

基于干扰模型的无线网状网 QoS 路由策略

束永安¹, 罗 斌¹, 史斌宁²

(1. 安徽大学 计算机科学与技术学院, 合肥 230039; 2. 中山大学 理工学院, 广州 510275)

(shuya@mail.ustc.edu.cn)

摘 要:为支持无线网状网中多媒体业务,提出了基于干扰模型的 QoS 路由策略 WQRI。首先对网络进行分层,然后提出新的可用带宽和端到端延时估计方法,在协议中实现可靠的接入控制和端到端资源预留。仿真表明,WQRI 策略能以较低的控制报文开销为实时业务提供 QoS 支持。

关键词:无线网状网;干扰;服务质量;路由协议

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A

WMN QoS routing strategy based on interference model

SHU Yong-an¹, LUO Bin¹, SHI Bin-ning²

(1. School of Computer Science and Technology, Anhui University, Hefei Anhui 230039, China;

2. School of Physics and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou Guangdong 510275, China)

Abstract: To support multimedia applications in Wireless Mesh Networks (WMN), the authors proposed an interference-based Quality-of-Service (QoS) routing strategy named WQRI. This strategy first stratified WMN and then proposed novel methods to estimate the available bandwidth and end-to-end delay. It achieved reliable admission control and resource reservation. Simulation results indicate that WQRI can provide QoS support for real-time applications at lower control packet overhead.

Key words: Wireless Mesh Network (WMN); interference; Quality-of-Service (QoS); routing protocol

0 引言

无线网状网(Wireless Mesh Network, WMN)以其鲁棒性、覆盖区域广、前期投资少及维护成本低、接入便利等特点受到业界的重视。WMN 由 Mesh 路由器(Mesh Router, MR)、接入点(Access Point, AP)和用户节点(Client)构成。Mesh 路由器构成 WMN 主干,通过相互间自配置、自愈合的无线链路构成网状拓扑;其中有些安装有线网络接口的 Mesh 路由器,作为网关与 Internet 相连,结构如图 1 所示。由于这种网络架构正日益成为用户“最后一公里”接入的替代技术,它必须支持新一代的流媒体应用如 VoIP 和视频点播(VoD)等。这些应用需要 WMN 提供最小带宽和最大端到端延时等服务质量(Quality-of-Service, QoS)保证。然而,目前有关 WMN 的研究工作大多是对无线自组网(Mobile Ad Hoc Network, MANET)的协议进行改进,很少提供 QoS 支持。本文将提出基于干扰模型的 QoS 路由策略 WQRI,为 WMN 中的实时应用等提供 QoS 保证。

1 WMN 中 QoS 路由策略相关研究

目前研究人员研究 WMN 路由策略,主要针对没有 QoS 需求的尽力而为业务流^[1]。不过也有一些研究人员提出特定环境的 QoS 路由策略。文献[2]提出具有带宽需求的 QoS 路由策略,在流量需求可分解的情况下,提出了多项式时间最优路由算法;对于流量不可分解情形,该文提出了启发式最大瓶颈链路带宽路由算法。但是,提供确定性的路由策略仍是需要解决的问题。文献[3]通过在 WMN 中构建树状拓扑来研究 QoS 路由策略,但树状拓扑限制了能够并发传输的链路

集的数量,降低了空间复用率,影响了网络的性能。文献[4]中提出 QUORUM(QUality Of service RoUting in wireless Mesh networks)路由策略,采用反应式按需路由发现机制,提供基于预约的 QoS 支持。该策略在路由发现过程中实施接入控制,发现路由后使用相同长度、相同优先级和数据速率的 DUMMY-RREP 报文来估计路径端到端的延时,导致业务流初始接入时较长的延时。802.11s 草案^[5]对 WMN 互连框架进行了规范。该草案虽然通过对不同类别的流量设置优先级来实现有限的 QoS 支持,但在多跳环境下,同一类别的流量无法区分优先级。草案中其他机制如 MDA(Mesh Deterministic Access)或网状网内拥塞控制等仅实现局部 QoS 的一定改善,因为这些机制在多跳环境下存在很多问题。为端到端的流量提供 QoS 保证,需要建立一个预留的机制,但 802.11s 目前还未规范此类机制。

