

# Ad Hoc 网络中一种链路负载均衡的节能路由协议

韩智洋, 束永安

(安徽大学 计算机科学与技术学院, 安徽 合肥 230601)

**摘要:**传统 Ad Hoc 网络路由协议主要是基于“最短路径”来考虑,会在网络中造成对一些“热点节点”的过度使用和链路负载不均衡。针对 Ad Hoc 网络中移动节点能量有限和链路负载不平衡的问题,文中提出基于链路负载均衡的节能路由协议(link Load Balancing and Energy Saving routing protocol, LBES)。该协议通过考虑网络中节点生存时间和节点间链路通信效率两个方面因素,基于这两方面性能重新定义和计算链路性能,以达到优化路由选择的效果的目的。仿真结果表明,与 DSR 和 MRL 相比, LBES 有效地延长了网络寿命,降低了网络传输时延,提高了网络的可靠性。

**关键词:** Ad Hoc; 能量有限; 链路负载; 生存时间; 链路通信效率

**中图分类号:** TP31

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1673-629X(2014)01-0085-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.01.022

## A Link Load Balancing and Energy Saving Routing Protocol in Ad Hoc Networks

HAN Zhi-yang, SHU Yong-an

(Institute of Computer Science and Technology, Anhui University, Hefei 230601, China)

**Abstract:** Traditional Ad Hoc network routing protocols are mainly based on the condition “Shortest Path”, which may cause the overuse of “hotspots” and link load’s unbalance. Considering the energy limitation of node and the link load imbalance in Ad Hoc networks, a link load balancing and energy saving routing protocol (LBES) is proposed, which mainly considers two factors in route selection: node’s lifetime and link communication efficiency, based on this two aspects, redefine and calculate the link performance. The simulation results show that compared with DSR and MRL, the proposed routing protocol extends the network’s lifetime, reduces the transmission delay, and improves the reliability of the network.

**Key words:** Ad Hoc; energy limitation; link load; node’s lifetime; link communication efficiency

### 1 概述

Ad Hoc 网络是一种无需网络基础设施的多跳临时性网络,它由一组带有无线通信收发装置的终端节点组成,网络中每个终端节点地位平等并且都可以自由移动<sup>[1]</sup>。Ad Hoc 网络协议大致可分为两类:表驱动路由协议如 DSDV<sup>[2]</sup>和按需路由协议如 DSR<sup>[3]</sup>和 AODV<sup>[4]</sup>等,这些协议多采用最小跳数优先策略<sup>[5]</sup>,没有考虑带宽、时延、能量等网络服务质量要求。目前,一些较新的协议设计大都考虑了能量限制、网络拥塞等问题,例如, BDVP-MA<sup>[6]</sup>协议中以带宽作为路由的选择参数; EMGA<sup>[7]</sup>考虑了节点的剩余能量,通过智能

计算的方法延长网络寿命; MRL<sup>[8]</sup>路由算法提出在节点剩余能量基础上,考虑节点能量消耗速率,选择生存时间较长的路由; LDAR<sup>[9]</sup>提出通过绕开网络中“热点区域”来控制网络拥塞,减少平均端到端时延。以上协议都是从能量或者链路负载某一个方面入手,很少将这两方面因素综合起来进行路由选择。

针对移动自组织网络中带宽资源有限和能量限制的特点,文中提出了一种链路负载均衡的节能路由算法,该算法不再以单纯的跳数作为路由性能判断依据,而是考虑节点间链路的负载状况,以及单跳传输的质量和性能是由发送方和接收方共同决定的特点,从

收稿日期: 2013-03-22

修回日期: 2013-06-27

网络出版时间: 2013-11-12

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目(20080440706)

作者简介: 韩智洋(1987-),男,硕士研究生,CCF 会员,研究方向为 Ad Hoc 网络路由协议;束永安,副教授,研究方向为无线网络及下一代网络体系结构。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20131112.1639.038.html>

