

## 针对非对称链路的 MAC 协议改进策略

王 睿, 刘占军, 李 云, 陈前斌, 赵为粮

(重庆邮电大学 无线信息网络研究中心, 重庆 400065)

(www2000@sohu.com)

**摘 要:** 现有无线 Ad Hoc 网络路由协议的应用都基于节点间链路是对称的假设, 无法适应网络中普遍存在的链路非对称的情况。为此, 对现有 802.11 协议进行改进, 提出了 R-MAC 方案。该方案通过改变 MAC 帧结构并对邻居节点收到消息的处理策略进行分支处理, 使用正常的交互流程解决链路非对称问题, 而非目前多数使用的设置直接和间接邻居节点列表的方式。仿真结果表明, 在不增加系统开销的情况下, 该方案能改善网络性能。

**关键词:** 无线 Ad Hoc 网络; 非对称链路; 介质访问控制; 隐藏终端

**中图分类号:** TP393.04 **文献标志码:** A

## Improvement strategy of MAC for asymmetric link

WANG Rui, LIU Zhan-jun, LI Yun, CHEN Qian-bin, ZHAO Wei-liang

(Special Research Center for Wireless Information Networks, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

**Abstract:** The existing routing protocols for wireless Ad Hoc networks are based on the hypothesis of symmetric link, which cannot adapt to the prevalent asymmetric link. The authors proposed a project named R-MAC to improve the IEEE 802.11 protocol. It solved the above problem by changing the format of frames, and doing branch processing to received frames. Then it solved the problem of asymmetric link by normal transmit mechanism instead of setting tables of direct and indirect neighbors. Emulation results verify that R-MAC improves network performance without increasing the system overhead.

**Key words:** wireless Ad Hoc networks; asymmetric link; Media Access Control (MAC); hidden terminal

### 0 引言

无线 Ad Hoc 网络是一种特殊的无线移动网络<sup>[1]</sup>。在一个无线 Ad Hoc 网络中无需设置任何中心控制节点, 所有节点不仅具有普通移动终端所需的功能, 而且具有报文转发能力。当源节点和目的节点不在直接通信范围之内时, 它们可以通过中间节点转发报文进行通信, 即报文要经过多跳转发才能到达目的节点, 这是 Ad Hoc 网络与其他移动通信网络的根本区别。

在实际网络中, 由于节点的天线模式、信道环境等不同, 非对称链路(单向链路)在无线 Ad Hoc 网络中是普遍存在的<sup>[2]</sup>。通常不同类型节点的发射功率不同; 即使是同一类型的节点, 由于节点的使用率不同导致的电池消耗不同步, 以及环境的影响, 也会引起节点的覆盖范围不一致; 此外, 节点的覆盖范围还与邻居节点接收机的灵敏度有关。

目前的无线 Ad Hoc 网络协议都基于节点间的链路是对称的假设, 比如 AODV、FSR、OLSR 等路由协议。现有协议无法适应网络中普遍存在的非对称问题。相应的, 现有行业标准如 802.11 等也无法在存在非对称链路的网络环境中达到很好的性能。因此开发适应非对称链路的协议具有非常重大的实用意义。

### 1 相关技术

IEEE 802.11 是 IEEE 802.11 研究组为 WLAN 规范的一

个标准文档, 该文档为 WLAN 提供了具体的介质访问控制(Media Access Control, MAC)和物理层(Physical Layer, PHY)规范<sup>[3]</sup>。同时, 针对物理层的不同频带, IEEE 802.11 研究小组还为 IEEE 802.11 提供了一系列补充规范。802.11 DCF 提供了一种可选择的四次握手技术, 又称为 RTS/CTS 模式, 它可以在一定程度上避免隐藏终端和暴露终端的问题。邻居节点在收到 RTS/CTS 后, 在以后的一段时间内抑制自己的传输, 从而避免了对即将进行的数据传输造成碰撞。