2 基于干扰模型的 QoS 路由策略

2.1 无线信道干扰模型

由于无线信号广播特性,WMN 中邻近区域多链路同时传输会产生干扰^[6]。本文采用文献[7]中无线信道干扰模型。用图 $G=(V,E)$ 表示 WMN 骨干网, V 为顶点的集合, E 为边的集合。 R_i 表示传输的距离, R_i 表示干扰距离。用 $T(e,i)$ 表示与边 $e=(u,v)$ 在同一信道 i 上传输发生干扰的边集,边数为 n 。 $C(e,i)$ 表示边 e 在信道 i 上的最大速率。 $f(e(i))$ 表示边 e 上对应信道 i 的某一流速率: $f(e(i)) \leq C(e,i)$ 。用式(1)计算信道 i 在链路 e 上干扰 $Int(e,i)$:

$$Int(e,i) = \frac{f(e(i))}{C(e,i)} + \sum_{e' \in T(e,i)} \frac{f(e'(i))}{C(e',i)} \quad (1)$$

收稿日期:2008-12-03;修回日期:2009-02-17。

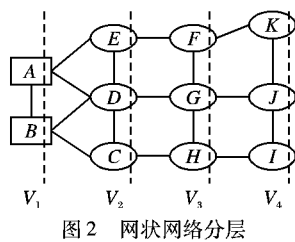
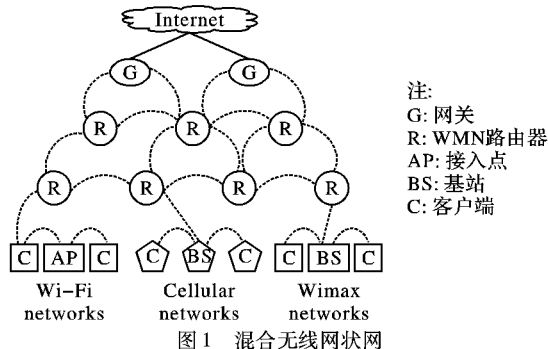
基金项目:中国博士后科学基金资助项目(20080440706);安徽省高等学校自然科学基金项目(KJ2008B095)。

作者简介:束永安(1966-),男,安徽舒城人,副教授,博士,主要研究方向:无线网络、下一代网络体系结构;罗斌(1963-),男,安徽合肥人,教授,博士,博士生导师,主要研究方向:模式识别、计算机图像处理;史斌宁(1949-),男,安徽合肥人,教授,主要研究方向:计算机控制。

由 $f(e(i))/C(e,i) \leq 1$ 可知, $Int(e,i) \leq n+1$ 。

2.2 网络拓扑形成

一个网状网的拓扑如图 2 所示。图中节点 A、B 为网关,其他节点为网状网骨干节点。由于 WMN 的流量主要是去往或来自网关,本文以网关为参考层,以 R_l 为层间距离对 WMN 进行分层^[6]。由于网状网骨干节点位置较为固定,用三元组 (a,b,c) 来表示各节点的位置信息, a 为层号, (b,c) 用于表示节点的坐标信息, b 为横坐标值, c 为纵坐标值。每一个网状网骨干节点及网关均存有其他节点的位置信息并且与其 IP 地址相关联。



2.3 WQRI 路由策略

2.3.1 路径指标值的计算

由于不同链路的负荷及队列长度不同,路由策略中链路的选择将影响网络的性能。链路指标值的确定是影响本算法的关键因素。本文用式(2)计算链路指标值:

$$M = \alpha \cdot Int(e,i) + \beta \cdot Qlen + \lambda \cdot ETT \quad (2)$$

$Qlen$ 为平均队列长度,单位为字节。 ETT 为链路上成功传输一个报文所需时间的期望,单位为毫秒, ETT 值的计算见文献[8]。 α, β, λ 是构成链路指标值三个元素的权重。

