

基于 Jelger 算法的多因素网关选择算法

刘 鹏, 周又玲, 蔡蛟洋

(海南大学 信息科学技术学院, 海口 570228)

摘 要: 针对移动自组织网络(mobile Ad hoc network, MANET)与 Internet 互联时的网关选择问题,提出一种基于 Jelger 算法的多因素网关选择算法来进行网关选择和切换。该算法综合考虑跳数、网关效益、通信成本等约束对网关选择的影响,在此基础上构建目标函数,引入网关选择度量——网关可用度(GUD)来完成网关的选择和切换。仿真结果表明,该算法能够有效改善 Jelger 算法引起的网关频繁切换问题和负载不均问题,减少网关切换次数,降低了传输时延和网络负载,提高了网络性能。

关键词: 网关选择; Jelger 算法; 多因素; 网关可用度

中图分类号: TP393

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2014)05-1536-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2014.05.061

Multi-factor gateway selection algorithm based on Jelger algorithm

LIU Peng, ZHOU You-ling, CAI Jiao-yang

(College of Information Sciences & Technology, Hainan University, Haikou 570228, China)

Abstract: According to the problem of gateway selection of mobile Ad hoc network and Internet, this paper put forward a multi-factors gateway selection algorithm based on Jelger algorithm. The algorithm comprehensively considered factors effecting on the gateway selection process, such as hop, gateway efficiency and communication cost. On the basis of above, it built objective function, and then introduced gateway selection metrics: GUD, completed gateway selection and switch. The simulation results show that the proposed algorithm can effectively improve the problems of gateway frequently switched and load imbalance caused by Jelger algorithm, reduce the gateway switching times, transmission delay and network load, improve the network performance.

Key words: gateway selection; Jelger algorithm; multi-factors; gateway usable degree(GUD)

0 引言

网关是 MANET 与 Internet 通信的桥梁,网关的发现和选择对网络的性能有着至关重要的影响。目前网关选择算法主要分为单因素网关选择算法^[1~5]和多因素网关选择算法^[6~13]。文献[1,2]采用基于跳数的网关选择算法,简单且易实现,但可能会造成网关的频繁切换和拥塞。文献[3,4]采用基于负载的网关选择算法,实现了网关负载均衡,避免了网关拥塞,但会引起不必要的转发,增加网络负载。文献[5]采用基于能量的网关选择算法,解决了传感器网络的节能问题,延长了网络的使用寿命。

单因素网关选择算法由于未考虑整个网络的状态,所以只能达到局部最优,不能使得整个网络整体性能最优,且效率不高,而多因素网关选择算法在一定程度上提升了网络整体性能。文献[6]采用基于跳数和负载的网关选择算法,减少了网络平均时延。文献[7]采用基于跳数和网关流量负载的网关选择算法,降低了分组丢包率。文献[8]采用基于跳数、网关负载和链路可靠性的网关选择算法,在一定的开销范围内,实现了网关负载均衡,缩小了平均分组时延。文献[9]采用基于网关吞吐量、网络负载和链路可靠性的网关选择算法,提高了网络吞吐量,提升了网络的整体性能。但文献[6~9]都未考

虑节点的移动性,当节点在网关间来回移动时,会出现频繁切换网关的问题。文献[10]采用基于跳数和节点移动性的网关选择算法,通过引入新的路由表降低了丢包率,一定程度上避免了网关频繁切换的问题,但加大了计算量。文献[11]提出基于分簇的动态网关选择算法,根据网络的拓扑变化动态分簇,簇头控制和管理网关的选择,实现了网关负载均衡,但是没有考虑通信链路的可靠性。文献[12]提出基于跳数、网关剩余能量和网关移动性的网关选择算法,提高了网络吞吐量和分组投递率,但是没有考虑链路质量等通信约束。

由于 MANET 和 Internet 互联时,一般采用 Jelger 网关选择算法^[13],所以本文在 Jelger 算法的基础上,结合上述分析,提出基于 Jelger 算法的多因素网关选择算法,在跳数的基础上,考虑网关综合效益、通信成本,引入网关选择度量——网关可用度(GUD)进行网关选择,克服 Jelger 算法导致的网关频繁切换和引进不必要时延的问题,提高了整个网络的性能。

