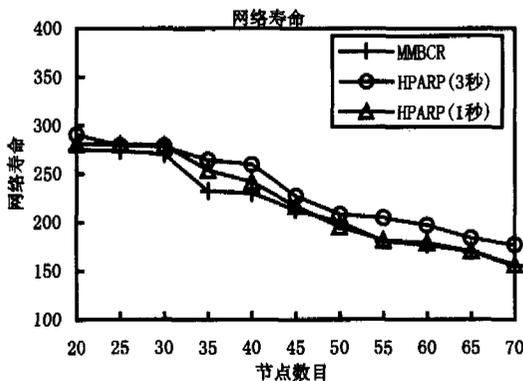


图 2 节点密度不同场景下网络寿命

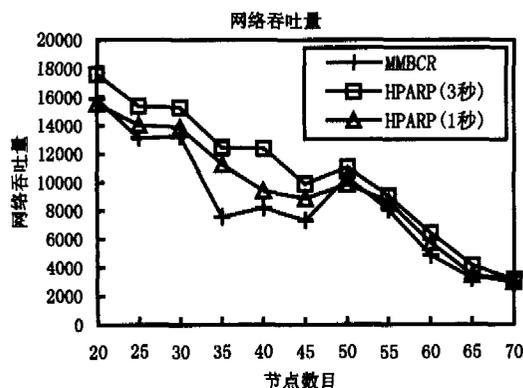


图 3 节点密度不同场景下网络吞吐量

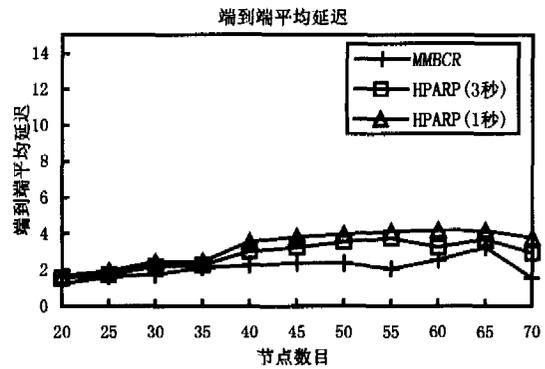


图 4 节点密度不同场景下端到端平均延迟

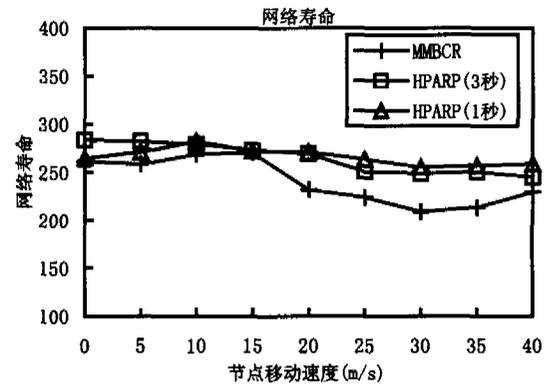


图 5 节点移动速度不同场景下网络寿命

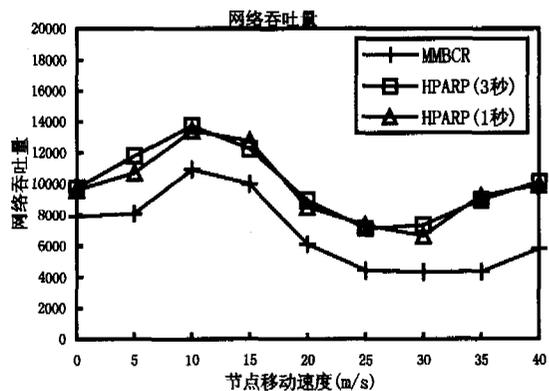


图 6 节点移动速度不同场景下网络吞吐量

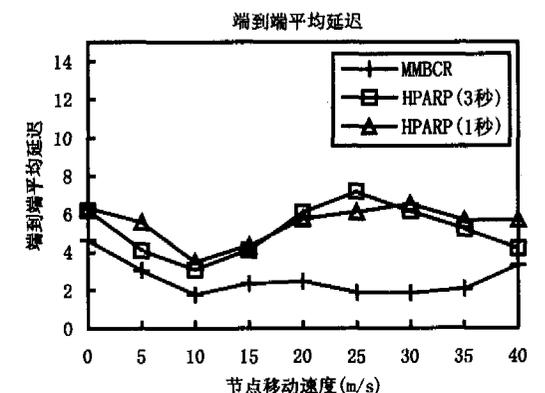


图 7 节点移动速度不同场景下端到端平均延迟

结论 本文提出了一种新的混合式功率路由——
(下转第 73 页)

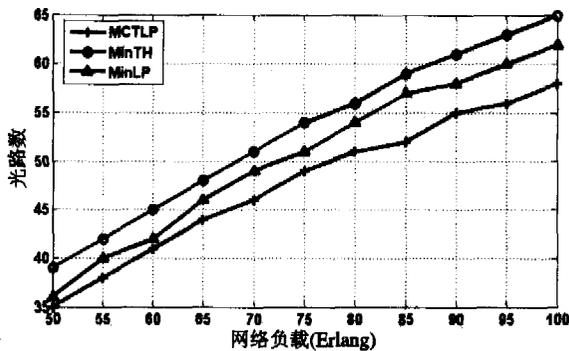


图4 不同负载下IP逻辑层上建立的光路数

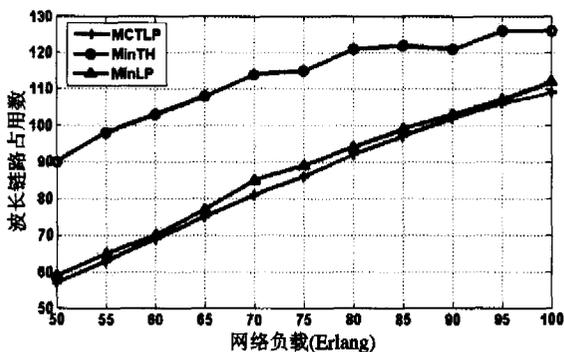