2.3.2 路由策略

WQRI 路由协议借鉴了 AODV 协议^[9]的一些思想,并针对 WMN 中 Mesh 路由器地理位置相对固定等特点而设计。WQRI 协议通过在源节点和目的节点间广播路由请求 RREQ 和路由应答 RREP 报文建立路由。路由发现算法由从源端到目的端的路径探索和从目的端到源端的路径预留两部分构成。

1) 路径探索。WMN 中的流量主要有三种类型:WMN 内部节点之间的流;从 WMN 内节点经网关流向 WMN 外的流;从 WMN 外经网关流入 WMN 内节点的流。对于后两种类型的流,WQRI 分别把网关作为流的目的节点和流的源节点。当需要为某流建立路径时,源节点发送一个路由请求报文 RREQ,包含流的带宽需求和端到端延时等 QoS 参数。中间节点收到该报文时向目的节点转发,在满足该流的 QoS 需求条件下,发现至目的节点具有最小累积链路指标值的路径。

WQRI 利用 Mesh 路由器地理位置相对固定的特点进行路由发现。当 WMN 骨干节点收到一个流的初始报文时,它采用泛洪(flooding)进行路由发现。WQRI 通过限制 RREQ 报文泛洪区域来减少泛洪开销。假设以源节点和目的节点为对角线构成的矩形区域的左下角的位置信息是 (a,b,c) ,右上角

的位置信息为 (x,y,z) ,则该流的 RREQ 泛洪限制区域为一矩形区域,其左下角的位置信息是 $(b-m \times R_l, c-m \times R_l)$,右上角的位置信息是 $(y+m \times R_l, z+m \times R_l)$, (m 的默认值为 2)。超出此范围的节点收到该流的 RREQ 报文则丢弃,不再转发。此范围的中间节点 v 收到 RREQ 报文时,在与其关联且满足该流带宽需求的各条链路上进行转发。节点 v 转发该报文后,在其路由表中增加一个表项,状态设为转发。节点 v 保持转发状态 $2T_{max}$ 时长, T_{max} 为该流的最大端到端延时。在此期间若无应答报文 RREP 到达,节点 v 删除该表项,迟到的应答报文 RREP 亦被忽略。这样可减少 WMN 控制报文开销,去除节点路由表中的无效信息。

2) 路径预留。在路径探索过程中,会有多个 RREQ 报文经过不同的路径到达目的节点,目的节点选择具有较少累积链路指标值的 r (r 的默认值是 3) 个 RREQ 报文沿反向路径发送应答报文 RREP 至源节点。中间节点 v 收到 RREP 报文后,检查其路由表中是否有状态为转发的对应表项。若无对应表项,则丢弃该 RREP 报文。若存在对应表项,节点 v 再次检查转发 RREP 报文的链路带宽是否满足该流的需求,以避免瞬时路径。如果此时链路带宽不能满足该流的需求,则丢弃该 RREP 报文。否则,RREP 报文被转发,节点 v 将更新路由表中该路径的表项,把状态设为预留。该表项的预留状态仅保持 $2 \times T_{max}$ 时长。如果在 $2 \times T_{max}$ 时间内无数据包到达,则说明该路径未被源节点使用,节点 v 删除该表项。

节点 v 为该流预留带宽后,需要向预留信道干扰范围内的邻居节点广播预留信息。WQRI 协议在 Hello 报文中增加一个信道带宽预留表项,包括节点 v 的三元组信息、流的标识、所用的信道及预留的带宽。节点 v 的一跳邻居 p 收到该信息后,受干扰的链路可用带宽减去节点 v 的预留值。节点 p 再用 hello 报文向其邻居节点 n 转发该预留信息。若节点 n 是节点 v 的两跳邻居,则根据预留表项的三元组信息,新增的受干扰链路带宽减去节点 v 的预留值。由于受链路两端节点间距离等因素的影响,WMN 中不同链路的最大传输速率是不同的,因此,受干扰链路所减去的带宽值应是不同的。假设链路 $(u,v;i)$ 传输的流量需求为 $R(u,v;i)$,受此链路干扰的链路 $(s,t;i)$ 应减去的带宽为 $D(s,t;i)$,那么 $D(s,t;i) = R(u,v;i) \times C(s,t;i)/C(u,v;i)$ 。 $C(s,t;i)$ 表示链路 (s,t) 使用信道 i 的最大速率。