“链接”的角度来优化设计。同时通过估算节点在网络中的生存时间,选择生存时间长的链路,达到延长网络寿命的目的。

## 2 LBES 相关概念

### 2.1 链路生存时间的计算

综合考虑节点剩余能量和节点能量消耗速率,来估算节点生存时间<sup>[8]</sup>。定义  $\text{Eng}_t^i$  为  $t$  时刻节点  $i$  的剩余能量,  $V^i$  为节点  $i$  的能量消耗速率。在路由请求分组 RREQ 中增加节点生存时间值 LT, 节点生存时间值将作为链路性能计算的一个重要参数,可以得到:

$$V^i = \frac{\text{Eng}_{t-\Delta t}^i - \text{Eng}_t^i}{\Delta t} \quad (1)$$

$$\text{LT}^i = \frac{\text{Eng}_t^i}{V^i} = \frac{\text{Eng}_t^i * \Delta t}{\text{Eng}_{t-\Delta t}^i - \text{Eng}_t^i} \quad (2)$$

设从源节点  $n_0$  到目的节点  $n_d$  的路由  $r$  所经过节点依次为:  $R = n_0, n_1, \dots, n_d$ , 则路径上任意两个相邻节点  $i$  和  $j$  间的链路生存时间记为  $t(i, j)$ , 其值  $t(i, j) = \min(\text{LT}^i, \text{LT}^j)$ 。

### 2.2 链路性能的度量

单个节点的负载状况反映了节点的繁忙程度,网络中的数据应该选择空闲度高的节点进行传输和转发。若一条链路两端节点空闲度都比较高,通信链路将会有较好的传输保障。因此,应尽量选择相对空闲的通信链路组成路由。文中 LBES 提出了一种描述无线节点  $i$  和节点  $j$  之间基于链接负载均衡的链路度量 (Link - Metric, LM), 定义如下:

$$\text{LM}_{ij} = t(i, j)^\alpha \left( \frac{L_i L_j}{\sqrt{L_i^2 + L_j^2}} \right)^\beta \quad (3)$$

式中,  $\alpha$  和  $\beta$  为预设常数;  $L_i$  和  $L_j$  分别表示节点  $i$  和节点  $j$  的空闲度,反映了节点当前的繁忙程度<sup>[9]</sup>。定义如下:

$$L_i = \frac{\text{TxR}_i}{\text{RcvR}_i^2} \quad (4)$$

式中,  $\text{TxR}_i$  称为节点发送率,代表节点 MAC 层数据帧的发送速率;  $\text{RcvR}_i$  称为节点接收率,代表 MAC 层数据帧的接收速率。这两个参数是通过跨层操作机制获得的。由于接收是发送的前提,因此,公式(4)中数据包接收率被赋予较高的指数。每隔  $T = 6$  秒钟的时间进行采样,计算节点发送和接收数据帧的速率,计算公式:

$$\text{TxR}_i = \gamma * \text{TxR}_{\text{old}} + (1 - \gamma) * \text{TxR}_{\text{sample}} \quad (5)$$

$$\text{RcvR}_i = \gamma * \text{RcvR}_{\text{old}} + (1 - \gamma) * \text{RcvR}_{\text{sample}} \quad (6)$$

把平滑因子  $\gamma$  的值设置为 0.3, 这样,就赋予了当前采样值更高的权重。公式(3)由  $t(i, j)$  和  $\frac{L_i L_j}{\sqrt{L_i^2 + L_j^2}}$

这两部分组成,前者反应了相邻节点所在链路的存活时间,后者描述了节点间链路的通信效率。LM 值越大,表示链路的性能越好。认为当一条链路两端的节点空闲度较高且两个节点的空闲程度相差不大时,这条链路就拥有了较高的传输保障。反之,如果链路两端节点的空闲度差异过大,那么空闲度大的节点会被空闲度小的节点所拖累,导致资源的浪费和链路通信效率的降低。下面给出简要证明。

