

# Ad Hoc 网络中基于能源节省的单向 QoS 路由协议

邓曙光<sup>1,2</sup>, 胡赛纯<sup>1</sup>, 杨冰<sup>1</sup>

(1. 湖南城市学院物理与电信工程系, 益阳 413000; 2. 东南大学国家移动通信重点实验室, 南京 210096)

**摘要:** 针对 Ad hoc 网络中节点能源受限, 隐藏终端和 QoS 需求等问题, 提出了一种基于能源节省的单向 QoS 路由协议。该协议利用网络中存在的单向链路, 采用 QoS 策略, 通过在最短路由集中选取能源较多的路径承担较多传输任务以延长网络生存时间。仿真结果表明, 该协议比相关路由算法具有更好的网络性能, 能有效支持单向 Ad hoc 网络中具有 QoS 需求的信息传输。

**关键词:** Ad hoc 网络; 能源节省; 单向链路; QoS 路由

## Unidirectional QoS Routing Protocol Based on Energy Conserving in Ad Hoc Network

DENG Shuguang<sup>1,2</sup>, HU Saichun<sup>1</sup>, YANG Bing<sup>1</sup>

(1. Department of Physics and Telecommunication, Hunan City University, Yiyang 413000;

2. National Mobile Communications Research Laboratory, Southeast University, Nanjing 210096)

**【Abstract】** A unidirectional QoS routing protocol based on energy conserving is proposed on the ground that each node in ad hoc network possesses some problems, such as energy conserving, hidden terminal, QoS requirements, and so on. In order to maximize the network lifetime, this protocol takes full advantage of unidirectional links, adopts QoS policy, and selects the optimal flow paths by assigning traffic between more proportion to routes' energy reserves and shorter routes. Simulation results show that this protocol is superior network performance than other protocols, and efficient supports information transmitting with QoS requirements in ad hoc network with unidirectional link.

**【Key words】** Ad hoc network; Energy conserving; Unidirectional links; QoS routing

ad hoc 网络, 又称移动自组网, 是一种特殊的没有有线基础设施支持的多跳移动网络。可广泛用于灾难救助、战场通信和偏远地区等无法得到有线网支持或只是临时需要建立通信环境的特殊场合, 因而具有广阔的应用前景<sup>[1]</sup>。同时, ad hoc 网络拓扑的动态性使传统路由协议不再适用该网络。为在该网络下减少控制开销, 研究者们提出了大量基于双向链路的按需驱动路由协议, 如 ABR 和 ZRP<sup>[2]</sup>。隐藏终端或干扰等问题的存在导致了该环境下出现单向链路, 使基于双向链路的路由协议无法正常工作<sup>[3]</sup>。为解决单向链路条件下的信息传输, Prakash R 和臧婉瑜等对单向 ad hoc 网络进行研究并提出了相关路由协议<sup>[4,5]</sup>。在 ad hoc 网络中, 节点设备通常采用可耗尽能源供电, 其能源受限的特点需要基于能源节省路由协议的支持<sup>[6]</sup>, 而以往提出的能源节省路由由绝大部分基于双向链路<sup>[7]</sup>。尽管孙学斌等提出了单向链路条件下的能源节省路由, 然而, 该协议却限于具有静态的、或者变化缓慢的 ad hoc 网络<sup>[8]</sup>。

作为下一代网络核心技术之一的多媒体信息传输和控制技术要求提供 QoS 支持, ad hoc 网络中同样需要利用 QoS 对信息传送进行控制, 但以往的 QoS 路由没有考虑过能源节省问题<sup>[9]</sup>。针对单向 ad hoc 网络中拓扑变化频繁、能源受限、隐藏终端和 QoS 需求等情况, 本文提出了一种基于能源节省的单向 QoS 路由协议 (unidirectional QoS routing based on energy conserving, UQREC)。该协议充分利用网络中存在的单向链路, 采用 QoS 策略和按需机制, 通过在最短路由集中选取能源较多的路径来承担较多传输任务, 从而获得较高的传输成

功率与网络生存时间。

### 1 单向 ad hoc 网络模型及能源问题

#### 1.1 单向 ad hoc 网络模型

在 ad hoc 网络中,  $i, j$  均为网络内部节点, 若  $j$  可以直接收到  $i$  发送的信息, 但  $i$  不能直接接收到  $j$  发送的信息, 这时链路  $[i, j]$  即为单向链路, 而含有单向链路的 ad hoc 网络则称为单向网络。实际环境中, 若忽略单向链路, 则可能导致网络分割。如图 1, 整个 ad hoc 网络将被分割成节点  $\{1, 2, 3, 4\}$  和节点  $\{5, 6\}$  2 个子网。相反, 若有效利用单向链路将能提高整个网络吞吐量<sup>[10]</sup>。

