

## 基于 AODV 的自组网 QoS 路由协议

张霞 于宏毅 杨锦亚

(解放军信息工程大学通信工程系 郑州 450002)

**摘要:** 该文在 AODV 协议的基础上, 设计了保证实时业务服务质量的路由协议 Q-AODV。该协议针对无线环境的共享媒体特性, 定义了节点的“共享频率集”, 以节点周围的剩余可预约带宽作为路由度量的主要参数, 回避可能发生拥塞的链路, 同时提高了网络的整体效率。仿真结果表明: 该算法保证了实时业务的服务质量, 在数据包的传输时延和网络的分组递交率方面优于原有协议。

**关键词:** Ad hoc 网络, QoS 路由, 共享频率集, 拥塞回避, 可预约带宽

**中图分类号:** TN919.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-5896(2005)03-0355-04

## AODV-Based Routing Protocol with QoS Support

Zhang Xia Yu Hong-yi Yang Jin-ya

(Department of Communication Engineering of PLA Information and Engineering University, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract** To guarantee quality of service of real-time traffic, an algorithm based on AODV is presented. In this algorithm, node maintains traffic information of nodes in its neighborhood. Reservable bandwidth is used as the main consult in routing. Simulation shows that the QoS of real time traffic is guaranteed and the algorithm is superior to standard AODV routing algorithm in terms of delivery rate and mean end to end packet delay.

**Key words** Ad Hoc networks, QoS routing, Sharing media node, Congestion avoidance, Reservable bandwidth

### 1 引言

自组(Ad hoc)网络是由一组具有路由功能的节点组成的分布式无线多跳网络<sup>[1]</sup>, 以其布网灵活、不依靠预设的网络基础设施等特点在临时会议、紧急救援、战场作战、车辆之间通信和 Internet 无线接入等场合有广泛的应用。在这些场合, 实时视频和音频业务占很大比例, 如何保证实时业务的服务质量(QoS)成为一个十分重要的问题。

实时业务的传输要求低时延和低时延抖动, 在网络规模不大的情况下, 采用为每个业务流预约带宽资源的方式可以保证业务的服务质量, 这时, 路由协议不仅要在通信双方之间建立通路, 而且, 为了保证预约成功, 这条路由上的带宽资源必须大于实时业务的需要。

自组网路由协议多数以“最小跳数”作为路由选择的标准<sup>[2]</sup>, 如 AODV, DSR 等, 考虑路由上无线资源的协议还不多, 其中, Toh 等人提出的 ABR<sup>[3]</sup>(Associativeity-Based Routing for Ad hoc Mobile Networks)协议在路由选择时以节点承载连接数, 描述路由上资源的占用情况; Lee 和 Gerla 提出的 DLAR<sup>[4]</sup>(Dynamic Load Aware Routing)协议用路由上

每个中间节点等待发送的分组数描述节点负载, 该协议只考虑了节点自身的负载情况, 但是, 在 Ad hoc 网中, 由于无线媒体的广播特性, 一段链路上的可用资源并不仅由该链路上的负载决定。

针对上述问题, 本文根据无线通信的特点, 在普通 AODV<sup>[5]</sup>协议的基础上设计了保证实时业务服务质量的自组网 QoS 路由协议 Q-AODV。

为了方便后面的分析, 做如下假设: 网络中存在实时和数据两类业务, 前者有更高的优先级; 以资源预留的方式为实时业务提供有保证的服务(Guarenteed service), 对于数据业务, 提供尽力而为的服务(Best effort service); 采用有资源预留功能的 MAC 协议; 网络的规模不大。

### 2 实时业务 QoS 路由协议设计

#### 2.1 链路带宽的度量

保证实时业务的服务质量, 需要在源节点和目的节点之间建立一条资源充足的路由, “资源充足”对于实时业务而言就是所选的路由上的可用带宽, 不小于业务传输所需的最小带宽。

如果用  $p(l_1, l_2, \dots, l_n)$  表示一条由链路  $l_1, l_2, \dots, l_n$  组成的路径, 路径的剩余带宽  $RB_p$  和该路径上的各段链路的剩余可用带宽  $RB_{l_i}$  之间的关系可用下面的式子表示:

$$RB_p = \min\{RB_{l_i} \mid l_i \in p\} \quad (1)$$

保证实时业务 QoS 的路由协议, 就是要满足下面的要求:

$$BWreq < RB_p \quad (2)$$

其中,  $BWreq$  代表业务流需要的带宽。因此, 设计 Q-AODV, 首先要解决的就是链路带宽的度量。在无线环境下度量一段链路的可用带宽, 只考虑链路上承载的业务是不够的。图 1 是由 7 个节点组成的无线网络, 其中虚线连接的两个节点可以直接通信。节点  $D$  的相邻节点  $A$ 、 $B$  和  $C$  正在向其他节点发送数据, 它周围的带宽已经被占用了一部分, 如果节点  $A$  要经过  $D$  向  $E$  发送数据, 在链路  $AD$  上就可能发生拥塞, 然而此时这段链路并没有承载任何业务。