但是, 由于节点覆盖范围的非对称, 意味着可能存在一个高功率、大覆盖范围的节点, 处在源节点的通信范围之外, 也就是源节点可以接收到该节点发送的消息而该节点却无法接收到源节点发送的消息, 这样该节点就不能感知源节点的存在, 因此在源节点发送消息和数据时该节点不会退避和静默, 这势必影响到源节点与其他节点的通信。也就是一个实际上的隐藏终端。这个问题通过四次握手机制是无法解决的。总的来说, 当链路非对称性时, 现存 MAC 协议不可避免的存在隐藏终端问题以及由于邻居表出错而导致的重传问题。

针对以上问题, 目前的改进思路主要分为路由机制和 MAC 机制两方面。

在路由机制方面, 文献[4]指出, 在建立 OLSR 路由时, 通过发送和接收 Hello 消息判定界内(in-bound)、界外(out-bound)和双向(in/out-bound)节点。以此来建立高级链路节点, 低级链路节点和两跳邻居节点列表, 选取较短链路, 从而利用非对称的单向链路进行传输。在文献[5]中定义  $m$ -代

收稿日期: 2009-01-16; 修回日期: 2009-03-23。 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60702055); 新世纪优秀人才支持计划(NCET-07-0914); 重庆市教委项目(KJ070521); 华为公司基金合作项目(YBWL2008033)。

作者简介: 王睿(1983-), 男, 山东济南人, 硕士研究生, 主要研究方向: 无线网络; 刘占军(1975-), 男, 河北保定人, 讲师, 主要研究方向: 无线网络; 李云(1974-), 男, 四川西充人, 教授, 主要研究方向: 无线通信、宽带接入; 陈前斌(1967-), 男, 四川营山人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 无线通信、宽带接入网络、下一代通信; 赵为粮(1962-), 男, 四川铜梁人, 教授, 主要研究方向: 无线通信。

理设置(*m-party proxy*),通过设置并传递 *m* 节点的路径信息,得到可达目的节点的最短单向路由,避免非对称节点问题。在涉及使用跨层方式解决非对称链路的问题方面,该文献提出使用新定义 RTS/CTS/ACK 的方式来发现隐藏节点,跨层交互该信息,以帮助网络层建立最短可达路由。

在 MAC 机制方面的改进中,比较有代表性的思路主要是建立直接和间接邻居节点列表,使用共同直接邻居节点<sup>[1]</sup>。当源节点有数据需要发送时,首先检查自己的间接邻居表是否为空,如果存在间接邻居则将这些邻居地址附于 RTS 中发出去。相邻的节点收到 RTS 报文后,检查源节点和目的节点是否是自己的邻居,如果是则回退后发送新定义的 SRTS 帧,以避免不同邻居节点同时发送 SRTS 带来的碰撞问题。当源节点和目的节点的其他共同邻居侦听到 SRTS 后,它们终止对该 RTS 帧的转发。转发节点的邻居节点收到 SRTS 时,只有源节点的间接邻居才会根据 SRTS 帧设置自身的 NAV,而其他的节点会直接丢弃该报文。NAV 的值指出了源端完成本次数据帧发送所需的时间,亦即 NAV 的值向其他节点指示了信道重新空闲所需的时间。同理可以设置接收方间接邻居的 NAV。

如上所述,使用 MAC 机制对非对称链路的发现和处理的

解决方式,一般是采用:1)建立直接和间接邻居列表;2)使用共同的邻居节点来告知非对称链路中的大功率节点。这建立在两节点具有共同的邻居节点的基础上,描述如下:该算法需要网络中存在一定的冗余度,即两个通信节点间至少应该存在一个共同的可以直接通信的邻居节点,这样的条件在现在许多网络中都能够满足,如 Ad Hoc 网络、传感器网络等都存在冗余度。

## 2 转发介质访问控制(R-MAC)

本文提出的改进为基于 MAC 层的改进策略。其中转发 RTS/CTS 为与一般 RTS/CTS 相区别,称为 rRTS/rCTS,下同。该改进策略称为转发 MAC(R-MAC)。

### 2.1 MAC 帧格式

以 IEEE 802.11<sup>[6]</sup> 为例,改进策略须在帧结构中作如下改动:

1) 设定新的 RTS/CTS 帧 rRTS 和 rCTS;

2) 添加 2 个标志位 rd(relay-discard) 和 relay,使用该策略时将 rd 字段置为 1。转发一次后将 relay 置 1。

802.11 MAC 帧的格式如图 1 所示。原定义和修改过后的帧控制字段(Frame Control)如图 2 所示。

| Frame Control | Duration/ID | Address1 | Address2 | Address3 | Sequence Control | Address | QoS Control | Frame Body | FCS |
|---------------|-------------|----------|----------|----------|------------------|---------|-------------|------------|-----|
|---------------|-------------|----------|----------|----------|------------------|---------|-------------|------------|-----|

图1 802.11 MAC 帧格式

| Protocol version | Type    | Subtype | To DS | From DS | More Frag | Retry | Pwr Mgt | More Protected Data | Frame Order |
|------------------|---------|---------|-------|---------|-----------|-------|---------|---------------------|-------------|
| Protocol version | Control | Subtype | 0     | 0       | 0         | 0     | Pwr Mgt | 0                   | 0           |

(a)

| Protocol version | Type    | Subtype | To DS | From DS | More Frag | Retry | Pwr Mgt | More Protected Data | Frame Order |   | rd | relay |
|------------------|---------|---------|-------|---------|-----------|-------|---------|---------------------|-------------|---|----|-------|
| Protocol version | Control | Subtype | 0     | 0       | 0         | 0     | Pwr Mgt | 0                   | 0           | 0 | rd | relay |

(b)

图2 原定义和修改过后的帧结构控制字段对比

在帧控制字段中加入两个标志位。与此相应,发送 RTS/CTS 和数据帧需要使用 Address4 字段。Address4 字段仅在桥接器情况下使用,在应用本策略时使用添加标志位 rd 置 1,以避免出现字段二义性的情况。在添加标志位 rd 的同时,使用 Frame Control 的 subtype 字段。由于在 subtype 中 0000-1001 字段未使用,设定新的控制帧 rRTS 和 rCTS。设为当 type 字段为 01, subtype 字段为 0111 时为控制帧 rRTS, subtype 字段为 1000 时为控制帧 rCTS。在使用该策略的控制帧和数据帧中,Address4 成为必选项。

### 2.2 转发机制

如图 3 所示,三个空格分别代表帧中的 Address1、Address2 和 Address4 字段。

该策略的转发机制如下:

将 Frame Control 的 rd 字段置 1,以表明使用该策略。源节点向目的节点发送 RTS,所有接收到 RTS 的节点在收到 RTS 后,首先判断本节点是否是该信息的目的节点。

1) 若是,接受该信息,回复 CTS。与原始协议一致。

2) 若不是,等待短帧间间隔 SIFS,观察是否侦听到 CTS。

若听到 CTS,说明不是非对称链路,丢弃该 RTS;若未听到 CTS,说明该 RTS 的目的节点是高功率的非对称节点。将

收到的 RTS 的 Address2 字段(源节点地址)放到 rRTS 的 Address4 字段中,将标志位 relay 置 1,表示该 rRTS 经过了一次转发,以避免被再次转发。然后,随机等待数个短帧间间隔后一跳转发该 rRTS。

当节点收到 rRTS 以后,取出 Address1 字段与本节点地址进行比较,判断是否相同。因为目的节点可能收到来自不同路径的同样信息,所以再次接收到相同的 rRTS 时将丢弃。

1) 若相同,则表示该节点是目的节点。构建 rCTS,取出 rRTS 中的 Address4 字段作为 rCTS 中的 Address1,取出 rRTS 中的 Address2 作为 rCTS 中的 Address4。设置 NAV 并保持静默,并发送该 rCTS。

2) 若不相同,表示该节点非目的节点,丢弃该 rRTS。该节点可能是源节点的高功率非对称节点,设置 NAV 并保持静默,以避免暴露终端问题。

源节点收到回复信息后,取出 Address1 字段与本节点地址进行比较,判断是否相同。

1) 若相同,根据 subtype 字段信息判断是 CTS 还是 rCTS;