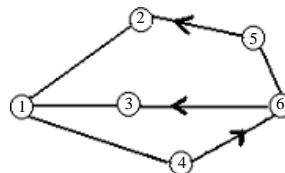


图 1 一个简单的单向 ad hoc 网络

单向 ad hoc 网络可抽象为一个有向图模型  $G=(V, E)$ ,  $V$  是移动节点的有限集合,  $E$  是有向链路的有限集合。网络中

**基金项目:** 国家自然科学基金资助项目(60403032); 湖南省教育厅基金资助项目(03C118); 湖南省高校骨干教师资助计划(2003[165])

**作者简介:** 邓曙光(1972-), 男, 副教授、博士生, 主研方向: 移动自组网中路由协议及算法优化; 胡赛纯, 讲师、硕士生; 杨冰, 助教

**收稿日期:** 2005-12-13 **E-mail:** dsg@mail.hncu.net

每个节点*i*根据无线信号传播模型具有大小为 $R_i$ 的传播半径。如果节点*j*在节点*i*的传播半径 $R_i$ 内,则存在一条从节点*i*到节点*j*的有向无线链路边 $E[i,j]$ 。令 $N_i$ 为节点*i*所有邻节点的集合,有 $j \in N_i$ 。

### 1.2 ad hoc 网络中的能源问题

在单向ad hoc网络中,若 $E_i$ 为节点*i*的剩余能源, $e_{ij}$ 为节点*i*发送单位数据到节点*j*所需耗费的能源, $f_{ij}$ 为从节点*i*发送到节点*j*的数据流,则 $e_{ij} = e_{ji}$ 。但如果构成ad hoc网的每个节点不具备功率调整功能,即其发射功率都是固定值,则 $\forall j \in N_i$ ,有 $e_{ij}=e_{i0}$ 。其中,节点*i*发送的数据流总和 $f_i$ 和所消耗的能量 $P_i$ 分别为

$$f_i = \sum_{j \in N_i} f_{ij}; P_i = e_i \times \sum_{j \in N_i} f_{ij}$$

节点*i*的生存时间 $T_i$ 为

$$T_i = \frac{E_i}{e_i f_i} = \frac{E_i}{e_i \sum_{j \in N_i} f_{ij}}$$

## 2 基于能源节省的单向 QoS 路由协议 UQREC

### 2.1 协议假设

在本协议的设计过程中,特作如下假设:(1)构成自组网的每个节点不具备功率调整功能,即发射功率均为固定值;(2)各节点的发射功率可能不相同,但每个节点均使用全方向的天线;(3)网络中每个节点都是移动的,即节点的位置经过一段时间后可能会改变;(4)每个节点有一个初始能量,并且可以随时提供剩余能量信息;(5)网络中的可靠性问题并不在路由协议考虑之内,消息的丢失和重传将由高层协议来解决。

### 2.2 UQREC 协议描述

UQREC 协议包括路由建立与维持 2 个阶段。与其它协议设计过程类似,UQREC 协议可采用 IPv6 的 hop-by-hop 和 destination option 策略,在 IP 头和 TCP/UDP 之间增加扩展可选头部来实现,每个可选头部均包含 3 个区域(Next header, length, option),Next header 表示下一个协议头部;length 表示本扩展头部长度;option 根据不同类型有不同的内容。各部分具体描述如下:

#### 2.2.1 路由建立

若某信源节点有发送需求时,立即生成一个request包,以泛洪方式向其邻节点转发。相邻节点经剔除冗余路径和 QoS控制后,将此请求包转发。目的节点收到符合路由控制策略的请求包后发给源节点一个reply包,由源节点确立传输路径。其option包含(type, s\_ID, d\_ID, table{s(s\_ID, E\_s, e\_s, f\_s)}, hop, B, D, label)。所含type为请求建路信息;s\_ID为路由建立的源节点;d\_ID为目的节点;table{s(s\_ID, E\_s, e\_s, f\_s)}表示节点信息列表;hop数为网络中源节点到目的节点的跳数;B为网络中QoS需求的最小带宽;D为QoS需求的路由延时;label为本节点是否为目的节点的标志,若是目的节点,则label为 1,否则为 0。Option的各项初始值为(request, s, d, table{s(s, E\_s, e\_s, f\_s)}, 0, B, D, 0)。具体路由建立过程见以下 算法:

**算法** Procedure Process request

```

if the received request is not a duplicate then
    /*判断是否为循环路由*/
    if the route is not a redundancy path then
        /*判断路由是否为冗余路径*/
    if Bij > B then
        /*判断链路带宽是否QoS条件*/
        Add up node information to table
        hop=hop+1

