

# 一种具有 QoS 约束的多播路由协议

张登银, 殷曼莉, 吴品

(南京邮电大学 计算机学院, 江苏 南京 210003)

**摘要:**针对多播应用中路由协议的 QoS 保障问题, 基于多播路由协议 ODMRP(On-Demand Multicast Routing Protocol)提出了一种新的具有 QoS 约束的路由协议 ODMRP-QoS。首先定义了一个依赖于带宽、时延、节点能量三个 QoS 性能指标的路由函数, 作为最佳路由选择的依据, 函数数值的最大值路径为最佳路由, 以此保证所选路径满足用户的 QoS 需求, 同时说明了函数参数的计算方法及约束条件; 然后给出了 ODMRP-QoS 路由建立、维护和更新的技术实现方案。网络仿真结果表明: ODMRP-QoS 协议性能明显优于原 ODMRP 协议, 达到了保证多播应用 QoS 的效果。

**关键词:** Ad Hoc 网络; 路由协议; 服务质量; 多播路由

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2011)04-0065-04

## A New ODMRP Protocol with QoS Constraints

ZHANG Deng-yin, YIN Man-li, WU Pin

(College of Computer, Nanjing University of Posts & Telecommunications, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** A new ODMRP-QoS protocol with QoS constraints was proposed to aim the the problem of the QoS ensurance in multicast application. A routing selecting function was defined, with the parameter such as bandwidth, delay and node remainder energy, then the protocol would select the route with the maximal function value. Therefore it could meet users' command of QoS. And the constraints and calculation formulas of function parameter were proposed. Then the technology realization about routing setup, maintain and update of the ODMRP-QoS was proposed. The simulation results show that the improved protocols have better performances than the old ones.

**Key words:** Ad Hoc networks; routing protocol; quality of service; multicast routing

### 0 引言

在 Ad Hoc<sup>[1,2]</sup>网络中, 视频会议、交互传递等应用对 QoS<sup>[3,4]</sup>有较高要求。目前常见的多播<sup>[5]</sup>路由协议 ODMRP, 包括在其基础上改进的协议 ODMRP-MPR<sup>[6]</sup>, P-ODMRP, DCMP<sup>[7]</sup>等, 并未考虑 QoS 保证问题。QODMRP 虽然增加了 QoS 约束, 但只是考虑了带宽因素, 并未给出实际的计算方法, 它所加入的 QoS 需求域也不利于提高 QoS 保障能力。

文中综合考虑时延、带宽<sup>[8]</sup>、跳数等因素, 定义一个路由选择函数, 并给出带宽、时延和节点剩余能量的计算方法以及参数的门限值, 引入多 QoS 约束机制。选路时选择路由选择函数的最大值为最佳路由, 基于这样的思想提出一种新的具有 QoS 约束的多播路由协议 ODMRP-QoS, 确保满足用户的 QoS 需求。

### 1 路由选择函数

#### 1.1 路由选择函数的定义

如果一个节点  $v_i$  收到多播 Join Query 报文, 就会根据 Join Query 报文和自身维护的表中信息进行判断, 若同时满足以下 QoS 约束条件<sup>[9,10]</sup>:

$$\{D_L \in D_{max}; B_L \geq B_{min}; NE_{rem} \geq NE_{min}\} \quad (1)$$

则称此节点为多播的可行转发节点。由可行转发节点构成的转发链路为可行链路。其中,  $D_{max}$  为多播组允许的最大时延,  $B_{min}$  为多播组需要的最小带宽,  $NE_{min}$  多播组要求的转发节点所具备的最小能量。

当满足 QoS 约束条件的节点分别加入转发组后, 由于是网状结构, 从源节点到接收节点有可能形成多条冗余路径, 如何从中选择一条最佳路径很关键。文中综合考虑时延、带宽、跳数等因素, 定义路由选择函数  $P$  为:

$$P = \alpha \times \frac{D_{max} - D_L}{D_{max}} + \beta \times \frac{B_L - B_{min}}{B_{min}} + \gamma \times \frac{1}{Hop_{count}} \quad (2)$$