1 问题描述

假设 $N_{\text{MANET}} = \{1, 2, \dots, N_1\}$ 为 MANET 中的通信节点, $N_{\text{Internet}} = \{1, 2, \dots, N_2\}$ 为 Internet 中的通信节点, $G = \{1, 2, \dots, M\}$ 为通信网关。当且仅当节点 $i (i \in N_{\text{MANET}})$ 与节点 $j (j \in N_{\text{Internet}})$ 进行通信时,才经过网关节点,否则不经过网关节点。

收稿日期: 2013-07-02; 修回日期: 2013-08-25

作者简介: 刘鹏(1987-),男,河南新乡人,硕士研究生,主要研究方向为无线通信(xiaomame103716@sina.cn);周又玲(1965-),女,湖南衡阳人,教授,硕士,主要研究方向为海洋通信、认知无线电;蔡蛟洋(1988-),浙江遂昌人,硕士,主要研究方向为网络融合。

当节点*i*与*j*进行通信时,由于网络存在着多个网关,这就需要对移动节点设计合理的网关选择算法,从多个网关中选择一个作为接入网关,网关选择算法直接影响了互联网络的性能。网关选择的目的是在保证一定的网络性能下构建一条从源节点到目的节点的通信链路。网关选择的示意图如图1所示。

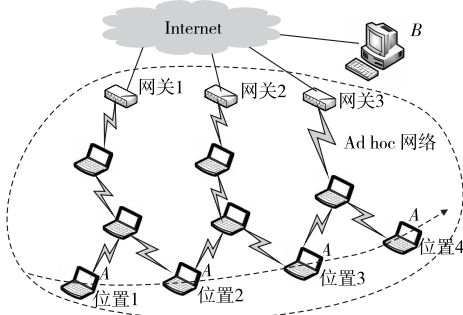


图1 网关选择示意图

如图1所示,节点*A*要与节点*B*通信,由于节点*A*可以自由移动,在位置1时节点*A*只能通过网关1与节点*B*通信。当节点*A*移动到位置2、3时,节点*A*就处于不同网关覆盖的重叠区域内,此时节点*A*会发现多个网关,这时就需要从多个网关中选择一个合适的网关作为接入网关接入Internet,根据网关选择算法来进行网关选择和切换,这对融合网络的性能有着重要的影响。本文在Jelger网关选择算法的基础上引入GUD,综合考虑跳数、网络负载、链路质量、链路可靠性等因素进行网关选择,从而减少网关切换的次数,提高整个网络的性能。

2 基于Jelger算法的多指标网关选择算法

2.1 Jelger 算法描述

Jelger算法主要由节点距离网关的跳数,加以其他一些限制条件进行网关选择。在Jelger算法中,网关节点周期性地地在覆盖范围内广播网关通告(gateway advertisement, GWADV)消息,节点保持对通告消息的侦听。算法具体实现过程如下:

- 如果在周期内节点没有收到通告消息,则保持侦听。
- 如果节点在周期内第一次收到GWADV消息,则检查该消息是否在有效期内。如果在有效期内,则把发送GWADV消息的节点当做自身的上游节点,并获取网关节点的网络前缀和路由信息,建立一条通向网关的路由;若通告消息已经过期,则丢弃该消息,继续保持侦听。
- 当节点再次收到某个网关或多个网关的通告消息,则根据下面的三个分算法来进行网关选择:

(a)F_DISTANCE算法。该算法根据移动节点到网关的跳数来选择网关,选择跳数少的作为接入网关,从而保证节点以最小的跳数来接入网关。

(b)F_DISTANCE_STABILITY算法。该算法在前一算法基础上增加了一个限制条件:当节点收到来自邻居节点的GWADV通告消息时,首先会比较自己和邻居节点的网络前缀,当两者网络前缀相同时才将其作为候选上游节点,然后再根据跳数信息进行网关的选择,这样就保证了网络前缀的连续性。

(c)F_DELAY算法。该算法在前两个算法的基础上再增加了另一个限制条件来进一步确保网络前缀的连续性,即节点已收到邻居节点传来的前缀为*N*、序列号为*P*的GWADV消息。只有当节点收到前缀为*N*且序列号为*P+1*的网关消息时,才把发送该消息的节点作为上游邻居节点。

虽然Jelger网关选择算法提出了三种不同的网关更新算法,但它仍存在着不足:F_DISTANCE算法保证了节点通向网关的最短路径,但不能有效避免网关的频繁切换;F_DISTANCE_STABILITY和F_DELAY算法通过保持网络前缀的稳定性避免了网关的频繁切换,但会出现舍近求远的状况,从而造成大量的网络时延。针对Jelger网关选择算法的不足,本文采用基于Jelger算法的多因素网关选择算法,综合考虑跳数、网关负载、链路质量、链路可靠性等因素进行网关选择。