定理:当一条链路两端节点间空闲度较高或者处于平衡的状态时,  $\frac{L_i L_j}{\sqrt{L_i^2 + L_j^2}}$  值越大。

证明,设  $(V_a, V_b), (V_c, V_d)$  是网络中两条链路,分别用  $s(a, b), s(c, d)$  表示这两条链路对应的  $\frac{L_i L_j}{\sqrt{L_i^2 + L_j^2}}$  取值。

(1) 当  $L_a + L_b = L_c + L_d$  且  $|L_a - L_b| = |L_c - L_d|$  时,  $L_a L_b = \frac{(L_a + L_b)^2 - (L_a - L_b)^2}{4}, L_c L_d = \frac{(L_c + L_d)^2 - (L_c - L_d)^2}{4}, s(a, b) = s(c, d)$ 。

(2) 当  $L_a + L_b > L_c + L_d$ , 且  $|L_a - L_b| = |L_c - L_d|$  时, 记  $|L_a - L_b| = |L_c - L_d| = C$ 。  $L_a L_b = \frac{(L_a + L_b)^2 - (L_a - L_b)^2}{4} > \frac{(L_c + L_d)^2 - (L_c - L_d)^2}{4} =$

$L_c L_d$ ,  $s(i, j) = \frac{L_i L_j}{\sqrt{L_i^2 + L_j^2}}$  可视为函数  $f(x) = \frac{x}{\sqrt{C^2 + 2x}}$ , ( $x > 0$ ), 对函数求一阶导数,在定义域内值为正,  $f(x)$  单调递增,此时  $s(a, b) > s(c, d)$ 。

(3) 当  $L_a + L_b = L_c + L_d$ , 且  $|L_a - L_b| < |L_c - L_d|$  时, 记  $L_a + L_b = L_c + L_d = Q$ 。  $L_a L_b = \frac{(L_a + L_b)^2 - (L_a - L_b)^2}{4} > \frac{(L_c + L_d)^2 - (L_c - L_d)^2}{4} =$

$L_c L_d$ , 此时,  $s(i, j) = \frac{L_i L_j}{\sqrt{L_i^2 + L_j^2}}$  可视为函数  $f(x) = \frac{x}{\sqrt{Q^2 - 2x}}$ , ( $0 < x < \frac{Q^2}{4}$ ), 对函数求一阶导数,在定义域内值为正,函数  $f(x)$  单调递增,此时  $s(a, b) > s(c, d)$ 。

这就说明当相邻节点间空闲度较高且平衡度较高时,  $\frac{L_i L_j}{\sqrt{L_i^2 + L_j^2}}$  值较大,证明完毕。

### 2.3 路由权值的计算

对于从源节点到目的节点所经过的路径  $r = n_0, n_1, \dots, n_{d-1}, n_d$ , 则该条路径上所有链路性能判据之和为:

$$LM_r = \sum_{i=0}^{d-1} LM_{i+1} \tag{7}$$

对于所有满足从源节点  $n_0$  到目的节点  $n_d$  路由条件的路径集合  $R_i(i = 1, 2, \dots, m)$ , 定义路径  $k(k \in R_i)$  权值  $W_k$  为:

$$W_k = \frac{LM_k}{N_k} \tag{8}$$

式中,  $LM_k$  为路径  $k$  上所有节点间链路判据值之和;  $N_k$  为路径  $k$  上从源节点到目的节点的数。基于链路负载均衡的节能路由算法选择的路由  $R_k$  满足:  $W_k = \max_{r \in R_i}(W_r)$ , 将  $R_k$  选为从源节点到目的节点的传输路由。

3 LBES 实现

3.1 RREQ 分组

表 1 为路由请求分组 RREQ 中的主要内容  
表 1 路由请求分组 RREQ 中的主要内容

Sid	Did	Request id	Routing records
LT	L	Hop count	Route cost

Sid:源节点 IP 地址。  
Did:目的节点 IP 地址。  
Request id:RREQ 路由请求分组序列号,由源节点进行维护。  
Routing records:路由记录,记录从源端到目的端所经过的中间节点。  
LT:当前节点的生存时间值。  
L:节点空闲度值。  
Hop count:源节点和当前节点间的距离。  
Route cost:从源节点到当前节点路径的性能度量。