其中,  $\alpha, \beta, \gamma$  为权值系数, 取值在  $[0, 1]$  之间。 $D_{max}$  为多播组允许的最大时延,  $D_L$  为一链路时延;  $B_{min}$

收稿日期: 2010-08-16; 修回日期: 2010-11-25

基金项目: 国家 863 科技支撑计划(2010AA701202); 瑞典-亚洲国际合作项目(348-2008-6212); 留学回国人员项目(NJ209002)

作者简介: 张登银(1964-), 男, 博士, 研究员, 博士生导师, CCF 会员, 研究方向为信号与信息处理、IP 网络技术和信息安全。

为多播组允许的最小带宽,  $B_L$  为链路带宽;  $Hop_{count}$  是数据分组所经过的路由跳数, 其值对应于 Join Query 报文中的“跳数”域。

根据路由选择函数定义, 当链路时延越小、带宽越大、跳数越少时,  $P$  值越大, 所以选择  $P$  值最大的路由作为最佳路由。

### 1.2 QoS 参数的计算

#### (1) 链路时延。

在无线传播信道模型中, 数据分组沿链路  $L(s, d)$  从源节点  $s$  发送到目的节点  $d$ , 接收该数据分组的链路时延为:

$$D_L = \sum_i^d (T_i + T_f(v_i)) \quad (3)$$

其中  $T_i$  为数据分组的传输时间,  $T_f(v_i)$  为链路  $L(s, d)$  中节点  $v_i$  处理数据分组的时间, 计算公式为:

$$T_i = \frac{M_{packet}}{B} \quad (4)$$

$$T_f(v_i) = T_{wait}(v_i) + \frac{M_{packet}}{M} \quad (5)$$

其中  $M_{packet}$  为数据分组的大小,  $B$  为节点  $v_i$  的可用带宽,  $T_{wait}(v_i)$  为数据分组在节点  $v_i$  的队列中等待的时间,  $M$  为一个节点单位时间 (ms) 内转发的分组长度。

#### (2) 链路可用带宽。

节点所在信道的空闲时间反映了节点的可用带宽<sup>[11]</sup>, 节点  $v_i$  的可用带宽  $B_{ava}(v_i)$  可用以下公式来估算。

$$B_{ava}(v_i) = B(v_i) * T_{idle} / T_{int} \quad (6)$$

其中,  $B(v_i)$  是  $v_i$  的最大传输带宽,  $T_{int}$  是观察的间隔时间,  $T_{idle}$  是在  $T_{int}$  时间内信道的空闲时间,  $T_{int}$  时间大小一般设定为 1.0 ~ 5.0 秒。

在单位间隔内, 从信道忙的状态开始计时, 直到信道空闲, 这段时间就是要求的  $T_{busy}$ 。于是,  $T_{idle}$  可表示为:

$$T_{idle} = T_{int} - T_{busy} \quad (7)$$

采用长度为 5 的滑动窗口, 窗口中的值始终是最近 5 个单位时间测量的结果, 对这 5 个时刻的值用不同的权值  $w[t]$  加起来求得当前时刻的局部信息, 即可求得节点  $v_i$  在当前时刻  $t$  的可用带宽  $B$ :

$$B = B(v_i) * \sum_{t=0}^4 (w[t] * T_{idle}[t]) \quad (8)$$

求出链路中每个节点当前的可用带宽  $B$  后, 则整个链路  $L(s, d)$  的可用带宽为:

$$B_L = \min\{B(s), B(v_1) \cdots B(v_m), B(d)\} \quad (9)$$

#### (3) 节点剩余能量。

在 Ad Hoc 网络中, 节点的电池能量是有限的。设节点的初始能量  $NE_{ini}$ , 则节点的剩余能量  $NE_{rem}$  为:

$$NE_{rem} = NE_{ini} - E_{con} \quad (10)$$

其中  $E_{con}$  为节点已消耗能量, 计算公式为:

$$E_{con} = (M_{packet} * E_p) * n \quad (11)$$

其中,  $E_p$  为节点转发单位长度 (字节) 报文所消耗的能量,  $M_{packet}$  为数据报文的长度,  $n$  为转发的报文个数。

## 2 一种具有 QoS 约束的多播路由协议

### 2.1 ODMRP-QoS 协议数据结构

在 ODMRP-QoS 协议中, 增加了节点状态表, 并对请求报文和应答报文中字段进行了修改, 而路由表和消息缓存表则与 ODMRP 协议类似。

#### (1) 节点状态表。

节点状态表用来存储节点的带宽、能量等 QoS 约束数值。节点状态表结构, 如图 1 所示。其中“节点可用带宽”为该节点当前的实际可用带宽; “链路可用带宽”指从源节点到该节点的链路带宽; “节点初始能量”为规定能量范围内的一个随机值; “节点剩余能量”由公式(10)计算所得; “转发的报文数”记录节点已经转发的报文数。

节点可用带宽	链路可用带宽
节点初始能量	节点剩余能量
转发报文数	

图 1 节点状态表结构

#### (2) 控制分组。

连接请求报文 (Join Query) 结构如图 2 所示, 利用原报文结构中的保留字段添加三个新字段: 最大时延、最小带宽、最小能量。报文中关键字段的含义如下:

类型(8bit)	跳数(8bit)	TTL(8bit)	保留字段(8bit)
报文序列号 (32bit)			
源节点地址 (32bit)			
目的节点地址 [1] (32bit)			
.....			
目的节点地址 [n] (32bit)			
最大时延 (32bit) (ODMRP-QoS 增加字段)			
最小带宽 (32bit) (ODMRP-QoS 增加字段)			
最小能量 (32bit) (ODMRP-QoS 增加字段)			
前一跳节点地址 (32bit)			

图 2 连接请求报文结构

① 类型: 为报文类型标志。设置为 0 时, 表示报文为 Join Query 报文。

② TTL: 在 ODMRP 协议中, 用 TTL (Time to live) 值来限制数据分组转发次数, 数据分组每转发一次, 就将 TTL 的值减 1, 一旦某个数据分组的转发次数剩余为 0, 就将它丢弃。

③ 目的节点地址 [1...n]: 多播组中接收节点的

IP 地址。

④ 最大时延:为规定允许的最大延迟,填写  $D_{max}$  的值。

⑤ 最小带宽:为规定的传输数据所需要的链路最小带宽,填写  $B_{min}$  的值。

⑥ 最小能量:为规定的转发节点具备的最小能量,填写  $NE_{min}$  的值。

连接应答报文 (Join Reply) 中关键字段的含义如下:

- a. 类型:设置为 1,为 Join Reply 报文。
- b. R:表示应答请求标记,当要求传送应答报文时设置。
- c. F:多播组中转发组成员标记,当这一报文是多播组转发组成员时,设置该标志。

### 2.2 ODMRP-QoS 协议路由过程

从某一源节点到某一目的节点有可能存在多条路径,所有的源节点和目的节点组成一个多播网。源节点根据上述路由选择函数选择最佳路由,路由建立过程用伪代码描述如下。

```

RouteUpdate(data) //路由更新
When 周期更新
if 源节点发送报文却不知道路径
创建 Join Query 报文并洪泛转发
/* ----- */
ProcessMsg(Msg) //报文处理
{If(报文重复)
  {丢弃}
Else
  {将报文加入消息缓存}
If (IP 地址不匹配)
  {广播该报文,修改“前一跳地址”}
Else {该节点为接受节点,产生 Join Reply 报文,并广播给其邻节点}
}
/* ----- */
NodeProcessMsg(Msg) //节点消息处理
When 收到 Join Query 报文
由公式(1)检查该节点是否满足 QoS 约束条件
if(若有一项不满足)
  丢弃
Else if {ProcessMsg(Msg)}
When(收到 Join Reply 报文)
If(不满足节点剩余能量条件) 丢弃
Else {
  If(IP 地址不匹配) 丢弃
  Else 标识为转发节点,向邻节点广播 Join Reply 报文
  If(该节点是源节点)路由由建立完成
  根据公式(2)选择最佳路由
  
```

多播组的源节点周期性地发送控制消息来更新路由表,对多播传输结构进行维护。一个源节点要想离开多播组,只要停止发送 Join Query 报文即可;而接收节点只要不再接收 Join Query 报文,即可离开多播组。