```

```

if the node is not destination then
    forward request packet
else
    label=1
    if Dij > D then
        /*判断路由延时是否 QoS 条件*/
        send reply packet to source
    else
        discard and exit
endif
wait until time=WT
/*源节点等待所有路由信息到达*/
Find R' from R that  $\forall R_i \in R \Rightarrow R'.t \geq R_i.t$ 
/*找出生存时间最长的路由*/

```

在 ad hoc 网络中路由由延时通常与 hop 数密切相关,其延时长短由 hop 数决定。在路由请求建立过程中,大量冗余路径的剔除将有利于减小网络开销,具体方法见文献[10]。由于网络中单向链路的存在,因此在返还 reply 包时采用广播方式。通过以上方法能获得一条既剔除了冗余路径、又满足 QoS 带宽需求且具备最大生存时间的传输路径。

#### 2.2.2 路由维护

由于节点运动,通信干扰等问题可能导致传输路径破裂。为获知网络中路由连接情况,可利用 IEEE802.11 中的 MAC 子层来侦测传输路径是否保持连接。当传输路径破裂时,断裂链路的上游节点将发送 recovery 包到源节点,此包含有路由重建的信息。源节点收到此信息后按路由建立方式重新建路,至此路由由恢复过程完成。若源节点同时收到 recovery 包与 reply 包时,将给予 recovery 包以更高优先权,即重新建路,而不传送数据。同时,为防止在同一条路径上传输时间过长而导致路径上某些节点能源耗尽的情况出现,可设置一个最大传输时间 $T_{max}$ ,若传送超过 $T_{max}$ ,但路由又未曾破裂时,源节点可利用收到的reply信息,重新计算具有最大生存时间的路由以确定新的传输路径。在传送过程中,若源节点想要离开,则源节点不发request包;若目的节点想要离开,则目的节点不回送reply包。

### 2.3 协议性能分析

由协议描述可知,UQREC 协议采用按需路由方式,路由维护代价最大值不会超过  $O(N)$ 。加上路由建立时对大量冗余路径的剔除,以及 QoS 策略的使用,减少了大量无关信息在网络中的传送,进一步降低了网络开销。而尽量利用单向链路,大量剔除冗余路径,通过在最短路由中集中选取具有最长生存时间的路径来传输数据等策略实现了能源节省。特别是最大传输时间的限制防止了个别节点的持续能耗,大大延长了网络生存时间。同时,通过利用 QoS 条件在路由协议中进行控制,有效地缩短了网络中的路由延时,能提高满足 QoS 需求的传输成功率。

## 3 协议仿真

### 3.1 仿真环境与方法

在仿真模拟中采用自由空间模型,20 个节点随机分布在  $800m \times 800m$  的矩形区域。每个节点的能源数均为  $4 \times 10^5$ ,有效传送距离在  $150m \sim 250m$  之间随机产生,运动速度在  $1m/s \sim 10m/s$  之间。数据传送速率为 2Mbps,仿真过程共产生 1 000 次请求。相邻节点主机之间延时为 10ms, QoS 路由延时控制为 0.1s,带宽需求为 1 000Hz。网络连续传输时间最长

为 2s, 仿真时间为 800s。

协议性能评估参数包括网络平均生存时间, 端到端平均传送延时与平均传送成功率。仿真测试协议包括 UQREC, SRUL 和 BRUL, 其中, SRUL 通过最短路径来建立路由, BRUL 则利用最长生存时间来建立路由。若传送出现中断, 则认为传送失败。

### 3.2 模拟结果

图 2 ~ 图 4 所示为模拟结果。

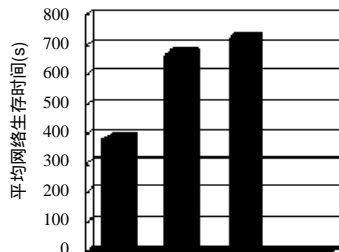


图 2 网络平均生存时间比较

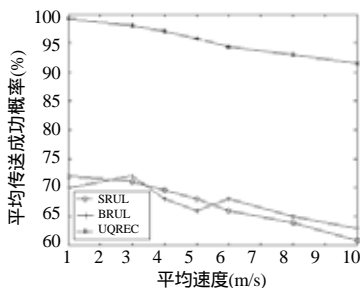


图 3 平均传送成功率比较

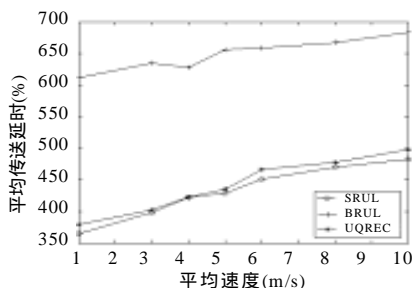


图 4 端到端平均传送延时比较

由图 2 可看出, UQREC 通过在最短路由集中选取具有最大生存时间的路径, 加上最大传输时间的限制, 与其它 2 种协议相比, 具有较大的网络生存时间。图 3 显示了 3 种协议的平均成功传送概率, 从仿真结果可发现 UQREC 协议的传送成功率要明显高于其它协议, 这主要是因为该协议在