无线传输中, 节点与它周围一定范围内的所有节点共享频率资源, 当一定范围内的所有业务对带宽的需求超过网络的传输能力时, 就会发生拥塞, 在度量一段链路的可用带宽时, 不仅要考虑本节点的业务, 还要考虑节点周围的业务对资源的使用情况。我们定义节点  $D$  的“共享频率集”为  $I(D)$ ,  $I(D)$  是由满足下面条件的节点  $N$  组成的:

- (1)  $N$  正处于发送状态;
- (2)  $D$  处在节点  $N$  的直接通信范围内, 也就是说,  $D$  可以接收到  $N$  发送的数据。

在图 1 中, 节点  $A$ 、 $B$ 、 $C$  和  $E$  就处在  $D$  的“共享频率集”中。

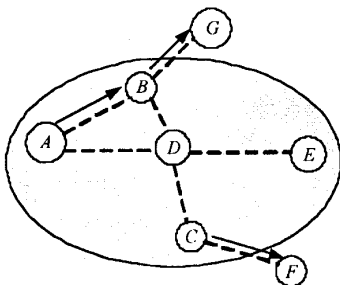


图 1 节点  $D$  的共享频率集

计算链路的带宽, 还要知道每个业务占用带宽的数量。

网络中运行数据和实时两类业务, 它们对带宽的占用方式不同。对实时业务而言, 在进行了资源预约的情况下, 从通信开始, 承载该业务的路由上有一部分带宽始终被占用, 直到业务结束。实时业务占用的带宽在通信过程中是恒定的。但对数据业务而言, 保证传输的“正确性”是第一位的, 在这个前提下, 允许一定的时延, 数据业务可以根据网络当

前的拥塞情况调整发送速率, 从而调整实际占用的带宽。换言之, 相对于数据业务而言, 实时业务有更高的优先级, 它的传输可以打断数据业务。因此, 从满足一个实时业务要求的角度来说, 计算链路的剩余带宽时, 可以先不考虑数据业务, 只考虑实时业务预约的带宽。剩余的可预约带宽可以用下面的式子得到:

$$RB_{SD} = BW - \sum_{M \in I(D)} RB_M - RB_D \quad (3)$$

其中  $RB_M$  是节点  $M$  为发送实时业务预约的带宽,  $M$  是节点  $D$  的“共享频率集中”的节点,  $RB_D$  表示节点  $D$  承载的实时业务预约的带宽。

如果一个节点周围的数据业务十分繁忙, 实时业务再进行预约, 会降低网络吞吐量。因此, 当在源节点和目的节点之间存在多条路由, 而这些路由上的剩余可预约资源都满足实时业务的要求时, 从兼顾网络整体效率的角度, 我们考虑路由上承载的数据业务, 选择一条数据业务负载轻的路由。数据业务的负载, 可以用节点和它的共享频率集中节点发送队列中的数据量之和描述。

## 2.2 链路状态参数的传播和维护

链路状态参数是 QoS 路由协议进行计算的基础。自组网中拓扑变化频繁, 链路状态信息是否能真实地反映网络当前的状况, 对协议性能有很大的影响, 必须及时地把由于节点移动造成的节点周围无线资源的变化情况在网络中传播; 另一方面, 自组网中的链路带宽有限, 控制信息的传播过于频繁, 会从整体上降低网络的性能。在链路状态信息的准确性和维护信息的开销之间存在折衷。

在没有底层反馈信息的情况下, 为了检测链路中断情况, 自组网路由协议设计了连通性管理机制。这一机制的工作过程是: 节点维护一个列表, 记录与自己相邻而且处于通信状态的节点, 这个列表称为“邻居列表”; 正在进行通信的节点每隔一定时间, 主动在自己直接通信范围内广播一个消息, 通知邻居节点自己的存在, 这个消息通常称为“Hello”; 收到该信息的节点延长相应邻居节点的生存时间; 节点周期性地检测邻居节点的有效性, 如果超时, 则认为该节点离开了原来的位置, 经过该节点的路由中断。