3.2 路由发现

当源节点需要和网络中某一节点通信时,首先查找自己的路由表中是否有到目的节点的路由,如果已经存在有效路由,则选择权值最大的路由直接进行数据发送。否则,源节点启动寻路过程,初始化 RREQ 分组,然后向其邻居节点广播请求分组。中间节点收到 RREQ 分组后,计算该节点生存时间值,如果该值小于某一预设值,不再继续广播此 RREQ 分组,该节点将不再参与此次路由发现<sup>[10]</sup>,通过这一策略可以使路由发现过程中选中的中间节点具有较长的存活时间。否则,对分组做如下处理:

- (1)检查 RREQ 分组的路由记录中是否已经包含该节点,如果是,直接丢弃该分组。
- (2)查找本地路由请求表,判断是否为第一次收到此路由请求分组,如果先前已经收到该 RREQ 分组,

则不是对该分组做简单地丢弃处理,而是根据公式(7)、(8),计算到从源节点到当前节点所经过路径的权值是否大于先前 RREQ 分组所经过路径的权值,如果大于先前路径的权值,继续向下一个节点发送,否则删除此 RREQ 分组。

(3)如果节点是第一次接收到该 RREQ 分组,则将此路由请求分组的<Sid, Request id>保存到路由请求表中。然后由式(3)计算和上一跳节点间的链路判据值,再根据公式(7),更新当前 Route cost 字段中对应值,向下一节点广播更新后的 RREQ 分组。

3.3 路由应答和维护

对于目的节点,接收到 RREQ 分组后做如下处理:  
当收到第一条 RREQ 分组后,启动计时器。等待一段时间  $t$ ,在  $t$  时间内可以收到多条 RREQ 分组。根据公式(8),计算各条路由的权值,选择权值最大的路由,并按照 RREQ 包提供的到源节点的反向路径发送 RREP 回复。源节点收到 RREP 分组后,就把此条路由及相关信息插入到该节点的路由表中,从而建立起了源节点到目的节点的路由。

LBES 中,路由的维护是按需进行的,不需要进行周期性的广播,路由维护程序会对正处在使用当中的路由进行监控。当传输路径上的某个中间节点检测到分组传输失败,它会产生一条路由错误分组 RRER, RRER 分组中包含有产生错误所在链路两端节点的地址。然后将 RRER 沿从源节点到当前节点的反向路由发送回源节点。源节点收到 RRER 分组后,删除所有包含发生错误链路的路由,然后重新发起路由请求。

4 仿真与分析

在 NS2<sup>[11]</sup> 仿真平台上对 LBES 进行仿真实验。仿真参数和环境设置如下:将实验区域设定为 1 200 m × 1 200 m 的矩形范围,包含 50 个移动节点,节点的移动速度为 8 m/s,数据源采用 CBR 方式,节点连接度为 20,仿真时间为 300 s。通过 NS2 自带的能量模型,设定节点的功率: - energyModel \$ val ( lenergymodel ), - idlePower 0. 035, - rxPower 0. 395, - txPower 0. 660, - sleepPower 0. 001, - transitionPower0. 8, - transitionTime 0. 005。随机选取 15 个节点,15 个 CBR 数据流,每秒产生 1 个 512 k 的数据包。此次实验对活动节点数量、数据包接收率、节点能量和网络时延进行比较和分析。

图 1 显示了网络中存活节点数量的变化情况。随着时间的增加,移动节点能量逐渐减少,一些节点因能量耗尽而死亡。DSR 中,160 s 后移动节点个数迅速下降,MRL 和 LBES 对节点生存时间做出了估算,并且在路由选择时考虑到了节点生存时间,因而起到了对移