若是 CTS,传输数据帧,与原始协议一致;若是 rCTS,构建数据帧。取出 rCTS 中的 Address4 字段作为数据帧中的 Address1,同时将目的节点地址放入数据帧中的 Address4。传

输该数据帧。

2) 若不相同, 表示该节点非目的节点, 丢弃该 rCTS。设置 NAV 并保持静默。

转发节点收到该数据帧后, 构建转发数据帧, 取出 Address4 字段作为转发数据帧的 Address1, 取出 Address2 作为转发数据帧中的 Address4。同时将标志位 relay 置 1, 表示该数据帧经过了一次转发, 以避免被再次转发。然后发送转发数据帧。

目的节点接收完数据帧后, 读取 relay 字段并判断其是否为 0。

1) 若是, 则收到的是数据帧, 取出 Address2 字段作为 ACK 的 Address1, 回复 ACK;

2) 若不是, 则收到的是转发数据帧, 取出 Address4 字段作为 ACK 的 Address1, 回复 ACK。

源节点收到 ACK 后, 传输完成。经过以上策略的处理, 低功率非对称节点可以将数据发送到高功率节点, 从而解决了由于邻居表出错而导致的重传问题。

依照图 3 所示, 同样在两跳链路的数据传输过程中, 使用 802.11 协议, 需要传输的帧为  $(RTS + CTS + DATA + ACK) \times 2$ ; 而 R-MAC 需要传输的帧为  $RTS + rRTS + rCTS + 2 \times DATA + ACK$ 。假设数据段长度为  $A$ , 则依照 802.11 帧格式标准, 原始协议需要处理的数据长度为  $(20 + 14 + 34 + A + 14) \times 2 = (164 + 2A)$  Byte; 而 R-MAC 虽然多占用了地址和标志位, 却节省了一次 CTS 和 ACK。需要处理的数据长度为  $20 + 26 + 20 + (40 + A) \times 2 + 14 + 1 = (161 + 2A)$  Byte, 开销较原始协议更少。因此 R-MAC 的吞吐量会更高一些。

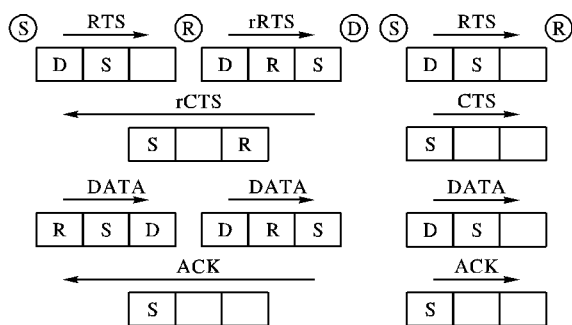


图3 R-MAC与802.11的MAC帧交互流程

### 3 仿真实验

仿真平台采用 UC Berkeley 大学的 NS-2 来进行<sup>[7]</sup>, 仿真中共设置 7 个节点, 节点的拓扑描述如表 1 所示, 其中  $x$  行  $y$  列为 Y 表示节点  $x$  可以同节点  $y$  直接通信, 否则表示不可以直接通信。路由协议使用 AODV, MAC 协议使用 R-MAC。节点之间可用带宽为 1 Mbps。网络中建立两条 TCP 业务流, 第一条业务流从节点 0 到节点 4, 第二条业务流从节点 5 到节点 6, 业务流的配置情况相同, 发送数据包的大小为 1 000 Byte, 发送时间间隔为 0.01 s。仿真时间为 50 s。

仿真中对业务流的吞吐量进行统计, 统计方法是, 将两业务流在单位时间内发送成功的业务总量作为总的吞吐量, 则不同协议下网络的吞吐量随时间变化如图 4 所示。

对图 4 进行分析可见, 在非对称链路中, 802.11 协议下网络的吞吐量有所下降, 但对改进策略 R-MAC 基本没有影

响。且改进策略的吞吐量高于原协议, 改善幅度大约在 15%。由于频繁产生冲突和丢包的原因, 原始协议的吞吐量极不稳定。可以看到, 改进协议有效地提高了吞吐量, 且变化趋势更为平滑。