若节点 v 要释放为该流预留的带宽,需要向预留信道干扰范围内的邻居节点广播释放带宽信息,方法同广播带宽预留信息。节点 v 的两跳邻居节点收到该信息后,释放为该流预留的带宽,增加相应信道的可用带宽。

3) 接入控制。由于 WMN 中节点的时钟是非同步的,因此很难直接测量单程端到端延时。WQRI 通过源端到目的端再返回源端的往返程延时 T_{round} 来估计单程端到端延时。当 $T_{round} \leq 2T_{max}$ 时,我们认为从源端到目的端的延时 $T_{down} \leq T_{max}$ 。下面证明从源端到目的端的延时 T_{down} 近似等于从目的端到源端的延时 T_{up} 。

T_{down} 和 T_{up} 主要由下面三部分构成:

$T_{queue}(I)$ 表示每个中继节点 I 的排队延时。由于每个无线节点只有一个输出队列,上行和下行链路的平均等待延时是相同的。

$T_{trans}(I)$ 表示报文在节点 I 的传输延时,即服务时间。本文假定每个节点数据传输速率相同,在路由请求报文和应答报文长度几乎相等的情况下,节点向各个方向发送报文的时间是相等的。

T_{prop} 表示报文在路径上端到端的传输延时。

对 WMN 路由器进行调试,使得信道是对称的,这样,报

文在上行链路上的传输延时与下行链路上的传输延时是相等的。

如图2所示,节点 J 通过中间节点 D 、 G 向节点 A 发送数据,那么:

$$T_{\text{down}} = \sum [T_{\text{queue}}(I) + T_{\text{trans}}(I)] + T_{\text{prop}}; I = J, G, D$$

$$T_{\text{up}} = \sum [T_{\text{queue}}(I) + T_{\text{trans}}(I)] + T_{\text{prop}}; I = A, D, G$$

由此可知, T_{down} 和 T_{up} 的差:

$$T_{\text{diff}} = T_{\text{down}} - T_{\text{up}} = T_{\text{queue}}(J) - T_{\text{queue}}(A)$$

$$T_{\text{round}} = T_{\text{down}} + T_{\text{up}} = 2T_{\text{down}} - T_{\text{diff}} \circ T_{\text{down}} = (T_{\text{round}} + T_{\text{diff}})/2$$

若要满足 $T_{\text{down}} \leq T_{\text{max}}$,必须 $T_{\text{round}} + T_{\text{diff}} \leq 2T_{\text{max}}$ 。

源端可以获得 T_{round} 的值,用 $T_{\text{round}}/2$ 来估计 T_{down} 。出现错误的概率,即 $2T_{\text{max}} - T_{\text{diff}} \leq T_{\text{round}} \leq 2T_{\text{max}}$ 的概率可粗略用 $T_{\text{diff}}/(2T_{\text{max}})$ 表示。由于 T_{diff} 相对于 $2T_{\text{max}}$ 值较小,故错误的概率较小。

源端选择 RREP 报文最先到达的路径。若在 $2T_{\text{max}}$ 时段内无 RREP 报文到达,表明路由发现失败。源端可以经过一个随机退避时间重新发起路由发现,或拒绝该流。

4) 自适应路径恢复。在无线网络中,由于地理和环境等因素的影响,会导致端到端的服务质量的违约。一条激活路径上的拥塞或链路的信道衰减会导致端到端延时的违约,一个节点的移动或故障会造成一条激活路径的中断。对于 WMN 多媒体应用,研究 QoS 违约的即时探测和恢复机制十分关键。