图5 不同负载下WDM光物理层上占用的波长链路数

MCTLP算法的性能优于MinLP和MinTH是因为MCTLP的光路代价函数对WDM光物理层波长链路资源和IP逻辑层带宽资源的分配作了综合考虑,也精确体现了IP逻辑层和WDM光物理层这两层链路之间的实际映射关系。当IP业务连接请求只在IP逻辑层上被路由时,MCTLP使光路尽可能多地复用IP业务流,从而提高了光路的带宽利用率,当IP业务连接请求需要在WDM光物理层被路由,或在IP逻辑层和WDM光物理层被综合路由时,通过对不同波长平面上路径代价值的比较,MCTLP保证了IP业务流占用的WDM光物理层波长链路的代价值为最小。MCTLP在路由

当前IP业务连接请求时对网络资源的优化利用保证了它能接纳更多的后续连接请求,从而降低了网络阻塞率。

结论 本文提出一种最小化全网光路总代价的IP over WDM光互联网动态路由优化模型,并设计了针对该模型的在线启发式路由算法——MCTLP,MCTLP综合考虑IP层带宽资源和WDM层波长链路资源以优化网络资源利用。仿真结果表明,无论在IP逻辑层还是WDM光物理层,MCTLP都使用较少的链路来承载更多的IP业务流,从而使网络的阻塞率性能得到明显改善。