表 1 节点拓扑图描述

|   | 0 | 1  | 2  | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---|---|----|----|---|---|---|---|
| 0 |   |    | Y  | Y |   |   |   |
| 1 | Y |    | Y/ | Y | Y | Y | Y |
| 2 | Y | Y/ |    |   |   |   |   |
| 3 | Y | Y  |    |   |   |   |   |
| 4 |   | Y  |    |   |   |   |   |
| 5 |   |    |    |   |   |   |   |
| 6 |   |    |    |   |   |   |   |

图 5 显示了时间和丢包率的关系。其中统计的丢包率是到某时刻接收端丢弃的包与发送端发送的包的数量之比。可见, 在非对称链路中, 改进策略的丢包率比原协议要低, 丢包率的改善幅度最大约 20%。同样由于以上原因, 改进策略的丢包率变化曲线较原始协议也更为平滑。

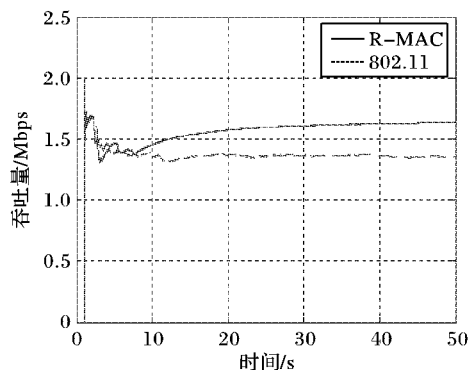


图4 非对称链路中改进策略与原协议的吞吐量对比

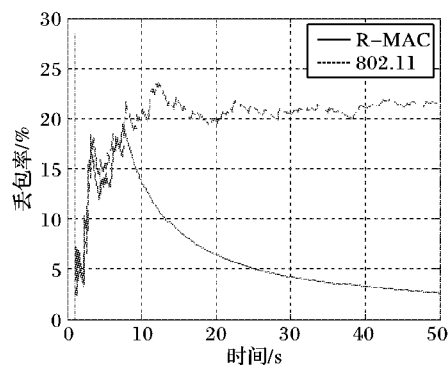


图5 非对称链路中改进策略与原协议的丢包率对比

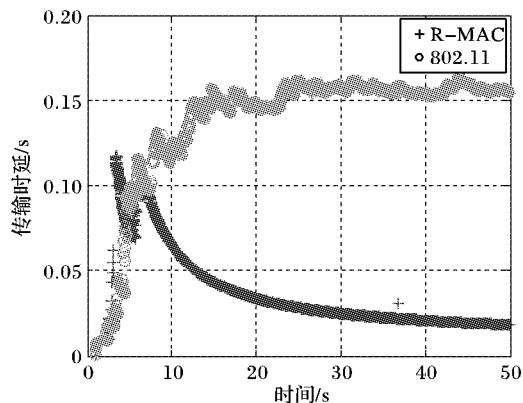


图6 非对称链路中改进策略与原协议的端到端时延对比

(下转第 1883 页)

珠上的  $\bar{S}_{U \rightarrow v_1' \rightarrow v_2' \rightarrow \dots \rightarrow v_k' \rightarrow V} \bar{S}_{V \rightarrow v_k' \rightarrow v_{k-1}' \rightarrow \dots \rightarrow v_1' \rightarrow U}$  来孵化生成的单链DNA。然后,通过磁珠的磁性分离出试管  $T_5$  中包含  $S_{U \rightarrow v_1' \rightarrow v_2' \rightarrow \dots \rightarrow v_k' \rightarrow V}$  或  $S_{V \rightarrow v_k' \rightarrow v_{k-1}' \rightarrow \dots \rightarrow v_1' \rightarrow U}$  的DNA单链。