动节点的保护作用,有效降低了移动节点的死亡率。

数据包成功接收率即成功接收到的数据包与所有发送的数据包的比率,它反应了路由的可靠性<sup>[12]</sup>。图 2 是数据包接收率的对比,三个协议的数据包接收率相差不是很大,LBES 和 MRL 要优于 DSR,同时,LBES 也要略优于 MRL,这是因为 LBES 考虑了网络流量要尽可能避开网络通信链路的“热点区域”,因而数据包接收成功率相对较高。

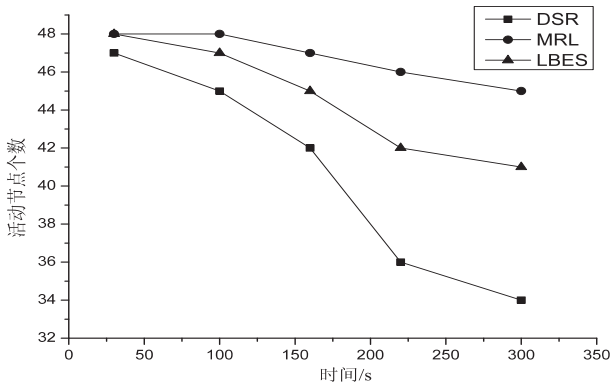


图 1 活动节点数量变化

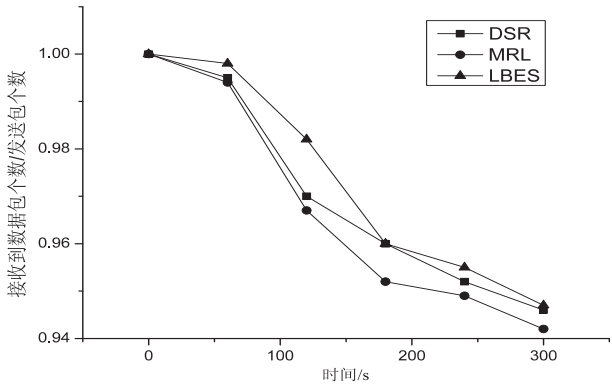


图 2 数据包接收率

图 3 中是随机抽取的 10 个节点的平均能量变化情况。DSR、MRL 和 LBES 都是被动式路由协议,因此在选路过程中都存在不同程度的能量消耗,但是因为采用了能量保护策略,MRL 和 LBES 相对 DSR 有明显的优势。

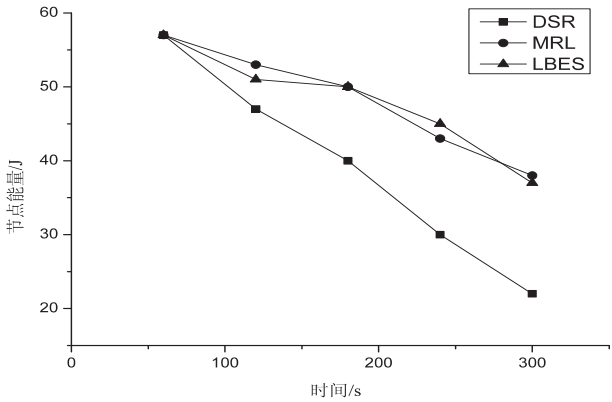


图 3 节点能量变化

条 CBR 数据流,观察不同数据发送速率(0.2 Mbps ~ 1 Mbps)下网络的平均延迟。结果显示,在网络负载逐渐增大的过程中,处于“繁忙”的链路逐渐增多,LBES 相对 DSR 和 MRL 平均端到端延迟有明显的改善,这是因为 LBES 是根据通信链路当前的传输状态,自适应地选择路由,从而较好地实现了负载分担的功能。