选取路由时采取了 QoS 控制策略, 当移动速度增加时, 导致满足 QoS 需求的传送失败比率增加, 故平均传送成功率降低。对 SRUL 协议来说, 由于其采用最短路径来传输数据, 其端到端的平均传送延时最短, 而 BRUL 协议没采取任何控制策略, 其延时最大, UQREC 协议确立的路由是在最短路由集中选取, 因此与 SRUL 协议相比相差不大, 图 4 所示曲线说明了这一点。

### 4 结论

针对拓扑多变的 ad hoc 网络中能源受限、隐藏终端和 QoS 需求等问题, 本文提出了一种基于能源节省的单向 QoS 路由协议。该协议充分利用网络中存在的单向链路, 并引入 QoS 控制和最大传输时间, 通过在最短路由集中选取具有较多能源的路径来传送数据。仿真结果表明 UQREC 协议在节点能源储备不均衡情况下延长了网络生存时间, 与相关路由协议相比具有较好的网络性能, 能有效支持 ad hoc 网络中的能源节省和具有 QoS 需求的信息传输。

### 参考文献

- 1 IETF Mobile ad hoc Networks Charter [EB/OL]. 2002-04-23. <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>.
- 2 Royer E M. A Review of Current Routing Protocols for ad hoc Mobile Wireless Networks[J]. IEEE Personal Communication, 1999, 4(2): 46-55.
- 3 Lau F C M, Chen Guihai, Huang Hao, et al. A Distance-vector Routing Protocol for Networks with Unidirectional Link[J]. Computer Communication, 2000, 23(4): 418-424.
- 4 Prakash R, Singhal M. Impact of Unidirectional Links in Wireless ad hoc Networks[C]. Proc. of DIMACS Workshop on Mobile Networks and Computing, NJ: Rutgers University, 1999: 272-281.
- 5 臧婉瑜, 于 勤, 谢 立. 单向 ad hoc 移动网络路由协议 UAOR [J]. 计算机学报, 2001, 24(10): 1 018-1 025.
- 6 Vikram S, Carala F, Pavan N, et al. Optimal Rate Allocation and Traffic Splits for Energy Efficient Routing in ad hoc Networks[C]. Proceedings of IEEE INFOCOM, New York, USA, 2002.
- 7 Royer E M. A Review of Current Routing Protocols for ad hoc Mobile Wireless Networks[J]. IEEE Personal Communication, 1999, 4(2): 46-55.
- 8 孙学斌, 周 正. 自组网环境下利用单向链路的能源节省路由研究[J]. 电路与系统学报, 2003, 8(5): 32-36.
- 9 Zhu Chenxi, Corson M S. QoS Routing for Mobile ad hoc Networks [R]. University of Maryland, Tech Rep: TR-2001-228, 2001
- 10 Ramasubramanian V, Chandra R, Mosse D. Providing a Bidirectional Abstraction for Unidirectional ad hoc Networks[C]. Proceedings of IEEE INFOCOM, New York, SA, 2002.

(上接第 65 页)

- 5 Zhang X, Wang Z, Gloy N, et al. System Support for Automatic Profiling and Optimization[J]. ACM SIGOPS, 1997, 31(5): 15-26.
- 6 Lu J, Chen H, Fu R, et al. The Performance of Runtime Data Cache Prefetching in a Dynamic Optimization System[C]. Proceedings of International Symposium on Micro-architecture, 2003.
- 7 Bayko J. Great Microprocessors of the Past and Present(v13.4.0) [EB/OL]. 2003-12. <http://www.sasktelwebsite.net/jbayko/>.
- 8 Chen W K, Lerner S, Charken R, et al. Mojo: A Dynamic Optimization System[C]. Proceedings of the 4<sup>th</sup> ACM Workshop on Feedback-directed and Dynamic Optimization, 2000.

- 9 Adve S V, Burger D, Eigenmann R, et al. Changing Interaction of Compiler and Architecture[J]. IEEE Journal of Computer, 1997, 30(12).
- 10 Wilson P R, Johnstone M S, Neely M, et al. Dynamic Storage Allocation: A Survey and Critical Review[C]. Proc. of Workshop on Memory Management, 1995.
- 11 Anderson J, Berc L M, Dean J, et al. Continuous Profiling: Where Have All the Cycles Gone?[C]. Proceedings of the 16<sup>th</sup> ACM Symposium of Operating Systems Principles, 1997.
- 12 Muchnick S S. Advanced Compiler Design and Implementation[M]. Academic Press, 1997.