延时违约探测:为实现即时的路径恢复,需要对数据流检测单向端到端的延时。为获取 T_{up} 或 T_{down} 的值,我们需要计算源端和目的端的时钟偏差 T_{offset} 。WQRI 在 WMN 节点定期发送的 Hello 报文中加入节点的时钟信息,节点根据邻居节点 Hello 报文的时钟信息计算与各个邻居节点的时钟偏差。中间节点在转发源端发来的报文时,把本节点与上一跳节点的时钟偏差累加到报文的 T_{offset} 域。目的端和源端的时钟偏差 T_{offset} 是路径上各个链路两端节点的时钟偏差代数和。由 T_{offset} 、发送端在报文上的时戳以及报文到达目的端的时间,目的端可以检测端到端的延时是否违约。如果目的端检测到连续 t (t 的默认值为3)个报文延时超出最大延时需求值 T_{max} ,将触发 QoS 恢复机制。

路径中断探测:通过 Hello 报文可以探测邻居节点丢失。当节点探测到路径上的邻居节点丢失,则向源端发送路径中断信息。源端重新发起路由建立过程。由于该机制一般耗时几秒,不适用于时间敏感的实时业务流,可适用于尽力而为业务或由于网络分割、报文丢失导致路径即时恢复失败的情形。

对于有 QoS 需求的实时业务流, WQRI 在目的端利用带宽预约的超时机制来指示可能的路径中断。如果目的端在规定时间内未能收到预约流的数据报文,则触发路径恢复机制。

QoS 违约恢复:为实现即时路径恢复,本文采用目的端发起路径恢复策略。在检测到 QoS 违约后,目的端向源端广播路径更新报文。中间节点对路径更新报文的处理与路由请求报文的方法相同。一旦接收到第一个及时到达的路径更新报文,源端便把相关的流切换到更新报文到达路径的反向路径上。相反,一个迟到的路径更新报文或路径错误报文表明 QoS 违约的发生和路径恢复的失败。这种情况下,源端要么在无 QoS 保证的情况下继续传输该流;要么挂起该流,等待重试。

3 仿真比较

本文仿真工具为 NS2.28,并按文献[10]对其扩展,以使

其支持多接口多信道模式。仿真环境使用具有12个可用正交信道的802.11a无线接口,网络拓扑结构为网格状,网格大小为 8×8 ,共60个装有4个无线接口的节点,其中1个网关节点位于拓扑中央,相邻网格点间的距离为60 m。仿真时设定无线信号最大传输距离 R_t 为90 m,最大干扰距离 R_i 为180 m,链路的传输速率为11 Mbps。每个节点产生的流量均为 NS2 流量发生器发出的1024 Byte 的 UDP 报文,Hello 报文的时间间隔为2 s,邻居超时为4 s。

在本仿真环境中,若队列中有一个报文,加上报文头开销20 Byte, Q_{len} 值为 $1024 + 20 = 1044$,排队的报文越多, Q_{len} 值越大。 ETT 值为几毫秒到几百毫秒,设为 $1 \leq ETT \leq 1000$ 。 $Int(e, i) \leq n + 1$ 。由此可见, $Int(e, i)$ 值与 Q_{len} 、 ETT 的值在数量级上相差较大,为使这三个值的等量改变对 M 值的变化大致相当,它们的调整系数也应有较大差别。故仿真环境中设置 $\alpha = 0.998, \beta = 0.001, \lambda = 0.001$ 。

为仿真流媒体应用,本文使用恒定比特流(CBR),随机产生20个源端至目的端节点对,每个源节点每秒产生384 Kbps MPEG4 视频流。每个流的端到端最大延时上限 T_{max} 为100 ms,要求的带宽下限 B_{min} 为384 Kbps。图3~6给出了仿真结果。