## 3 协议仿真结果分析

### 3.1 仿真参数设置

文中使用 NS2 网络模拟器进行仿真分析。在仿真环境中,节点随机分布,其中随机选取 2 个多播组源节点,6 个目的节点。同时,  $D_{max}$  设定为 100ms,  $B_{min}$  设定为 1.5Mbits,  $NE_{min}$  设定为 0.5J, 节点初始能量<sup>[12]</sup> 8~10J。对于 ODMRP 和 ODMRP-QoS 两种路由协议的性能仿真分析,包括分组投递率、端到端平均时延、路由开销三个性能指标。仿真环境的详细参数设置,如表 1 所示。

表 1 仿真环境的参数设置

场景大小	1200m×1200m
节点位置分布	随机分布
数据发送速率	3 数据包/秒
移动模型	所有节点随机移动
节点最大速度	0、10、20、30、40、50m/s
包大小	512bytes
节点天线	单位增益全向天线,离地 1.5 米
传播模型	TwoRayGround
MAC 协议	IEEE802.11
数据流	CBR
仿真时间	200s

### 3.2 仿真结果分析

#### (1) 分组投递率。

分组投递率即所有目标节点接收到的分组总数目

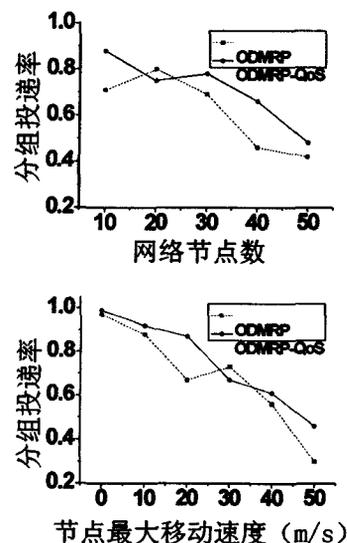


图 3 分组投递率

与所有源节点发送分组总数目的比值。该指标表明路由由协议的有效性和适应网络变化的能力。

从图 3 中可以看出,随着网络节点个数的增加或者节点移动速度的加快,两种协议的分组投递率都严重下降,因为在网络负载重且转发节点较多时,大量无效、冗余数据报文,会使共享带宽的冲突增加,网络的传输效率降低且性能会下降很多,而节点移动速度的加快也会使协议性能下降。ODMRP-QoS 的分组投递率要好于 ODMRP 协议,因为加入 QoS 约束之后,只有满足条件的节点才可加入转发组,这样多播网中的路径都是可行的,不会出现路由断开或数据严重丢失的现象,保证了数据分组的传递和接收。

(2) 端到端平均时延。

端到端时延包含发送的所有时延,如发送缓冲器等待时间、接口队列排队时间、处理转发时间等。端到端平均时延是所有数据包发送时延的平均值。

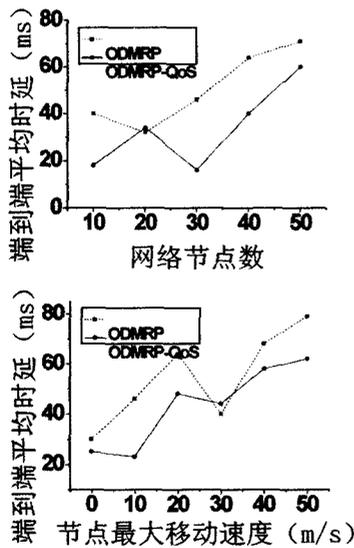


图 4 端到端平均时延

从图 4 中可以看出,随着网络节点个数的增加或者节点移动速度的加快,两种协议的端到端平均时延都有所增加,这是因为网络拓扑变得复杂,协议性能有所下降。ODMRP-QoS 的端到端平均时延要低于 ODMRP 协议,因为只有满足 QoS 约束条件的节点才可加入转发组,减少了数据转发过程中因重寻路由造成的时延。虽然节点在判断约束条件时增加一些时间,但总体来看,改进协议 ODMRP-QoS 的时延还是好于 ODMRP 协议。

