

基于能量感知的 ad hoc 路由算法研究

郑石¹, 吴伟强¹, 张钦宇¹, 张乃通²

(1. 哈尔滨工业大学 深圳研究生院, 广东 深圳 518055; 2. 哈尔滨工业大学 电子与信息技术研究院, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要: 针对移动 ad hoc 网络终端能量资源受限对全网路由的影响, 提出一种具有终端节点能量感知的路由协议 (EARP, energy-aware routing protocol)。该协议能够根据单个节点能量的使用情况以及全路径的能量消耗情况选择不同的传输路径, 在路径断裂时, 增加本地维护策略, 有效减少了由此引起的发包重传情况, 提高了路由效率。通过节点能级的设定, 防止链路传输过程中由于能量耗尽而导致的路由断裂情况。经过 NS2 仿真实验与其他相关路由协议进行比较, 结果表明在相同的实验环境下, 该路由协议能够有效均衡负载, 保护低能量节点, 延长网络生存时间。

关键词: ad hoc; 能量路由; 路由发现策略; 本地维护策略

中图分类号: TN915

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2012)04-0009-08

Routing protocol based on energy aware in ad hoc networks

ZHENG Shi¹, WU Wei-qiang¹, ZHANG Qin-yu¹, ZHANG Nai-tong²

(1. Shenzhen Graduate School, Harbin Institute of Technology, Shenzhen 518055, China;

2. School of Electronic and Information Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: An energy-aware routing protocol (EARP) was presented to minimize the effect of limit energy supply of terminals in ad hoc network. In the novel protocol, different transmission paths based on service state of single node and energy consumption of the whole network could be chosen. When transmission path was broken, local maintaining strategy was evoked to reduce re-transmission of data packets and therefore route efficiency was improved. Moreover, node energy levels were introduced to avoid transmission link brake caused by energy exhaustion. Simulations were carried out on NS2 platform. The results show that, in the same simulation environment, comparing to other routing protocols, this routing protocol performs more effectively on balancing the traffic load, protecting low energy nodes and prolonging the network lifetime.

Key words: ad hoc; energy routing; routing discovery; local maintenance

1 引言

移动自组织网络是由一组无基础设施支持的移动节点组成的网络。在 ad hoc 中, 终端节点多采用电池进行供电以保证其灵活的特点。因此, 能量资源在 ad hoc 网络中通常作为一种重要资源加以保护。网络中有节点能量耗尽就意味其不能参与网络

中任何活动, 一个死节点会给整个网络的通畅性和完整性造成网络分割等一系列问题。死节点通常是由于特殊节点被选作中继节点进行信息转发所造成的。在传统 ad hoc 网络路由协议中, AODV、DSR 等协议只关注路由协议理论上的高效性, 并以最小跳数作为路由协议的选取准则。这使得位于网络中心位置的节点作为多条链路的转发节点, 从而将它

收稿日期: 2010-07-07; 修回日期: 2010-11-30

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 (“973” 计划) 基金资助项目 (2009CB320400)

Foundation Item: The National Basic Research Program of China (973 Program) (2009CB320400)

的能量过快耗尽, 由于被同时选为多条链路的中继节点, 还会造成数据在该点的拥塞, 导致大量数据丢失与重传。由此可见, 忽视节点能量因素的简单路由协议会给网络数据传输造成很大影响。

现今, 基于节点能耗的节能算法备受研究者的关注。在终端节点能量受限的前提下, 正在进行对节省能耗和均衡能耗的深入研究^[1-3]。一方面, 可以通过 MAC 层的功率控制机制调整节点的发射功率或休眠策略, 以达到节省能耗、提高能量效率的目的^[1,2]。另一方面, 将节点能量的使用情况转化成数据通过控制信息传输, 起到对节点能量监测的作用, 同时引入能量代价函数, 用节点的能耗情况作为最终路由选择的准则进行选路^[3]。