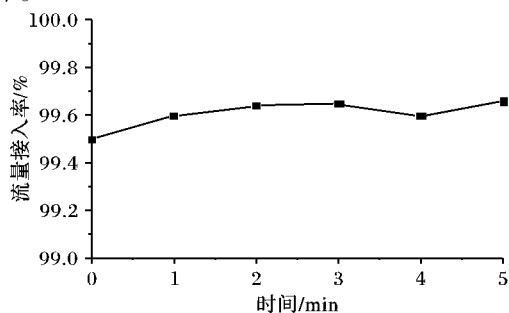


图3 流量接入率

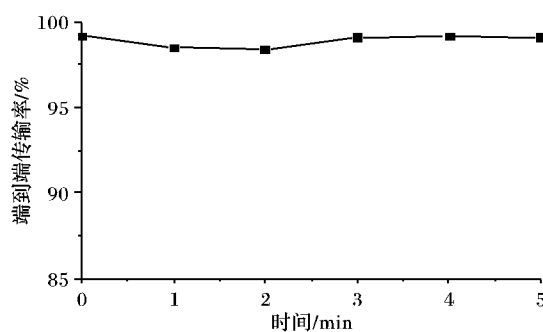


图4 端到端传输率

流量接入率是到 T 时刻发送至网络的数据报文数和源端产生的报文数之比,它表示接入控制策略的效率。由图3可以看出,大约1分钟后流量接入率稳定在99.6%附近。

端到端的传输率是到达目的端的数据报文数与源端发出的数据报文数的比值,它表示接入流的可靠性。由图4可以看出,经过数秒后,端到端的传输率稳定在99%附近。

端到端平均延时是到时刻 T 目的端接收的数据报文的平均延时,包括路由发现时的缓冲延时、发送队列的排队延时、MAC 层的重传延时以及传播延时。图5表明 WQRI 策略能满足实时应用的 QoS 需求。

归一化路由开销指到时刻 T 用于路由的报文数与总共接收到的报文数之比值。由图6可见,当仿真开始约1分钟,归一化路由开销降至10%以下,并随着网络的稳定保持下降趋势。

(下转第1207页)

4 结语

本文提出了一种在 IEEE 802.16e 系统中针对不同业务类型的调度算法,通过采用两级资源再分配策略和补偿机制,有效地保证了 QoS 要求。算法根据业务流状态确定优先级,根据业务类型确定权重,合理分配资源,既提高了系统资源的利用率,又保障了公平性。

参考文献:

- [1] IEEE Std 802.16-2004 (Revision of IEEE Std 802.16-2001): IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems [S]. 2004.
- [2] IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access System-Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands [S]. 2005.
- [3] HOU FEN, CAI L X, SHE J, *et al.* Cooperative multicast scheduling scheme for IPTV service over IEEE 802.16 networks [C]// IEEE International Conference on Communications. Washington, DC: IEEE Press, 2008: 2566 - 2570.
- [4] LEE H, KWON T, CHO D-H, *et al.* Performance analysis of scheduling algorithms for VoIP services in IEEE 802.16e Systems [C]// IEEE 63rd Vehicular Technology Conference: VTC 2006-Spring. Washington, DC: IEEE Press, 2006, 3: 1231 - 1235.
- [5] OH S-M, CHO S, KIM J-H, *et al.* VoIP scheduling algorithm for AMR speech codec in IEEE 802.16e/m system [J]. IEEE Communications Letters, 2008, 12(5): 374 - 376.
- [6] PAHALAWATTA P, BERRY R, PAPPAS T, *et al.* Content-aware

resource allocation and packet scheduling for video transmission over wireless networks [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2007, 25(4): 749 - 759.

- [7] WU JING, MO J, WANG TING. A method for non-real-time polling service in IEEE 802.16 wireless access networks [C]// IEEE 66th Vehicular Technology Conference: VTC-2007 Fall. Washington, DC: IEEE Press, 2007: 1518 - 1522.
- [8] PENG MU-GEN, WANG WEN-BO. Advanced scheduling algorithms for supporting diverse quality of services in IEEE 802.16 wireless metropolitan area networks [C]// IEEE 18th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. Washington, DC: IEEE Press, 2007: 1 - 6.
- [9] MIHRJOO, MEHRI SHEN, XUEMIN. An efficient scheduling scheme for heterogeneous traffic in IEEE 802.16 wireless metropolitan area networks [C]// International Symposium on Telecommunications: IST 2008. Washington, DC: IEEE Press, 2008: 263 - 267.
- [10] WANG LI-LEI, XU HUI-MIN. A new management strategy of service flow in IEEE 802.16 systems [C]// 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications: ICIEA 2008. Washington, DC: IEEE Press, 2008: 1716 - 1719.
- [11] FREITAG J, da FONSECA N L S. Uplink scheduling with quality of service in IEEE 802.16 networks [C]// Global Telecommunications Conference: GLOBECOM apos. Washington, DC: IEEE Press, 2007: 2503 - 2508.
- [12] ZHANG HONG - XIA, CHEN HONG, FU XIAO - MEI, *et al.* A scheduling algorithm based on channel state for VoIP services in IEEE Std 802.16e system [C]// 10th International Conference on Advanced Communication Technology: ICACT 2008. Washington, DC: IEEE Press, 2008, 3: 1521 - 1525.