对这一机制进行扩展, 可以有效地传播链路状态信息。具体作法是: 在邻居列表中增加邻居节点承载的业务信息, 记录邻居节点对资源的占用情况; 在 Hello 信息中增加字段记录节点当前的业务量信息: 实时业务占用的总的带宽  $RB_S$  和队列的长度; 节点收到 Hello 消息, 更新邻居节点生存时间, 同时更新邻居节点的业务量信息; 节点建立业务信息表, 记录自己承载的实时业务占用的带宽以及自己的队列长度; 综合自己和所有邻居节点的业务信息, 节点就可以掌握自己

周围当前的无线资源使用情况。

改进的链路连通性管理机制,对 Hello 消息的内容进行扩充,通信开销并不大;节点在原来的邻居列表中增加业务量字段,处理的复杂度没有大的增加。

### 2.3 协议的描述

下面描述协议的工作过程:

当节点需要和另外一个节点传输实时业务而又没有有效路由时,节点广播路由请求分组,其中包含目的节点 IP 地址和序列号码、源节点的 IP 地址和序列号码、实时业务需要的带宽  $BW_{req}$ 。其中,节点序列号码的作用在于保证路由控制信息的有效性,防止路由环路的发生。

收到路由请求的节点计算当前的剩余可预约带宽  $RB_A$ ,与业务要求的带宽  $BW_{req}$  比较,如果  $RB_A$  大于  $BW_{req}$ ,则建立到源节点的路由,同时更新路由请求分组中记录的参数:路由的“跳数”加 1,把队列长度记录到路由请求分组中,然后广播更新后的 RREQ 分组;否则丢弃 RREQ 分组。考虑到节点维护的链路状态参数与实际情况会存在一定的误差,为了保证资源预约成功的概率,当节点的剩余可用带宽已经低于总带宽的 20% 时,则不再转发实时业务的路由请求,这样做可以减少控制开销。

目的节点收到 RREQ 不立即回复,等待一段时间,缓存来自同一个源节点的所有路由请求。由于在 RREQ 的传输过程中,已经考虑了路由上的可预约带宽,到达目的节点的路由经过的路由都可以满足业务对带宽的要求,在这种情况下,比较路由上的数据业务负载,一种简单的解决方式是把路由请求中记录的中间节点的累加起来,选择总的队列长度最小的路由,如果存在多条负载相等的路由,再比较路由的跳数,选择一条最短的路由,沿该路由向源节点发送路由应答消息 RREP。

图 2 描述了 QoS 路由的建立过程。从图中可以看到,在考虑节点的无线资源后,路由请求分组的传播绕过了带宽占用较多、无线频率资源剩余量不足的区域。而图中节点  $N_4$  判断自己的剩余可用带宽不足,在收到 RREQ 分组后,不转发它。

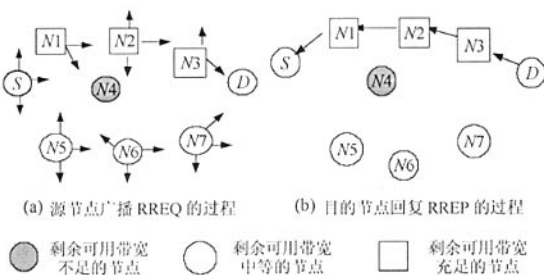
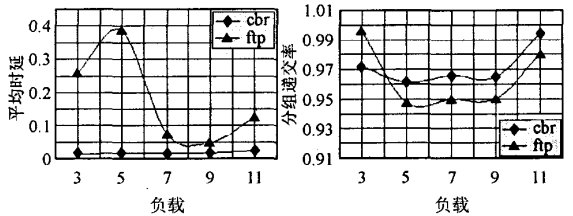


图 2 QoS 路由的建立过程

### 3 仿真结果和性能分析

为了对 Q-AODV 路由协议的性能进行分析,在 NS-2 平台上进行了仿真。仿真的网络环境和相关参数的设置如下:网络中有 35 个节点,随机地分布在  $1000 \times 800m$  的范围内,节点的通信范围是 250m,物理信道的带宽为 2Mb/s;以节点的最大移动速度和随机停顿时间两个参数控制网络拓扑变化程度,采用最大移动速度 2m/s,随机停顿时间 20 s;仿真时间 200s;以恒比特速率(CBR)业务模拟实时话音业务,分组长度 512 字节,每秒产生 50 个分组;以承载在 TCP 协议上的 FTP 业务模拟数据业务。在仿真中,对“分组递交率”和“平均端到端时延”进行了比较。分组递交率是目的节点正确接收的分组数和源节点发出的分组总数之比;平均端到端时延是全网总的分组传输时延和正确递交的分组总数之比。