早期的研究者在考虑节点能耗路由方面, 大多沿用了 AODV、OLSR 等单路由选择机制, 即在单路由选择的路由算法中加入功率控制、能耗感知等概念, 以达到提高能量利用效率和延长网络生存时间的目的。文献[4]是在 AODV 协议的基础上通过中间节点对链路平均能耗的估测来进行选路的, 一定程度上起到对被过度使用节点的保护作用。文献[5]是以 TORA 协议作为基础, 兼顾传输跳数和节点剩余能量来选择路由, 力求延长网络生存时间。文献[6]和文献[7]则是针对 OLSR 协议引入能量效率概念, 采用距离较短路径代替距离较长路径并调整发射功率方法选取路径, 以此来提高能量的使用效率, 有效提高网络的生存时间。上述文献中提到的 MPR (multi-point relays) 的思想在节约能耗的路由协议中由来已久并且成为很多能耗感知路由协议的基础。在 MIRRC (minimum total transmission power routing) 协议^[8]中, 作者采用链路消耗能量总和最小原则进行路由选取, 该路由算法更倾向于选择短距离传输即更多跳数来替代传统路由协议中大尺度少跳数的路由选择策略。尽管一定程度上减少了链路传输的能耗并且提高了网络空间复用率, 但在实际应用中, 会由于引入过多的中继节点而导致网络中部分关键位置节点承载过多的转发数据, 带来诸如网络拥塞、关键节点能量过快耗尽等问题。在此基础上, MBCR(minimum battery cost routing) 协议应运而生。该协议考虑了链路中节点的剩余能量问题, 将可选链路中节点剩余能量总和最大的链路作为最终选择, 在一定程度上解决了上述问题。MBCR 协议虽然在延长网络生存时间性能上有很大改善, 但是其只关注了整体链路剩余能量而

忽略了单个节点剩余能量问题。MMBCR (min-max battery cost routing) 协议则关注链路中瓶颈节点的剩余能量, 选择其值最大的节点所在链路作为转发路径。这 2 种协议的目的均为提高网络生存时间, 但在节点不同能量剩余阶段采取同样的选路策略并不能使其策略始终保证最优化。多策略选择路由协议能够根据网络中不同时期的参量变化情况选择不同路由策略, 使选路机制达到整体最优化^[9,10]。CMMBCR (conditional max-min battery capacity routing) 协议是上述 2 种协议的整合, 通过阈值的设定来选择当前环境的路由算法。文献[11]和文献[12]对上述路由算法做了比较和性能评估。然而该协议在能量均衡选路方面并不完善, 而且在路由维护方面并未能体现能量感知对选路的优势。

基于以上分析, 本文提出了一种新的能量感知路由协议。该协议根据多策略路由协议的思想, 通过在不同能量阶段采用多策略来实现提高网络性能的目的。本文引入节点相对剩余能量的概念作为计算路由花费的依据。在算法中引入相关阈值概念, 将网络传输状态划分区间, 不同区间采用各异的路由选择策略, 并且对剩余能量处于不同区间的节点采取不同的保护措施, 以防止其由于过度使用而能量耗尽。在保证端到端延时情况下, 更大程度提高网络生存时间。最后通过引入本地路由维护策略, 使自身的能量感知提前对因能量过少而不能支持数据转发的节点预测, 从而减少路由断裂和重传情况的发生。

2 系统模型

在本文中, 路由发现策略通过收集节点自身及链路中其他节点的能量信息, 均衡保护进行选路。首先建立节点能耗及剩余能量模型; 其次, 在仿真性能评估时, 将网络生存时间作为第一度量标准。因此建立多尺度网络生存时间模型有助于分析协议性能。

2.1 能耗及剩余能量模型

假设一对发射接收节点距离为 d , 在自由空间传播中, 若接收节点需要接收到的信号能量为 E_{\min} , 则在发射端节点发出的信号能量 E_{amp} 如式(1)所示:

$$E_{\text{amp}}(d) = kd^n E_{\min} \quad (1)$$

其中, n 一般取 2~4 的整数值, k 为常数。式(1)表明接收端所接收到的信号能量随着节点对之间距

离的增加而衰减，本文中取 $n=2, k=1$ 。 $E_{\text{amp}}(d)$ 表示发射端节点传送单位数据所消耗的能量，则发送 m 个单位的数据需要消耗的总能量 $E_{\text{tx}}(m, d)$ 如式(2)所示，接收 m 个单位的数据所消耗能量如式(3)所示。其中， E_{elec} 代表终端节点在发射和接受过程中内部电路消耗的能量，这也表明节点在发射和接收过程中都需要消耗一定能量。

$$E_{\text{tx}}(m, d) = m(E_{\text{elec}} + E_{\text{min}}d^2) \quad (2)$$

$$E_{\text{rx}}(m) = mE_{\text{elec}} \quad (3)$$

因此，对于一对发射接收节点，传输 m 个单位的数据所需消耗的能量由式(4)表示。

$$E_{\text{tw}}(m, d) = 2mE_{\text{elec}} + md^2E_{\text{min}} \quad (4)$$

对于单个节点 i ， E_i^i 为初始能量值， E_i^c 为消耗的能量， E_i^r 为当前剩余能量值。将剩余能量值进行归一化，并引入相对剩余能量值，用 E_i^p 表示。节点的相对剩余能量值表征节点在网络中的繁忙程度，在路由选择中避免相对能量较低节点，可以减少网络的拥塞程度。 E_i^p 由式(5)得出：