(上接第 1203 页)

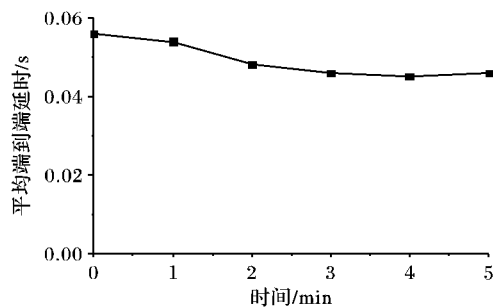


图5 平均端到端延时

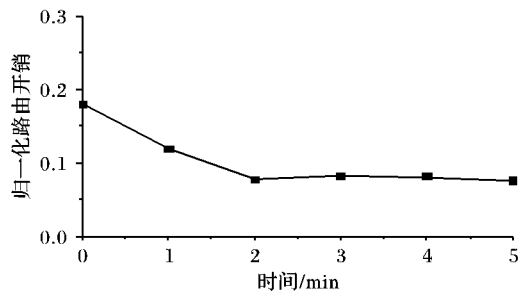


图6 归一化路由开销

4 结语

本文在无线链路干扰模型的基础上,针对 WMN 骨干网拓扑结构的特点,提出一种新的支持 QoS 保证的 WMN 路由策略 WQRI。该策略实现网络流的有效接入控制以及 QoS 违约的及时恢复功能。仿真证明了 WQRI 协议能够为实时应用

提供 QoS 支持。

参考文献:

- [1] JUN J, SICHITI M L. The nominal capacity of wireless mesh networks [J]. IEEE Wireless Communications, 2003, 10(5): 8 - 14.
- [2] TANG JIAN, XUE GUO-LIANG, ZHANG WEI-YI. Interference-aware topology control and QoS routing in multi-channel wireless mesh networks [C]// Proceedings of ACM MOBIHOC 2005. New York: ACM Press, 2005: 68 - 77.
- [3] LEE S, NARLIKAR G, PAL M, *et al.* Admission control for multi-hop wireless backhaul networks with QoS support [C]// Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference: WCNC'06. Washington, DC: IEEE Press, 2006, 1: 92 - 97.
- [4] KONE V, DAS S, ZHAO B Y, *et al.* QUORUM: Quality of service routing in wireless mesh networks [J]. Mobile Networks and Applications, 2007, 12(5): 358 - 369.
- [5] IEEE 802.11s Task Group, IEEE P802.11s/D1.07 [S]. 2007.
- [6] 束永安, 洪佩琳, 覃振权. 无线网中基于干扰模型的多信道分配策略 [J]. 电子学报, 2008, 36(7): 1256 - 1260.
- [7] 束永安, 李津生, 洪佩琳, 等. 一种基于干扰模型的无线网自适应路由策略 [J]. 小型微型计算机系统, 2008, 29(1): 12 - 16.
- [8] PADHYE J, DRAVES R, ZILL B. Routing in multi-radio, multi-hop wireless mesh networks [C]// Proceedings of ACM MobiCom Conference. New York: ACM Press, 2004: 114 - 128.
- [9] PERKINS C E, BELDING-ROYER E-M. Ad Hoc on demand distance vector (AODV) routing, draft-perkins-manet-aodvbis-00.txt, Internet Draft [S]. 2003.
- [10] The Enhanced Network Simulator [DB/OL]. [2008 - 10 - 12]. http://www.cse.iitk.ac.in/users/braman/tens/.