2.2 基于Jelger算法的多因素网关选择算法

本文采用加权方法综合考虑跳数、网关负载、链路质量、链路可靠性等因素对网关的影响,引入网关选择度量GUD,通过比较GUD值进行网关选择。GUD通过式(1)获得。

$$\frac{1}{\text{GUD}_k} = \alpha \text{Hop}_{ik} + \beta \text{Load_intensity}_k + \gamma \text{Link_c}_{ik} + \eta \frac{1}{\text{Link_r}_{ik}} \quad (1)$$

其中: Hop_{ik} 表示节点*i*与网关*k*进行通信的跳数, α 为其权值; Load_intensity_k 表示网关*k*当前的负载强度,通过式(2)获得, β 为其权值; Link_c_{ik} 表示节点*i*与网关*k*通信链路的拥塞程度,通过式(4)获得, γ 为其权值; Link_r_{ik} 为节点*i*与网关*k*通信链路的可靠度,通过式(5)获得, η 为其权值;且 $\alpha + \beta + \gamma + \eta = 1$,取值大小根据具体的网络而定。由于本文仿真实验中所使用的节点较稀疏,所以 α 、 β 、 γ 、 η 的取值分别为0.3、0.2、0.15、0.35。

网关*k*当前的负载强度用网关*k*当前的流量与其最大流量的比值表示。

$$\text{Load_intensity}_k = \frac{\text{Load}_k}{\text{Load}_{k_max}} \quad (2)$$

其中: Load_k 表示网关*k*当前的流量,通过式(3)获得; Load_{k_max} 表示网关*k*的最大流量。

$$\text{Load}_k = \text{size}_1 \text{rate}_1 + \dots + \text{size}_n \text{rate}_n = \sum_{m=1}^n \text{size}_m \text{rate}_m \quad (3)$$

其中: size 表示单位时间平均数据包流量大小; rate 表示单位时间数据包到达率; n 为接入该网关的节点总数。

通信链路的拥塞程度可用链路利用率表示,从源节点到达网关节点的链路是一个多跳组成的链路, l 表示端到端的各链路, t 表示端到端的链路数,即 $t = \text{Hop}_{ik}$,则整条链路的拥塞程度是该路径所经过的所有链路利用率的最大值,可表示为

$$\text{Link_c}_{ik} = \max_{l=1, \dots, t} \frac{\text{size}_l}{C_l} \quad (4)$$

其中: C_l 表示链路*l*的容量,根据香农公式 $C = B \log(1 + S/N)$ 获得; size_l 表示链路*l*上的单位时间平均数据包大小。

通信链路的可靠度为

$$\text{Link_r}_{ik} = \frac{\sum_{p=1}^q (aE_p + bC_p + cB_p + dM_p)}{q^2} \quad (5)$$

其中: p 为从源节点到达网关的中间节点; q 为从源节点到达网关所经历的中间节点数,即 $q = \text{Hop}_{ik} - 1$; E_p 表示节点*p*当前剩余的能量, a 为其权值; C_p 表示节点*p*当前剩余的缓存容量大小, b 为其权值; B_p 表示节点*p*当前的可用带宽, c 为其权值; M_p 表示节点*p*当前的移动性, d 为其权值;且 $a + b + c + d = 1$,取值根据具体的网络情况而定。由于MANET网络中节点的能量有限,所以在本文仿真实验中, a 、 b 、 c 、 d 的取值分别为0.4、0.3、0.1、0.2。

基于Jelger算法的多因素网关选择算法中,网关节点仍周

期性地在覆盖范围内广播 GWADV 消息,节点保持对通告消息的侦听,其流程如图 2 所示。

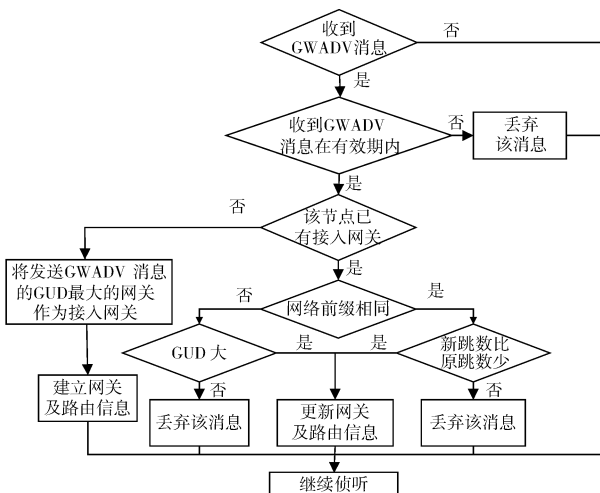


图 2 基于 Jelger 算法的多因素网关选择算法流程

算法的具体实现步骤如下:

- 如果在周期内节点没有收到通告消息,则继续保持侦听。
- 当节点收到一个 GWADV 消息,检查该消息是否在有效期内。如果不在有效期内,则丢弃,继续保持侦听;否则执行步骤 c)。
- 判断收到 GWADV 消息的节点是否有接入网关。若没有,则根据式(1)计算比较发送 GWADV 消息的网关的可用度 GUD,选择 GUD 大的网关作为其接入网关,并建立网关及路由信息,然后继续侦听;若已经有接入网关,则比较自己和 GWADV 消息的网络前缀。若两者网络前缀相同,则比较原来的跳数和 GWADV 消息中的跳数,选择跳数少的作为接入网关,并更新网关及路由信息,然后继续侦听;若两者网络前缀不相同,则根据式(1)计算比较发送 GWADV 消息的网关的可用度 GUD,选择 GUD 大的网关作为接入网关,并更新网关及路由信息,然后继续侦听。

3 仿真分析

在 OPNET 中对上述算法进行仿真验证,仿真环境设置如下:

- 50 个 Ad hoc 节点,3 个 Internet 固定节点,3 个网关。
- Ad hoc 节点在 $1000 \times 1000 \text{ m}^2$ 的范围内以最大速度 15 m/s 做随机运动,移动模型采用 OPNET 自带的 random waypoint 底层移动模型,移动轨迹为 VECTOR,路由协议采用 AODV 协议。
- 每个节点的无线接口带宽为 2 Mbps,无线信号覆盖范围为 200 m。
- 传输数据包分组大小为 16 bit,传输的业务类型为 FTP,仿真时间为 30 min。

同一仿真场景下,Jelger 网关选择算法和本文提出的基于 Jelger 算法的多因素网关选择算法的仿真结果如图 3~6 所示。

由图 3 可知,采用 Jelger 算法,网关切换次数约为 50 次,网关切换频繁;采用本文所提出的算法,网关切换次数约为 28 次,减少了网关切换的次数。这是由于 Jelger 算法只选择跳数作为网关选择的度量,而本文提出的算法引入了 GUD,首先判断网关前缀是否相同。若相同则选择跳数作为网关选择的度量;若不同则选择 GUD 大的作为接入网关,从而减少网关切换的次数,有效解决了网关频繁切换的问题。

网关切换次数的减少带来的好处是节省了网络开销,网络负载也应该大幅降低。由图 4 可知,本文所提出的算法比 Jelger 算法节省了大量的网络开销,符合理论分析,为了更直观地比较网络负载,对数据进行时间平均(time average)处理,如图 5 所示。从图中可以比较出本文所提的算法在网络开销上比 Jelger 算法更低,即节省了网络开销。

由图 6 可知,Jelger 算法的平均时延大于本文所提算法的平均时延。这是由于 Jelger 算法的网关频繁切换,网络负载过大,造成了平均时延的增大,而本文所提的算法减少了网关切换次数,分散了网关的负载,降低了网络平均时延。