$$E_i^p = \frac{E_i^r}{E_i^i} \quad (5)$$

其中，节点 i 的绝对剩余能量 E_i^r 为

$$E_i^r = E_i^i - E_i^c \quad (6)$$

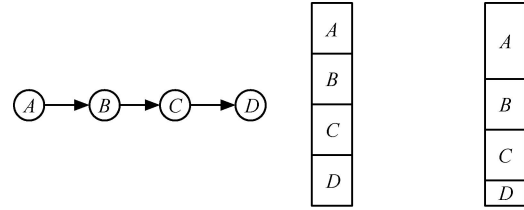
在一条数据传输的完整路径中，包括源节点、目的节点以及所有中间节点在内的相对剩余能量值信息 E_{cw} ，将其定义为

$$E_{\text{cw}} = \prod_{i \in N} E_i^p \quad (7)$$

其中， N 为路径中节点数总和。

图1中链路由4个节点 A 、 B 、 C 和 D 组成，表示在节点能量和相同的情况下，每个节点能量值有所差异的情况。网络公平性和负载均衡度等原因会影响节点的能量消耗速率，这些都会导致在某条链路或某个区域内的节点剩余能量值的差异性。如图1所示，在以链路中节点剩余能量和为链路花费的路由协议中，在链路能量和相同情况下，图1(a)的链路比图1(b)的链路更加稳定，网络生存时间性能更好。图1(b)中剩余能量值大的节点掩盖了能量值小的节点。剩余能量值过大或过小的节点称为该链路的奇点，它们是链路的不稳定因素。由于本文采用网络生存时间作为路由协议性能的第一度量

标准，如果链路中每个节点的剩余能量值对路由选择的链路花费影响程度相同，即它们拥有相同的权值，会使链路中的奇点影响最优路由的选择。本文采用对链路中相对剩余能量求积的方式作为 E_{cw} 值。



(a) 节点能量相同 (b) 节点能量不同

图1 节点不同剩余能量值

通过以上分析，并结合式(7)，则链路损耗 C_R 为

$$C_R = \frac{1}{E_{\text{cw}}} \quad (8)$$

2.2 网络生存时间模型

在图 $G(N, L)$ 中， N 代表网络中活跃节点的集合， L 表示有向链路 (i, j) 的集合。 $N = \{n_1, n_2, \dots, n_q\}$ ， n_i 为顶点， q 为顶点数， N 为顶点集； $L = \{l_1, l_2, \dots, l_m\}$ ， l_i 为边， m 为边数， L 为边集。设 S_i 为当节点 i 以一定功率发射信号时，周围能够接收此信号的节点集合，则有 $j \in S_i$ 。假定网络中数据传输是可逆的，不会造成单向链路的情况，有且仅有节点 $j(j \in S_i)$ 发送数据造成节点 i 的能量消耗。设 E_i^i 为节点 i 初始能量，传输单位信息所消耗能量为 $E_{\text{tx}}(1, d)$ ，接收单位信息能量耗能为 $E_{\text{rx}}(1)$ ，则节点 i 传输 m_1 个单位同时接收到 m_2 个单位所需消耗的能量值为

$$E_w^i = E_{\text{tx}}(m_1, d) + E_{\text{rx}}(m_2) \quad (9)$$

当节点 i 的能耗 E_w^i 达到 E_i^i 时，则节点 i 的能量耗尽，所用时间 T_i 为节点 i 在网络中的生存时间。网络的生存时间 T_{nek} 为

$$T_{\text{nek}} = \min_{i \in N} T_i \quad (10)$$

式(10)定义了将节点的生存时间最小值作为网络生存时间，而低能量值奇点会使其生存时间相对其他节点过低而产生生存时间突变，利用上述定义的网络生存时间就会存在不稳定性 and 突发性。为了减少这种情况发生，本文将网络生存时间取值做进一步改进。根据网络的规模不同，取节点生存时间小的部分节点的均值作为网络生存