(3) 路由开销。

路由开销即每个到达目的节点的数据分组所需传输的路由分组的总数的平均值,用于衡量协议的效率和可扩展性。

从图 5 中可以看出,随着网络节点个数的增加或者节点移动速度的加快,两种协议的端到端平均时延

都有所增加,主要因为网络拓扑变得复杂,协议性能有所下降。改进协议 ODMRP-QoS 的路由开销稍好于 ODMRP 协议,虽然在改进协议中增加了节点状态表,且协议的分组长度有所变化,会增加一定的开销,但是在加入 QoS 约束条件后,不满足条件的节点被丢弃,这样可以减少许多维护的节点,从而大大减少了数据传输所需的路由分组个数。总体看来,改进协议的路由开销要好于原协议。

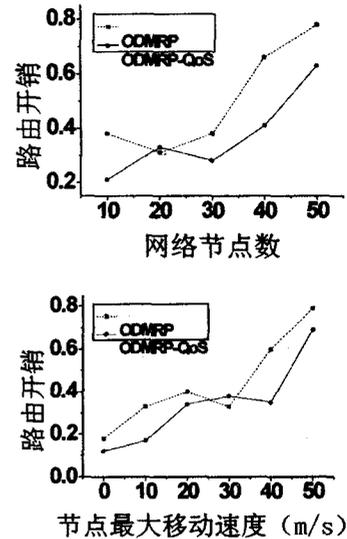


图 5 路由开销

4 结束语

在对 ODMRP 协议进行深入分析基础上,引入多 QoS 约束机制,通过在协议中加入带宽、时延和节点剩余能量等约束条件对 ODMRP 协议进行了改进,并使用 NS2 网络模拟器进行仿真。仿真结果表明,改进协议 ODMRP-QoS 在分组投递率、端到端平均时延、路由开销等性能方面都要好于 ODMRP 协议,说明协议的改进取得了很好的效果。但同时应注意到,改进协议存在一些不足,如在引入时延、节点剩余能量等约束条件时,比较理想化,和实际应用环境中有一定差距。所以,在今后要加强对传输时延的变化情况和节点的节能技术等方面的研究。

参考文献:

- [1] 林本强,唐依珠.基于蚁群算法的移动自适应网 QoS 路由算法[J].计算机技术与发展,2009,19(6):9-12.
- [2] 扈鹏,刘元安,马晓雷. Ad Hoc 网络中按需路由协议的动态广播算法[J].北京邮电大学学报,2009,32(6):53-56.
- [3] 吴家皋,杨音颖,陈益新.一种新的 QoS 覆盖多播路由协议的研究[J].计算机学报,2006,29(11):1937-1947.
- [4] 王勇智,刘利强.下一代因特网 QoS 路由机制的研究[J].

(下转第 72 页)

能完全恢复,而低优先级数据恢复比约为 87%,所有原始数据的平均译码成功率约为 90%;随着编码开销继续增大,高优先级数据能保持完全恢复,而低优先级数据的平均译码成功率以及所有原始数据的平均译码成功率缓慢上升。

## 5 结束语

文中提出了一种具有不等差错保护能力的喷泉码 UEP-LT,使得在丢包网络传输中,优先级比较高的数据具有更高等级的保护和更短的恢复时间。在信道状况比较差的情况下,UEP-LT 在恢复高优先级数据方面保持稳定的译码性能,同时没有牺牲低优先级数据的译码性能,并且使得总体译码性能有所提升。

UEP-LT 是通过改变标准 LT 码的随机编码结构实现的,虽然在对高优先级数据的保护方面表现出了很好的性能,但却是以牺牲编码复杂度为代价的。标准 LT 码在每次运行试验中的译码成功率波动比较大;相对于标准 LT 码,UEP-LT 在单次运行试验中的译码成功率更加接近于平均值。由于 LT 码存在一定的错误平层效应<sup>[11-13]</sup>,使得在编码数据包达到一定个数(接近于原始数据包的个数)时,无论接收再多的编码数据包也无法恢复出剩余的数据;而在 LT 编码前级联一个预编码过程得到 Raptor 码,可以很好地消除错误平层效应。因此,尝试将 Raptor 码与不等差错保护相结合是今后进一步的研究方向。

### 参考文献:

[1] Byers J W, Luby M, Mitzenmacher M, et al. A digital fountain approach to reliable distribution of bulk data[C]//Proceedings of ACM Sigcomm 98. Vancouver, Canada:[s. n.], 1998.