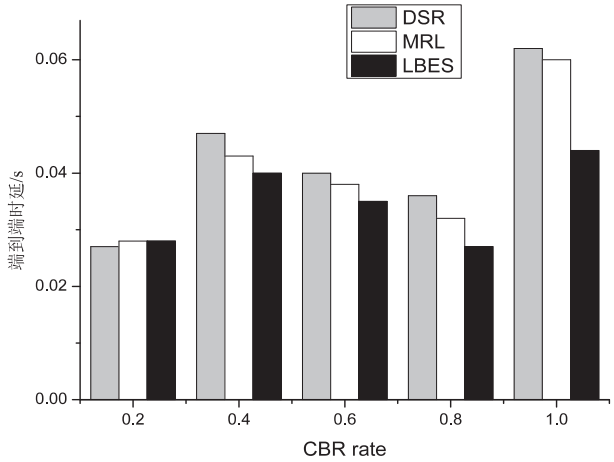


图 4 不同发送速率下的平均网络端到端时延

5 结束语

文中提出的基于链路均衡的节能路由算法 (LBES),从能量角度出发,计算节点生存时间,并将此作为路由选择的重要依据之一,从而降低网络中节点的死亡率,减少“断链”的发生。同时,利用“节点空闲度”,考虑到单跳传输的性能是由发送方和接收方共同决定的特点,从“链接”的角度来优化网络。仿真结果表明,与 MRL、DSR 相比,LBES 能更好地均衡各节点能量消耗,保护网络中寿命较小的节点,改善了网络拥塞。

参考文献:

[1] Akyildiz I F, Wang X D, Wang W L. Wireless mesh networks: A survey[J]. Computer networks, 2005, 47: 445-487.

[2] 郑少仁, 王海涛, 赵志峰, 等. Ad hoc 网络技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005.

[3] Bai R, Singhal M. DSR over AODV routing for mobile Ad Hoc networks[J]. IEEE transaction on mobile computing, 2006, 5 (10): 1403-1416.

[4] Coutois N T, Klimov A, Patarin J. Efficient algorithms for solving overdefined systems of multivariate polynomial equations [J]. Lecture notes in computer science, 2000, 1807: 392-407.

[5] Maltz D A, Broch J, Jetcheva J. The effects of on-demand behavior in routing protocols for multihop wireless ad hoc networks[J]. IEEE journal on selected areas in communications, 1999, 17(8): 1439-1453.



比达到 3 000 倍以上。

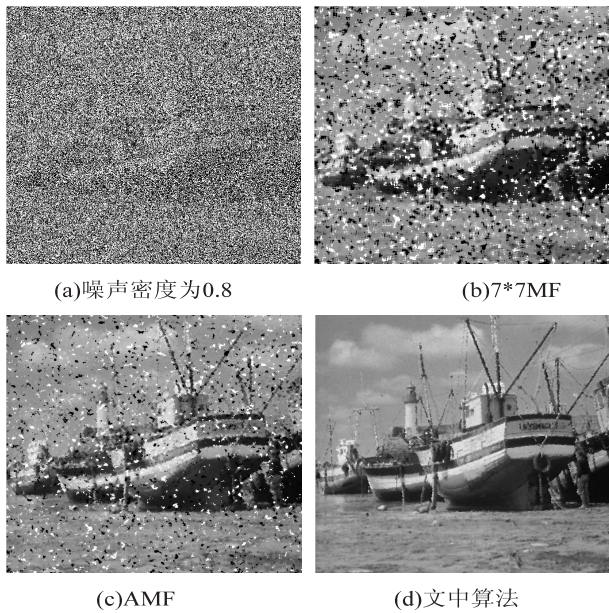


图 4 Boats 图像去噪效果

表 2 不同尺寸图像处理速度比较

序号	分辨率	计算耗时/ms		加速比
		CPU 算法	GPU 算法	
1	128×128	13.404 7	0.193 9	12.254 0
2	256×256	54.193 3	1.011 3	53.585 3
3	512×512	216.884 8	1.020 1	212.611 3
4	102 4×102 4	850.006 0	0.981 9	865.643 3
5	204 8×204 8	3 224.5	0.919 7	3 506.1

4 结束语

文中针对图像中的椒盐噪声特点,将图像像素分为噪声和信号两类,然后仅对噪声像素取其邻域进行排序滤波处理。文中算法较对比算法处理后的图像 PSNR 值较高,并能很好地保护边缘和细节。文中对算法作了 GPU 上的加速实现。实验结果表明,提出的

算法在保证去噪效果不变的情况下,处理速度较 CPU 上有了显著提高,尤其在对大规模图像和高密度噪声图像的处理上,加速比可高达 3 000 多倍。

参考文献:

[1] Gonzalez R C, Woods R E. Digital image processing[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2003: 97-98.