时间，这样可以消除由于奇点生存时间对网络生存时间带来的突变影响。本文结合第 4 节仿真场景的规模，将改进的网络生存时间设为前 10 个节点生存时间值的算术平均值。在节点数为 N ($N > 10$) 的网络中，设节点的节点生存时间 $T_i = T_1, T_2, \dots, T_N$, ($T_1 < T_2 < \dots < T_N$)，则网络生存时间 T_{nek} 为

$$T_{nek} = \frac{1}{10} \sum_{j=1}^{10} T_j \quad (11)$$

3 基于剩余能量感知的多策略路由协议

3.1 路由发现策略

在网络建立初期，各节点相对剩余能量基本处于可容忍方差范围内的高均值状态，数据传输不会导致路由中断，路由选择策略应倾向于关注链路总体剩余能量 E_{cw} 。 E_{cw} 值越大，可认为该链路的平均繁忙程度较低，选取此链路作为路由，一定程度上起到均衡网络负载的作用。随着数据传输与转发的进行，节点剩余能量值出现异化，部分特殊位置或起关键作用的节点成为奇点。此时，路由选择应关注这些奇点 E_p^i ，尽量节省其剩余能量，以延长网络生存时间。剩余能量处于危险阶段的节点不再承担转发工作，只作为源节点和目的节点使用，以尽可能延长其生存时间。

基于以上分析，本文在节点相对剩余能量值中设置 2 个阈值 r_1 和 r_2 ，将节点能量分为 3 个阶段：正常阶段、告警阶段和危险阶段。其中， r_1 是归一化的节点剩余能量相对值。在 r_1 接近 100% 时，路由协议倾向于对个别节点剩余能量的保护，从而延长节点生存时间。但过早引入单个节点保护机制，会使网络平均跳数增加，从而增加端到端时延。因此提高网络生存时间的同时还要兼顾端到端时延的性能。本文将 r_1 设为 50%。 r_2 的取值在 0 到 r_1 之间。 r_2 设置过大，会对危险节点过早进行保护。由于受保护的节点不能转发信息，因此过早保护危险节点会造成在网络传输后期转发节点偏少，形成网络分割和分组到达率降低的情况。 r_2 设置过小会降低能量保护和本地维护的作用。本文将 r_2 值设置为 10%。在 r_1 和 r_2 选定的前提下，对路由策略做如下分析。

当剩余能量处于正常阶段时，可采用 E_{cw} 值大的路由作为传输链路，如式(12)所示。

$$R_{c1} = \max\{E_{cw}\}, \quad E_p > r_1 \quad (12)$$

当剩余能量处于告警阶段时，可采用相对剩余能量值最大的链路作为传输链路，如式(13)所示。

$$R_{c2} = \max\{E_p\}, \quad r_1 > E_p > r_2 \quad (13)$$

当剩余能量处于危险阶段，则该节点被保护，不进行转发工作，如式(14)所示。

$$R_{c3} = \text{protection}, \quad r_2 > E_p \quad (14)$$

3.1.1 路由请求过程

节点要发送数据时，首先查明自己路由表中是否有可用的有效路由。如需启动路由请求机制，则向邻居节点发送 RREQ。RREQ 包含源节点序列号 (source ID)、目的节点序列号 (destination ID)、序列数 (sequence number) 以及节点剩余能量信息 E_{cw} 和 E_p 。RREQ 帧格式如图 2 所示。

源节点序列号	目的节点序列号	序列数	E_{cw}	E_p
--------	---------	-----	----------	-------

图 2 RREQ 帧格式

当邻居节点和中间节点收到来自源节点的 RREQ，首先查验自身和自身路由表中的有效路由是否符合要求，以及序列数来防止环路产生。若没有到达目的节点的有效路由，则继续转发工作。转发节点获取 RREQ 中关于节点能量信息 E_{cw} 和 E_p 。对自身能量信息进行比较，决定是否更新路由表以及 RREQ 中的能量信息，其能量信息的更新依据式(15)和式(16)。

$$\begin{cases} E_p(\text{new}) = E_p(i) & , E_p(i) < E_p(\text{old}) \\ E_p(\text{new}) = E_p(\text{old}) & , E_p(i) > E_p(\text{old}) \end{cases} \quad (15)$$

$$E_{cw}(\text{new}) = E_{cw}(\text{old})E_p(i) \quad (16)$$

3.1.2 路由应答过程

路由请求到达目的节点后，目的节点会启动定时器设置延时 T ，以接收有效路由请求。如果中间节点含有目的节点有效路由，则可直接向源节点发送 RREP 完成路由发现过程。目的节点收到的有效 RREQ 中，将能量信息 E_p 与剩余能量阈值 r_1 和 r_2 比较，根据式(12)~式(14)选取当前链路节点能量状态下的路由策略，在定时器延时到达 T 后，向源节点发送 RREP 完成路由发现过程。