例如:分别利用吸附到磁珠上的  $\bar{S}_{P \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow A}$ 、 $\bar{S}_{A \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow P}$  即可分别通过磁珠的磁性分离出包含  $\bar{S}_{P \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow A}$  或  $\bar{S}_{A \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow P}$  的DNA单链。显然,图5所示的DNA单链满足要求。

步骤8 对步骤7所得到的产物,对  $E'$  中的所有其他无向弧分别重复步骤8。显然,最终得到的DNA单链所对应的路径包含  $E'$  中的所有无向弧。

例如:依次分别利用吸附到磁珠上的  $\{\bar{S}_{P \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow A}, \bar{S}_{A \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow P}\}$ 、 $\{\bar{S}_{P \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow A}, \bar{S}_{A \rightarrow 8 \rightarrow 7 \rightarrow 6 \rightarrow P}\}$ 、 $\{\bar{S}_{P \rightarrow 5 \rightarrow A}, \bar{S}_{A \rightarrow 5 \rightarrow P}\}$ 、 $\{\bar{S}_{A \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow B}, \bar{S}_{B \rightarrow 12 \rightarrow 11 \rightarrow 10 \rightarrow 9 \rightarrow A}\}$  即可分别通过磁珠的磁性分离出同时包含  $\bar{S}_{P \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow A}$  或  $\bar{S}_{A \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow P}$ 、 $\bar{S}_{P \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow A}$  或  $\bar{S}_{A \rightarrow 8 \rightarrow 7 \rightarrow 6 \rightarrow P}$ 、 $\bar{S}_{P \rightarrow 5 \rightarrow A}$  或  $\bar{S}_{A \rightarrow 5 \rightarrow P}$ 、 $\bar{S}_{A \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow B}$  或  $\bar{S}_{B \rightarrow 12 \rightarrow 11 \rightarrow 10 \rightarrow 9 \rightarrow A}$  的DNA单链。在本例中,显然图5所示的DNA单链满足要求。且易知,最终得到的这种DNA单链所对应的路径包含  $E'$  中的所有无向弧。

步骤9 对步骤8所得到的所有DNA单链,首先,使之带上负电,然后将其放置于矩阵凝胶体的负极。基于斥力原理分离出移动速度最快的DNA单链。在本例中,显然图5所示的DNA单链满足要求。

步骤10 对步骤9所得到的任意DNA单链,确定其对应的路径中包含的各条无向弧的访问顺序。

例如:针对图5所示的DNA单链,将其固定在表面上,然后将带有不同荧光素的  $\{\bar{S}_{P \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow A}, \bar{S}_{A \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 1 \rightarrow P}\}$ 、 $\{\bar{S}_{P \rightarrow 6 \rightarrow 7 \rightarrow 8 \rightarrow A}, \bar{S}_{A \rightarrow 8 \rightarrow 7 \rightarrow 6 \rightarrow P}\}$ 、 $\{\bar{S}_{P \rightarrow 5 \rightarrow A}, \bar{S}_{A \rightarrow 5 \rightarrow P}\}$ 、 $\{\bar{S}_{A \rightarrow 9 \rightarrow 10 \rightarrow 11 \rightarrow 12 \rightarrow B}, \bar{S}_{B \rightarrow 12 \rightarrow 11 \rightarrow 10 \rightarrow 9 \rightarrow A}\}$  加到表面上,利用激光共聚焦显微镜观察表面上的DNA双链的荧光素颜色,即可确定其

对应的路径中包含的各条无向弧的访问顺序。

## 4 结语

DNA计算由于具有良好的并行性,因此在解决一类困难问题,特别是完全问题上具有硅计算机无法比拟的优势。利用多聚酶链式反应放大技术,提出了中国邮递员问题的一种基于DNA计算的求解算法。算法分析表明,新算法具有易于解读、编码简单等特点。