[2] 张旭明, 徐滨士, 董世运. 用于图像处理的自适应中值滤波[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, 17(2): 295-299.

[3] Wang H, Haddad R A. Adaptive median filters: New algorithms and results[J]. IEEE transactions on image processing, 1995, 4(4): 499-502.

[4] Sawant A R, Zeman H D. Adaptive median filter algorithm to remove impulse noise in x-ray and CT images and speckle in ultrasound images [C]//Proceedings of SPIE. Bellingham; [s. n. ], 1999: 1263-1274.

[5] 陈初侠, 丁 勇, 刘栋莉. 去除椒盐噪声的自适应开关加权均值滤波[J]. 计算机工程, 2010, 36(4): 210-212.

[6] 罗 玲, 王修信. 一种高效去除椒盐噪声的中值滤波方法[J]. 微电子学与计算机, 2011, 28(11): 118-121.

[7] 郭 春, 艾玲梅. 基于决策分析的高椒盐噪声轮胎痕迹图像滤波方法[J]. 计算机工程与应用, 2012, 48(5): 171-173.

[8] 吕宗伟, 唐治德, 周 林, 等. 一种高效快速的高密度椒盐噪声消除算法[J]. 电子学报, 2011, 39(8): 1903-1906.

[9] 仇德元. GPGPU 编程技术-从 GLSL、CUDA 到 OpenCL [M]. 北京: 机械工业出版社, 2012: 1-20.

[10] NVIDIA CUDA C programming guide Ver. 4. 2 [EB/OL]. [2012-04]. <http://docs.nvidia.com/cuda/cuda-c-programming-guide/index.html>.

[11] 王正宁, 刘昌忠, 陈雷霆, 等. 基于 CUDA 的多尺度 Retinex 图像增强算法实现[J]. 计算机应用, 2010, 30(9): 2441-2443.

[12] 马义德, 李 廉. 脉冲耦合神经网络与数字图像处理[M]. 北京: 科学出版社, 2008.

(上接第 88 页)

[6] 耿 蓉, 李 喆. AD HOC 网络中的一种 QOS-AWARE 多径路由协议[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(5): 1390-1394.

[7] Sun Baolin, Gui Chao, Liu Pengyuan. Energy entropy multipath routing optimization algorithm in MANET based on GA[C]//Proc of the fifth IEEE international conference on bio-inspired computing: Theories and applications (BIC-TA). Changsha, China; [s. n. ], 2010: 943-947.

[8] 刘大伟, 金 伟, 王晓洁. 一种节能的 Ad hoc 网络路由协议[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(26): 93-94.

[9] 郭嘉丰, 张信明, 谢 飞, 等. 基于节点空闲度的自适应移动 Ad Hoc 网络路由协议[J]. 软件学报, 2005, 16(5): 960-969.

[10] 胡海春, 陈佳品, 李振波. 基于 AODV 且考虑延时能量节省的路由协议[J]. 现代电子技术, 2012, 35(3): 81-84.

[11] 柯志亨, 程荣祥, 邓德隽. NS2 仿真实验-多媒体和无线网络通信[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.

[12] 成进军, 肖晓明. Ad Hoc 网络多径节能路由协议的研究与设计[J]. 计算机仿真, 2009, 26(9): 105-107.

Ad Hoc网络中一种链路负载均衡的节能路由协议

作者：[韩智洋](#)，[束永安](#)，[HAN Zhi-yang](#)，[SHU Yong-an](#)  
作者单位：[安徽大学 计算机科学与技术学院, 安徽 合肥, 230601](#)  
刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2014(1)

本文链接：[http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wjfz201401022.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_wjfz201401022.aspx)