[2] Mackay D J C. Fountain Codes[J]. IEEE Proceedings Communications, 2005, 152(6): 1062-1068.

[3] 严权锋. 基于 MPEG-4 的综合抗误码方法[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(4): 168-173.

[4] Albanese A, Blomer J, Edmonds J, et al. Priority encoding transmission[J]. IEEE Trans. Information Theory, 1996, 42: 1737-1744.

[5] 朱宏杰. 喷泉码编译码技术与应用研究[D]. 北京:清华大学, 2009.

[6] Chang S K, Yang K C, Wang J S. Unequal-Protected LT Code for Layered Video Streaming[C]//In: Proc. of IEEE Int. Conf. on Communications, ICC'08. Beijing, China:[s. n.], 2008: 500-504.

[7] Kozat U C, Ramprasad S A. Unequal Error Protection Rateless Codes For Scalable Information Delivery In Mobile Network[C]//IEEE INFOCOM. Anchorage, AK:[s. n.], 2007: 2316-2320.

[8] 慕建君, 焦晓鹏, 曹训志. 数字喷泉码及其应用的研究进展与展望[J]. 电子学报, 2009, 37(7): 1571-1577.

[9] Luby M. LT Codes[C]//IEEE Proceedings of Annual Symposium on Foundations of Computer Science (FOCS). [s. l.]: [s. n.], 2002: 271-280.

[10] Shokrollahi A. Raptor Codes[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2006, 52(6): 2551-2567.

[11] 慕建君, 路成业, 王新梅. 关于纠删码的研究与进展[J]. 电子与信息学报, 2002, 24(9): 1276-1281.

[12] 慕建君. 低密度纠删码和网格图复杂度的研究[D]. 西安:西安电子科技大学, 2002.

[13] 孙 蓉. 删除信道和流星突发信道中的信道编码研究[D]. 西安:西安电子科技大学, 2008.

(上接第 68 页)

计算机技术与发展, 2006, 16(4): 105-118.

[5] 刘思建, 陈元琰, 田立伟. 组播策略的应用研究[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(8): 197-204.

[6] Zhao Yao, Xu Leiming, Shi Meilin. On-demand multicast routing protocol with multipoint relay (ODMRP-MPR) in mobile ad-hoc network[J]. Communication Technology Proceedings, 2003, 2: 1295-1300.

[7] Zhu Zhenzhou, Kalnis P, Bakiras S. DCMP: A Distributed Cycle Minimization Protocol for Peer-to-Peer Networks[J]. Parallel and Distributed Systems, IEEE Transactions on, 2008, 19(3): 363-377.

[8] Narsimha G, Reddy A V, Kumar B S. QOS Multicast Routing Based on Bandwidth and Resource Availability in Mobile Ad-hoc Networks[C]//Networking, 2008. ICN 2008. Seventh International Conference. [s. l.]: [s. n.], 2008: 24-29.

[9] Narsimha G, Venugopal R. QOS multicast routing based on bandwidth and resource availability in mobile ad hoc networks [C]//Proceedings - 7th International Conference on Networking, ICN 2008. [s. l.]: [s. n.], 2008: 24-29.

[10] 潘 耘, 王行刚. 求解带度约束多播路由问题的启发式遗传算法[J]. 通信学报, 2007, 28(1): 96-102.

[11] 黄佳庆, 杨宗凯, 杜 旭. 基于可用带宽满足时延和时延差别约束的实时多播路由算法[J]. 电子学报, 2004, 32(7): 1144-1147.

[12] Qadeer M A, Sharma V. Differentiated services with multiple random early detection algorithm using ns2 simulator[C]//Computer Science and Information Technology, 2009. ICCSIT 2009. 2nd IEEE International Conference. [s. l.]: [s. n.], 2009: 144-148.