首先对实时业务和数据业务在网络中的性能进行仿真,网络的实时和数据业务各占总负载的 50%,改变负载,比较了两类业务的平均端到端时延和分组递交率,图 3 是仿真结果。

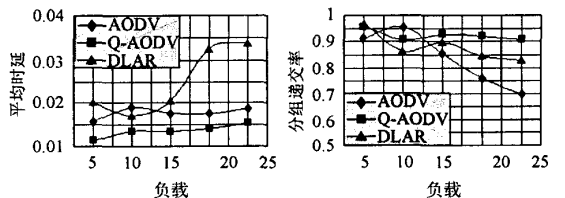


(a) 平均时延与负载的关系 (b) 分组递交率与负载的关系

图 3 Ftp 业务和 cbr 业务的性能比较

从图中可以看到,两类业务的分组递交率都保持在比较高的水平,协议在保证实时业务的服务质量的同时充分利用了网络资源,总的效率是比较高的;平均端到端时延来看,实时业务明显低于数据业务,随网络负载增大,数据业务的端到端时延波动很大,而实时业务的端到端时延没有明显的变化,实时业务的服务质量得到了保证。

在相同的网络环境下,对普通 AODV 协议、DLAR 协议和 Q-AODV 路由协议的性能做了比较。图 4 是仿真结果。



(a) 平均时延与负载的关系 (b) 分组递交率与负载的关系

图 4 3 种协议的性能比较

从分组递交率曲线看出,在网络负载比较轻的情况下,不会产生拥塞,3种协议差别不大;随着网络负载增加,Q-AODV的分组递交率明显好于AODV和DLAR,连接数超过15个后,Q-AODV的分组递交率仍然可以保持在85%以上,而普通的AODV协议的分组递交率明显下降,在网络中有25个CBR连接时,只有71%左右,DLAR协议性能介于Q-AODV和AODV之间。

在平均的端到端时延与负载的关系曲线中,随网络负载的增加,协议的分组平均时延增加,其中DLAR由于只考虑负载而没有考虑路由的长度,时延是最大的,Q-AODV协议以路由上的空间可用资源作为衡量路由优劣的主要标准,综合考虑负载和路由的长度,效果优于AODV和DLAR,协议的平均时延不超过18ms。

#### 4 结论

实时业务在网络中占有重要的位置,如何在自组网中保证实时业务的服务质量,是自组网设计面临的一个重要问题。本文设计了针对无线网络的特点,设计了具有保证实时业务QoS的自组网路由协议。仿真结果证明,该协议在分组递交率和分组的平均时延方面比原有协议有明显的改善。

以上讨论的拥塞控制是一种开环的控制方式;在通信进行之前,通过预留足够的资源,避免拥塞的发生。在业务运行中,由于节点的移动,无线资源的使用情况发生变化,相应的,满足业务要求的最佳路由也可能发生变化。对当前的业务而言,切换到最佳路由可以提高服务质量;另一方面,

最佳路由的动态选择增加网络的控制开销,如何在这两者之间找到合理的折中,是值得进一步研究的问题。

#### 参考文献

- [1] Macker J, Corson S. Mobile ad hoc networks(MANET). [http://www.ietf.org/html\\_charters/manet-charter.html](http://www.ietf.org/html_charters/manet-charter.html). IETF Working Group Charter, 1997.
- [2] Royer E M, Toh C K. A review of current routing protocols for Ad-Hoc mobile networks. *IEEE Personal Communications*, 1999, 6(2): 46 - 55.
- [3] Toh C K. Associativity based routing for Ad Hoc mobile networks. *Wireless Personal Communications Journal*, 1997, 4(2): 103 - 139.
- [4] Lee Sung-Ju, Gerla M. Dynamic load-aware routing in Ad Hoc networks. Proceedings of IEEE ICC'2001, Helsinki, Finland June 2001.
- [5] Perkins C E, Royer E M. Ad Hoc on demand distance vector (AODV) routing. IETF Internet draft, draft-ietf-manet-aodv-13.txt.

张霞: 女, 1979年生, 硕士生, 主要研究方向为移动自组网路由协议。

于宏毅: 男, 1963年生, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为阵列信号处理、第三代移动通信、移动自组网。

杨锦亚: 女, 1981年生, 硕士生, 主要研究方向为移动自组网。