3.2 路由维护策略

当节点的剩余能量减少到需要触发节电保护

机制时，节点所在链路会发生断裂，进而导致数据传输需要重新选择替代路由来进行。在本路由策略中，由于采用了能量感知算法，节点对剩余能量可以提前预测。节点预测到链路将由于节点剩余能量的不足而导致路由断裂，则会触发本地路由维护机制，通过与周围临界点的信息交互，完成替代链路的寻找，从而避免路由断裂。尤其在网络形成后期，多数节点的自身能量消耗过多，更易发生此种情况。图 3 为在数据传输过程中发起的本地维护策略过程。

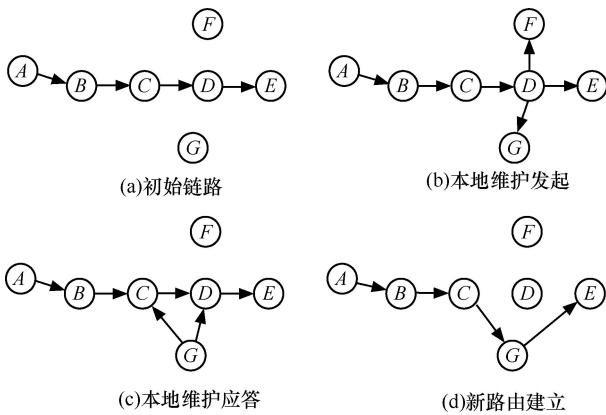


图 3 本地路由维护策略

在简单平面路由中，节点 *ABCDE* 形成一条完整传输链路，同样假定网络中无单向链路存在。若在数据转发过程中，中间节点 *D* 由于自身剩余能量值过低不能继续转发数据，提前预测能量过低后启动本地维护策略。节点 *D* 向周围节点发送 *RRER* 信息，其邻节点 *F*、*G* 收到信息后，查找路由表中是否有可以代替节点 *D* 的路由，并且检查自身剩余能量值。若节点 *G* 的值符合转发条件，则如图 3(c) 所示，向节点 *D* 返回信息，并告知节点 *D* 的上游节点 *C*，随后进入等待状态。节点 *C* 则通过图 3(b) 和图 3(c) 完成被替代路由的选择工作，选择剩余能量值充足的节点所在链路完成数据传输，如图 3(d) 所示，这样有效避免了由于节点剩余能量的不足而引起的路由断裂与数据重传。

4 实验仿真与结果分析

本文采用 NS2 平台，将 AODV、MTPR 和 CMMBCR 协议和本文提出的新的能量感知路由协议在设定参数环境中仿真，并对结果分析比较。仿真场景的参数设置如图 4 所示。

仿真平台	NS2 2.29	
	网络范围/m ²	1 500×700
	节点数	70
物理层	传播模型	two ray ground
	最大传输范围/m	280
	天线模型	全向
链路层	链路带宽/(Mbit·s ⁻¹)	2
	MAC 协议	802.11
	队列模式	droptail/priqueue
网络层	AODV, MTPR, CMMBCR, new protocol	
移动节点模型	节点最大速率/(m·s ⁻¹)	0, 1, 2, 5, 10
	节点最小速率/(m·s ⁻¹)	0
	驻留时间/s	0
	节点全随机移动	
业务模型	业务类型	CBR, UDP
	数据分组尺寸/byte	512
	分组发送率/(packet·s ⁻¹)	2, 5, 7, 10, 15, 20
	最大发包源节点数/目的节点数	30/50
能耗参数	初始能量值/J	300, 400, 500, 600
	传输状态能耗/J	1.35
	接收状态能耗/J	0.95
	空闲状态能耗/J	0.85
	监听机制	无

图 4 仿真参数设置

图 5 和图 6 是节点移动速率相同、分组发送率不同时的仿真结果。由图可见，网络生存时间均随业务负载的增加而减少。AODV 协议未考虑节点剩余能量值因素，性能最差。考虑了能量机制的其他路由协议，网络生存时间均有不同程度提高。其中，CMMBCR 协议网络传输末段考虑了个别低剩余能量节点的情况，与新协议一样性能高于 MTPR 协议。尤其当中间节点负载较重时，采用低剩余能量节点保护机制效果更加明显。由于在 AODV 协议中无此机制，图中可见采用式 (10) 作为准则的缺陷更加明显。这是因为低能保护机制中，奇点的产生几率相对较少、时间上较慢。图 4 和图 5 表明，在小尺度和大尺度的网络生存时间设置中，仿真结果趋势相一致，并未产生畸变。