### 参考文献:

- [1] ALDERMAN L M. Molecular computations to combinatorial problems[J]. Science, 1994, 266(11): 1021 - 1024.
- [2] LIPTON R. Using DNA to solve NP-Complete Problems[J]. Science, 1995, 268(4): 542 - 545.
- [3] SAKAMOTO K, KOMIYA K, KIGA D, et al. Molecular computation by DNA hairpin formation[J]. Science, 2000, 288(5): 1223 - 1226.
- [4] LIU Q, GUO Z, FEI Z, et al. A surface based approach to DNA computation[J]. Journal of Computational Biology, 1998, 5(2): 255 - 267.
- [5] WU HAOLANG. An improved surface based method for DNA computation[J]. Bio-systems, 2001, 59(1): 1 - 5.
- [6] 殷志祥, 张风月, 许进. 0-1 规划问题的DNA计算模型[J]. 电子与信息学报, 2003, 15(1): 1 - 5.
- [7] WANG LEI. DNA-based algorithm for 0-1 planning problems[C]// Computational Science and Its Applications. Berlin: Springer, 2005: 733 - 742.
- [8] 王雷, 林亚平. 一类特殊整数规划问题的DNA计算[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(8): 1431 - 1438.
- [9] 王雷, 林亚平. DNA计算在整数规划问题中的应用[J]. 电子与信息学报, 2005, 27(5): 814 - 819.
- [10] 费蓉, 崔杜武. 中国邮递员问题的动态规划算法研究[J]. 计算机研究与发展, 2005, 42(2): 294 - 299.

(上接第1870页)

图6显示了时间和平均端到端时延的关系。其中统计的端到端时延是所有传输成功的包的平均时延。可见,端到端时延较原始协议要小,趋势也更为稳定。

由于路由协议使用了AODV,而AODV仅支持双向链路,因此由于处理数据长度减小而带来的吞吐量的提高无法在仿真结果中体现。但是可以看到,较原始协议IEEE 802.11而言,改进策略R-MAC对于非对称链路无疑具有更好的适应性,由于冲突和丢包率的大幅降低,改进策略还是能够取得更高的吞吐量。而且在处理对称链路时,由于采用了区分策略,除去具体性能的细微差别,具有同原始协议相同的性能变化趋势,而这一点也保证了R-MAC与上层路由协议的兼容。

在改进路由协议的基础上,使用该策略应该能够使系统性能有进一步的提高,这也是一个可能的后续研究方向。

## 4 结语

在Ad Hoc网络中,由于节点的移动特性和信道的复杂性,非对称链路成为了制约网络性能的重要因素之一。本文通过改进MAC帧结构和转发策略的方式,有效地改善了非对称链路产生的暴露终端和盲目重传问题,并通过仿真验证了现有协议的严重不足和改进策略R-MAC的可行性。在进一步的研究中,重点应当在于如何建立开销更小,性能更高的适

应非对称链路的MAC协议;以及基于跨层优化的非对称链路解决方案。

### 参考文献:

- [1] 覃振权, 李津生. A2MAC - 一种非对称链路感知的MAC协议[J]. 小型微型计算机系统, 2007, 28(10): 1764 - 1768.
- [2] JUNG E S, VAIDYA N H. A power control MAC protocol for Ad Hoc networks[C]//Proceedings of the 8th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. New York: ACM, 2002: 36 - 47.
- [3] CHHAYA H S, GUPTA S. Performance modeling of asynchronous data transfer methods of IEEE 802.11 MAC protocol[J]. Wireless Networks, 1997, 3(3): 217 - 234.
- [4] BAI YONG, CHEN LAN. Extended multicast optimized link state routing protocol in MANETs with asymmetric links[C]// IEEE GLOBECOM. New York: IEEE, 2007: 1312 - 1317.
- [5] WANG GUOQIANG, MARINESCU D C. Cross-layer information sharing for wireless networks with asymmetric links[C]// Proceedings of 3rd International Symposium Wireless Pervasive Computing: ISWPC 2008. New York: IEEE, 2008: 475 - 479.
- [6] IEEE 802.11TM. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications[S]. 2007.
- [7] 于斌, 孙斌, 温暖, 等. NS2与网络模拟[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007.