参考文献

- 1 Wei J Y. Advances in the Management and Control of Optical Internet. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2002, 20 (4):768~785
- 2 Zang H, Jue J, Mukherjee B. A Review of Routing and Wavelength Assignment Approaches for Wavelength-Routed Optical WDM Networks. Optical Networks Magazine, 2000, 1 (1):47~60
- 3 Modiano E, Lin P. Traffic grooming in WDM networks. IEEE Communications Magazine, 2001, 39 (7):124~129
- 4 Zhu KeYao, Mukherjee B. Traffic Grooming in an Optical WDM Mesh Network. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2002, 20 (1):122~133
- 5 Cinkler T, Marx D. Heuristic Algorithms for Joint Configuration of the Optical and Electrical Layer in Multi-Hop Wavelength Routing Networks. IEEE INFOCOM, Tel-Aviv, Israel, March 2000
- 6 Zhu H Y, Zang H, Zhu K Y, et al. A Novel Generic Graph Model for Traffic Grooming in Heterogeneous WDM Mesh Networks. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2003, 11 (2): 285~299
- 7 Chen C. A New Model for Optimal Routing and Wavelength Assignment in Wavelength Division Multiplexed Optical Networks. IEEE INFOCOM, San Francisco, April 1996
- 8 Kodialam M, Lakshman T V. Integrated dynamic IP and wavelength routing in IP over WDM networks. IEEE INFOCOM, Anchorage, Alaska, April 2001
- 9 秦浩,刘增基,张爽. 基于遗传算法求解全光路由和波长分配问题. 西安电子科技大学学报,2003,30 (4):463~468

(上接第45页)

HPARP. HPARP对k跳邻居节点的能量和拓扑信息进行监控,以节点剩余能量为标准,有效地延长了网络寿命,提高了网络吞吐量,但也存在延迟稍长的问题。实验结果表明,HPARP的hello包广播周期(T秒)是影响网络性能的关键参数之一。较长的广播周期适合于稠密、静态网络场景,较短的广播周期适合于稀疏、动态网络场景。本文实现的HPARP没有考虑hello包广播周期的自适应性。在进一步研究中,可以考虑根据网络局部密度大小来自动调整hello包的广播周期,在最小化路由控制开销与获取网络局部能量及拓扑信息的周期间寻找一个折衷,以提高网络的节能性能。

参考文献

- 1 Internet Engineering Task Force. Manet working group charter. http://www.ietf.org/html_charters/manet-charter.html
- 2 Perkins C E, Bhagwat P. Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers. Computer Communications Review, 1994, 234~244
- 3 Park V D, Corson M S. A Highly Adaptive Distributed Routing Algorithm for Mobile Wireless Networks. Proceedings of INFOCOM '97, April 1997

- 4 Johnson D B, Maltz D A, Hu Y C, et al. Dynamic Source Routing in Ad-Hoc Wireless Networks. IETF Internet Draft, draft-ietf-manet-dsr-07.txt, February 2002 (Work in Progress)
- 5 Perkins C E, Royer E M. Ad Hoc On Demand Distance Vector (AODV) Routing. IETF Internet Draft, draft-ietf-manet-aodv-11.txt, June 2002 (Work in Progress)
- 6 Feeney L, Nilsson M. Investigating the Energy Consumption of a Wireless Network Interface in an Ad Hoc Networking Environment. In: Proc. of IEEE INFOCOM, Anchorage, AK, 2001
- 7 Scott K, Bambos N. Routing and channel assignment for low power transmission in PCS. ICUPC '96, Cambridge, MA, 1996
- 8 Singh S, Woo M, Raghavendra C S. Power-aware routing in mobile ad hoc network. In: Proc. ACM/IEEE Int Conf. on Mobile computing and networking, October 1998. 181~190
- 9 Toh C-K. Maximum Battery Life Routing to Support Ubiquitous Mobile Computing in Wireless Ad Hoc Networks. IEEE Communications Magazine, June 2001. 138~147
- 10 Misra A, Banerjee S. MRPC, Maximizing network lifetime for reliable routing in wireless environments. In: WCNC, 2002. 800~806
- 11 Kim D, Garcia-Luna-Aceves J J, Obraczka K, et al. Power-aware routing based on energy drain rate for mobile ad hoc networks. In: Proc. of Computer Communication and Networks, 2002. 565~569
- 12 <http://www.isi.edu/nsnam/ns/index.html>