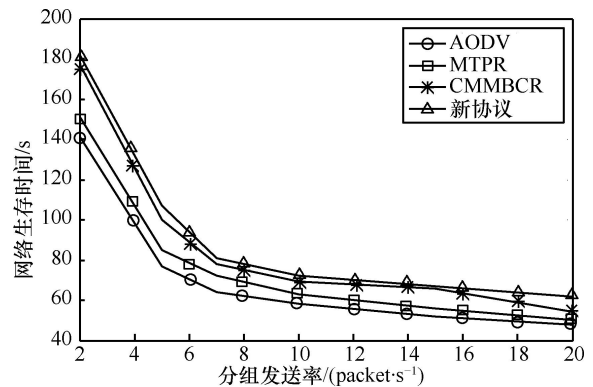


图 5 式 (10) 定义网络生存时间

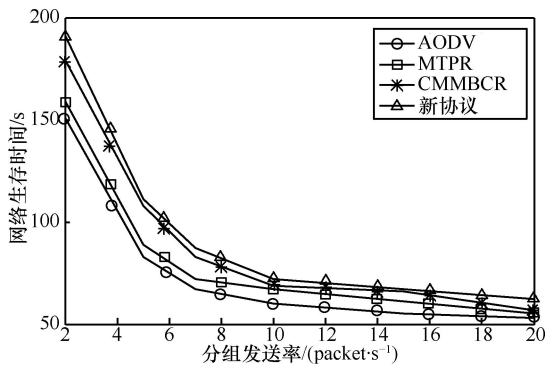


图 6 式 (11) 定义网络生存时间

图 7 为节点移动速率不同的情况下各协议网络生存时间描述。随着节点移动性的增加，网络生存时间略有提升。虽然节点的移动会导致部分链路在传输过程中的断裂重传，但从仿真结果看移动速率不大的情况下，节点的移动会使业务传输趋于均衡，一定程度上起到能量均衡的作用。因此，AODV 协议与其他协议在网络生存时间方面差距变小。在本文实验中，AODV 与 CMMBCR 协议和新协议相比，从移动速率为 0 时的相差 30%、33%，提高到速率为 10m/s 时的只相差 3%、6.6%。随着节点移动速率的增加，各协议网络生存时间的性能差距逐渐变小。在移动速率大于 10m/s 的情况下，差距将进一步减小，但趋势保持不变，即新协议仍要优于其他协议。

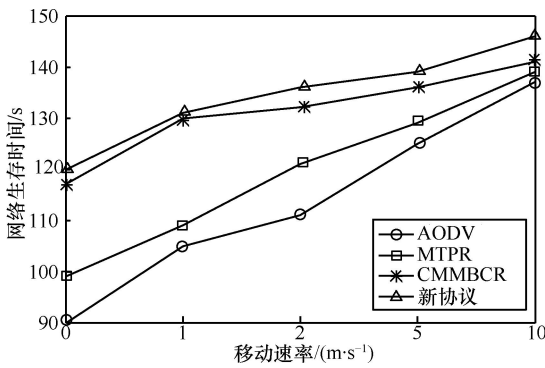


图 7 不同节点移动速率的网络生存时间

在能量消耗方面，如图 8 所示，对于相同分组负载的情况，CMMBCR 协议和新协议稍好于 AODV 协议。而随着节点移动速率的增加，4 种协议间的值更接近。但由于 CMMBCR 协议和新协议都考虑了节点剩余能量问题，在网络传输后期对低能节点进行了保护选路，因此在节点耗能的差异性

方面，要远远好于其他 2 种协议，即这 2 种协议中节点能量消耗更平均。这也反应了新协议在保证节点能耗不增加的前提下，对负载均衡起到一定作用。当节点移动速率达到 10m/s 后，CMMBCR 协议和新协议中节点能耗略低于 MTPR 协议。

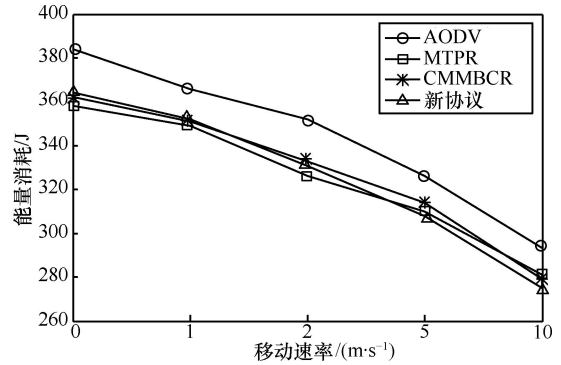


图 8 不同节点移动速率的平均能耗

由于复杂协议需要考虑除吞吐量以外的网络性能因素，因此本文中 new 协议与 CMMBCR 协议一样，单位时间的吞吐量有所降低。节点的能量效率即能耗与吞吐量之比如图 9 所示，CMMBCR 协议性能较差，而新协议中引入本地维护策略，吞吐量性能要好于 CMMBCR 协议。AODV 协议等简单路由协议的吞吐量性能较好，在部分节点重负载情况下差距会减小。在能量效率方面，随着节点移动性的增加，其值单调增加，其中，新协议并未比其他协议的效率降低。