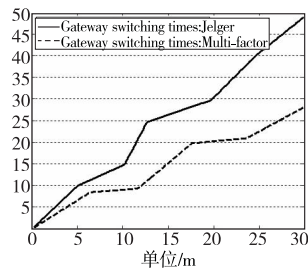


图 3 网关切换次数

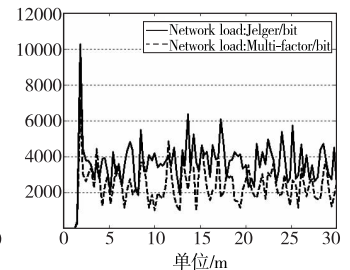


图 4 网络负载

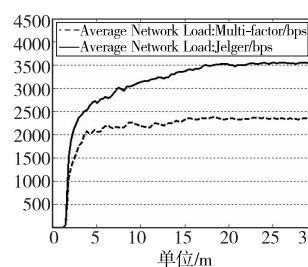


图 5 平均网络负载

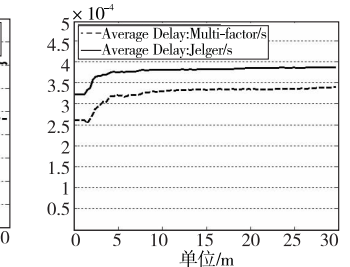


图 6 平均网络时延

4 结束语

针对 Ad hoc 网络接入 Internet 的互联网关选择问题,本文提出了一种基于 Jelger 算法的多因素网关选择算法。在 Jelger 网关选择算法的基础上,综合考虑跳数、网关性能和通信成本对整个网络性能的影响,引入网关可用度进行网关选择,从而优化整个网络的性能。仿真结果表明,该算法能有效改善 Jelger 算法引起的网关频繁切换问题和网关负载不均衡的问题,减少网关切换次数,减小传输时延,降低网络的负载,提高了 Ad hoc 接入网的性能,但文中所用的权值是根据理论条件和仿真实验确定的,并没有进行严密的论证,其结果不够科学。因此下一步的工作重点是对权值进行深入分析和论证,并在实际的测试平台上实现该算法。

参考文献:

- [1] KHALEEL U, RAHMAN K, ZAMAN R U, *et al.* Integrating mobile Ad hoc networks and the Internet: challenges and a review of strategies[C]//Proc of the 3rd International Conference on Communication Systems Software and Middleware and Workshops. 2008:536-543.
- [2] WAKIKAWA R, MALINEN J T, PERKINS C T, *et al.* Global connectivity for IPv6 mobile Ad hoc networks [EB/OL]. <http://www.cs.ucsb.edu/~ebelding/txt/globalv6.txt>.
- [3] JAEWOOK S, HAERYONG L, JEEHYEON N, *et al.* Load balancing among Internet gateways in Ad hoc networks[C]//Proc of the 62nd IEEE Vehicular Technology Conference. 2005:1677-1680.

(下转第 1542 页)

从图4可以看到, Approx-Caching模型和OpenDDS模型在节点增加到17后就超载;相反ARTDDM模型始终将CPU使用率维持在20%以下,表现出良好的性能。其原因是本文设计的ARTDDM采用了语义感知通信机制,大大降低了计算开销和通信开销,因而降低了CPU负载。

2.2 自适应控制机制测试

图5和6显示了ARTDDM性能测试结果。从图5可以看到,不管网络负载如何变化,带控制器的ARTDDM始终将CPU负载控制在目标值附近;相反不使用控制器时,CPU波动严重。图6显示了模型精度边界 ϕ 的变化。在ARTDDM中,模型精度边界 ϕ 的变化与负载变化近似呈线性关系。其原因是本文设计的ARTDDM在系统中加入了前馈-反馈控制结构,因此随着网络负载的变化,系统能动态自适应调整传感器模型的精度,因而模型精度边界的变化与负载变化保持一致。

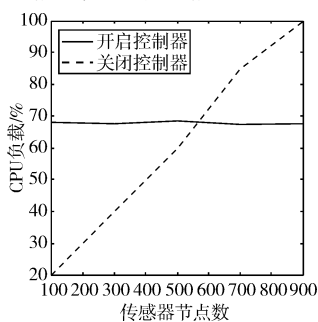


图5 控制器对CPU负载的影响

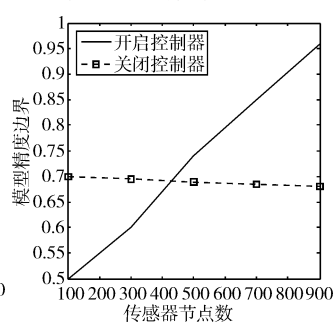


图6 ARTDDM模型精度边界

3 结束语

本文介绍了一种新型自适应实时数据分发机制(ARTDDM)和适应高度不确定物联网使用环境的两个核心机制。首先利用传感器数据语义提供及时、可靠和可伸缩的数据分发;其次ARTDDM结合了反馈控制和前馈控制理论来增强QoS。通过实验验证了ARTDDM的性能,结果表明语义感知通信机制有效地降低了计算和通信开销;同时也表明双环路控制方式为负载变化不可预测的物联网提供了较好的自适应能力。目前提出的ARTDDM仅仅支持单一的模型方案,没有考虑分布式传感器节点之间的关联性。如何利用传感器节点之间的关联性进一步提高ARTDDM模型的精度,是笔者未来要做的工作。

参考文献:

- [1] LIU Qiang, HUANG Xiao-hong, LENG Su-peng, *et al.* Deployment strategy of wireless sensor networks for Internet of things [J]. *China Communications*, 2011, 8(8): 80-86.
- [2] TOBIAS H, OSCAR G M, RENE H, *et al.* Security challenges in the IP-based Internet of things [J]. *Wireless Personal Communications*, 2011, 61(3): 527-542.
- [3] CARSTEN M, STEPHAN H, PASCAL H. Intersecting the architecture of the Internet of things with the future retail industry [C]//Proc of the 1st International Joint Conference on Ambient Intelligence. 2010:325-319.
- [4] WANG Ying, ZHANG Gui, TAN San-qing. Application prospect of Internet of things technology in info-forestry [C]//Proc of Asia-Pacific Youth Conference on Communication Technology. 2010:106-111.
- [5] 陈海明, 崔莉, 谢开斌. 物联网体系结构与实现方法的比较研究 [J]. *计算机学报*, 2013, 36(1): 168-185.
- [6] PSANNIS K, ISHIBASHI Y. Efficient error resilient algorithm for H. 264/AVC; mobility management in wireless video streaming [J]. *Springer Telecommunication Systems Journal*, 2009, 41(2): 65-76.
- [7] RELLERMEYER J S, DULLER M, GILMER K, *et al.* The software fabric for the Internet of things [C]//Proc of the 1st International Conference on the Internet of Things. Berlin; Springer-Verlag, 2008: 87-104.
- [8] LUO Shi-liang, LU Xu, CHENG Liang-lun. TSOIA: an efficient node selection algorithm facing the uncertain process for Internet of things [J]. *Journal of Network and Computer Applications*, 2013, 36(2): 738-743.
- [9] PEDONE F, SCHIPER A. Handling message semantics with generic broadcast protocols [J]. *Distributed Computing*, 2002, 15(2): 97-107.
- [10] JAWARD M H, KADIRKAMANATHAN V, FABRI S G. Multiple model adaptive estimation for multiuser detection in CDMA communication [C]//Proc of IFAC Workshop on Adaptation and Learning in Control and Signal Processing. 2001:133-138.
- [11] LIU Yi-chang, GUAN Xin-ping. H-infinity control of EPC Internet of things [C]//Proc of the 7th World Congress on Intelligent Control and Automation. 2008:25-27.
- [9] THAENTHONG J, GORDON S. Gateway selection architecture using multiple metrics for vehicular networking [J]. *Information Technology Journal*, 2012, 11(7): 840-849.
- [10] SHIN C, KIM S, AN S. Stable gateway selection scheme based on MANET with Internet [C]//Proc of the 6th IEEE International Conference on Computer and Information Technology. 2006:80-85.
- [11] KEISEI O, TOMOYUKI O, YOSHIKI K. A dynamic network gateway selection scheme based on autonomous clustering for heterogeneous mobile Ad hoc network environment [C]//Proc of IEEE Conference on Globecom Workshops. 2012:513-517.
- [12] FUDHIYANTO P S, SAFDAR H B, IWA O S. An optimum multiple metrics gateway selection mechanism in MANET and infrastructure networks integration [C]//Proc of IEEE Wireless Communications and Networking Conference. 2008:2229-2234.
- [13] JELGER C, NOEL T, FREY A. Gateway and address auto-configuration for IPv6 Ad hoc networks [EB/OL]. <http://tools.ietf.org/html/draft-jelger-manet-gateway-autoconf-v6-02>.

(上接第1538页)

- [4] GOKBAYRAK K, YILDIRIM E A. Joint gateway selection, transmission slot assignment, routing and power control for wireless mesh network [J]. *Computer & Operations Research*, 2013, 40(7): 1671-1679.
- [5] BAYILMIS C, YOUNIS M. Energy-aware gateway selection for increasing the lifetime of wireless body area sensor networks [J]. *Journal of Medical Systems*, 2012, 36(3): 1593-1601.
- [6] TRUJILLO F D, TRIVINO A, CASILARI E, *et al.* A stability approach to improve MANET-Internet connection [C]//Proc of the 23rd International Symposium on Computer and Information Sciences. 2008:1-6.
- [7] PARKA B N, LEEA W, LEEB C. QoS-aware Internet access schemes for wireless mobile Ad hoc networks [J]. *Computer Communications*, 2007, 30(2): 369-384.
- [8] 吴琼, 王兵, 尹凤杰. Ad hoc网络基于多指标综合的网关优选方案 [J]. *辽宁大学学报:自然科学版*, 2012, 39(2): 169-173.