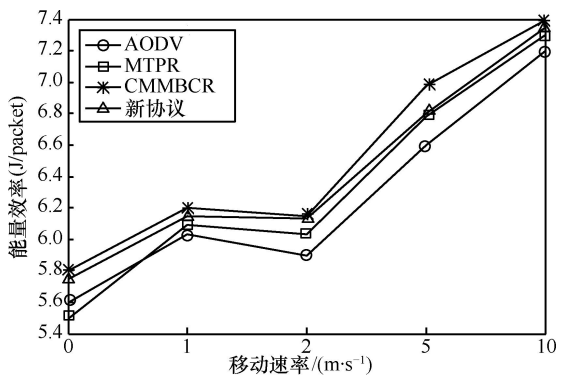


图 9 不同节点移动速率的能量效率

图 10 和图 11 是在不同负载与移动速率下的网络端到端延时。图 10 中，随着业务量的增加，所有协议的延时均有增加。收发数据的节点对较少时，延时的增加比较缓慢。随着业务量的增加，在网络中会产生拥塞造成延时大幅度增加。而 MTPR 协议和 CMMBCR 协议在延时方面性能较差，新协

议虽然增加了寻路的复杂性,但在延时方面性能降低较少。而 AODV 协议在网络负载较轻时延时较小。图 11 表明,在节点移动速率较低时,各协议的延时性能基本相同。随着节点移动性增加,跳数多的路由性能降低较快, MTPR、CMMBCR 协议延时增加较多,新协议的本地维护策略使其延时增加幅度不大,更加接近 AODV 协议。

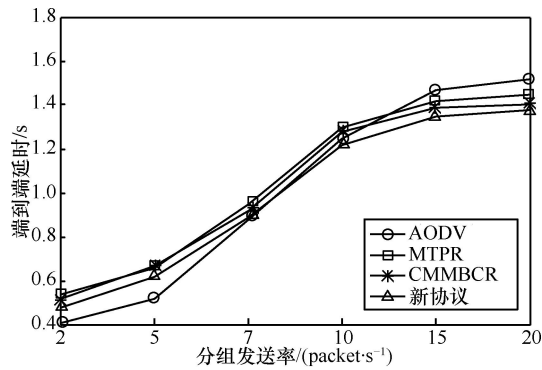


图 10 不同业务负载下的端到端延时

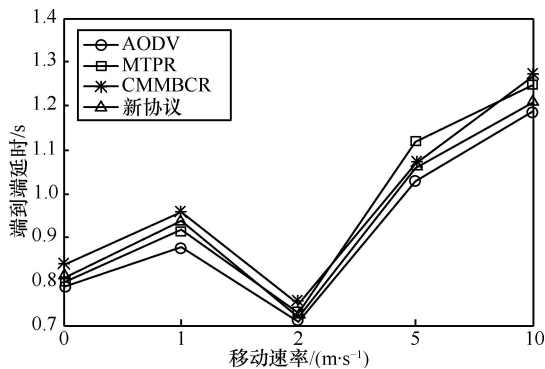


图 11 不同节点移动速率下的端到端延时

5 结束语

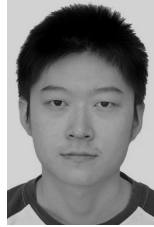
在无线自组网中,由于一些特殊位置节点的过度使用,导致其有限的电池能量过快耗尽。这些网络节点的缺失会造成网络分割、路由断裂等问题,另外某些节点的过度使用也会造成网络拥塞,导致重传的增加和传输效率的下降。因而考虑节点能量保护的策略是必要的。另外对于不同的节点情况,采用不同的路由策略会更进一步提高以网络生存时间为第一度量标准的网络性能。本文中的能量感知路由协议正是基于这几方面的考虑,通过对节点剩余能量阈值的设置,采用不同能量保护路由策略,并加入本地维护算法,达到以上目的。通过仿真与其他协议比较,证明了本协议在对延长网络生存时间和提升能量效率方面对网络延时无大幅度

退化的前提下有明显作用,对网络的负载均衡也有积极影响。在路由发生断裂后,节点仍保存了能量信息,因此下一步工作中,致力于将节点现有能量信息融合到路由的动态选择上,以减少路由重建时间和传递的信息量。

参考文献:

- [1] MUQATTASH A, KRUNZ M. Powmac: a single-channel power-control protocol for throughput enhancement in wireless ad hoc networks[J]. *Journal on Selected Areas in Communications*, 2005, 23(5): 1067-1084.
- [2] ODA R, OHTA T, KAKUDA. An adaptive transmission power control for hierarchical routing in mobile ad hoc networks[A]. *IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCS'09)*[C]. Montreal, Canada, 2009. 312-317.
- [3] LI J, DAVID C, ZHANG J. Power-aware routing protocols in ad hoc wireless networks[J]. *Wireless Communications*, 2005, 12(6): 69-81.
- [4] REN P Y, FENG J, HU P *et al*, J. Energy saving ad-hoc on-demand distance vector routing for mobile ad-hoc NETWORKS[A]. *IEEE ICC'09*[C]. Dresden, Germany 2009.1-5.
- [5] YU F, LI Y, FANG F. A new tora-based energy aware routing protocol in ad hoc networks[A]. *3rd IEEE/IFIP International Conference on Internet (ICI'07)*[C]. Tel-Aviv, Israel, 2007. 1-4.
- [6] MAHFOUDH S, MINET P. An energy efficient routing based on OLSR in wireless ad hoc and sensor networks[A]. *22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications(AINAW'08)*[C]. Gino-wan, Japan, 2008. 1253-1259.
- [7] TADDIA C, GIOVANARDI A, MAZZINI G. Energy efficiency in OLSR protocol[A]. *IEEE Communications Society on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks(SECON '06)*[C]. Reston, USA, 2006. 792-796.
- [8] SINGH S, WOO M, RAGHAVENDRA C. Power-aware routing in mobile ad hoc networks[A]. *ACM MobiCom'98*[C]. Dallas, USA, 1998. 181-190.
- [9] TERDAL S P, MYTRI V D, DAMODARAM A. Multiple metrics based load balancing routing protocol for mobile ad hoc networks[A]. *Asian Himalayas International Conference on Internet(AH-ICI'09)*[C]. Kathmundu, Nepal, 2009.1-5.

- [10] CAO L J, SHARIF K, WANG Y. Adaptive multiple metrics routing protocols for heterogeneous multi-hop wireless networks[A]. IEEE Consumer Communications and Networking Conference(CCNC'08)[C]. Las VEGs, USA, 2008.13-17.
- [11] CANO J C, KIM D K. Investigating performance of power-aware routing protocols for mobile ad hoc networks[A]. IEEE International Mobility and Wireless Access Workshop(MobiWAC'02)[C]. Fort Worth, USA, 2002. 80-86.
- [12] CAO L J, DAHLBERG T, WANG Y. Performance evaluation of energy efficient ad hoc routing protocols[A]. IEEE International Performance Computing and Communications Conference(IPCCC'07)[C]. New Orleans, USA, 2007. 306-313.



吴伟强 (1982-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 哈尔滨工业大学深圳研究生院博士生, 主要研究方向为无线通信网络。

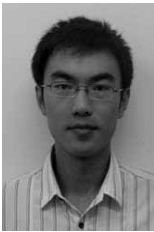


张钦宇 (1972-), 男, 江苏扬州人, 哈尔滨工业大学深圳研究生院教授, 主要研究方向为无线数据传输、移动通信、无线通信网、生物医学电子、人工智能神经网络等。



张乃通 (1934-), 男, 江苏扬州人, 中国工程院院士, 哈尔滨工业大学教授, 主要研究方向为 UWB、C4I 通信系统、专用移动通信系统、卫星通信等。

作者简介:



郑石 (1981-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 哈尔滨工业大学深圳研究生院博士生, 主要研究方向为无线自组网络和移动通信。

(上接第 8 页)

- video coding and anti-aliasing for 3D displays[A]. IEEE International Conference on Image Processing[C]. 2007.117-120.
- [38] 姜伟伟. 基于 H.264MVC 多视点立体视频编码研究[D].天津:天津大学, 2009.
- JIANG W W. Research of Multi-View Stereoscopic Video Coding Based on H.264 MVC[D].Tianjin: Tianjin University,2009.



丛志环 (1987-), 女, 辽宁沈阳人, 辽宁师范大学硕士生, 主要研究方向为智能图像处理。

作者简介:



王相海 (1964-), 男, 吉林汪清人, 辽宁师范大学教授, 苏州大学博士生导师, 主要研究方向为计算机图形学及多媒体信息处理。



方玲玲 (1985-), 女, 辽宁葫芦岛人, 苏州大学博士生, 主要研究方向为图像及视频信息检索和挖掘。