

# 基于 MANET 的 QoS 多播路由协议研究<sup>\*</sup>

汪祥莉 李腊元

(武汉理工大学计算机科学与技术学院 武汉 430063)

**摘要** 在自组织网络上运行多媒体应用,正在成为随遇计算和随遇通信环境中的一个完整部分,同时提出了对 QoS 和多播的需求,如何设计有效的 QoS 多播路由协议已经成为当前研究的热点问题。本文介绍了自组网 QoS 多播路由协议研究方面的一些最新进展,并对该研究所提出的路由算法进行了比较和分析,有助于进一步改进和完善自组网的 QoS 多播路由技术。

**关键词** 自组网,多播路由,QoS,路由协议

## Research of QoS Multicasting Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Network

WANG Xiang-Li LI La-Yuan

(School of Computer Science and Technology, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063)

**Abstract** To develop multimedia transactions in MANET is becoming an integrated part in the environment of ubiquitous computing and ubiquitous communication, so the demands of quality of service(QoS) and multicast support are put forward. It has become a focus issue that how to design effective QoS multicast routing protocols. The paper firstly introduces some latest research about QoS multicast routing protocols for MANET. Then it compares and analyzes some main QoS multicast routing algorithms, which is helpful to further improve and perfect routing technologies for MANET.

**Keywords** Ad Hoc network, Multicast routing, Quality of Service(QoS), Routing protocol

## 1 引言

MANET(mobile Ad Hoc network,自组织网络)<sup>[1,2]</sup>是由一组带有无线收发装置的移动终端组成的一个多跳的临时性自治系统。每个移动终端兼备路由器和主机两种功能。自组网具有以下共性:(1)分布式操作;(2)带宽有限、链路容量易变;(3)移动性与网络拓扑动态性;(4)设备限制;(5)物理安全有限等。自组网可以满足特殊场合的需要,如数字化战场、灾难营救、野外科考、偏远矿山作业以及临时会议,等等。但是随着信息技术的发展、多媒体应用的开展、网络规模的增加和硬件技术的进步,这就要求自组网能够提供综合业务服务,并为各种业务提供服务质量保障,即自组网对 QoS 的支持成为一个较突出的问题。

服务质量<sup>[1,2]</sup>(QoS)是指网络为用户提供的一组可以测量的预定义的服务参数,包括时延、时延抖动、带宽、分组丢失率、功率消耗和服务覆盖范围,等等。QoS 参数按照特性可以划分为:可加性参数、可乘性参数和最小化参数。自组网提供 QoS 支持所面临困难有:(1)不可能预测的链路特性;(2)隐含终端问题;(3)节点移动;(4)路由维护;(5)有限的电池寿命;(6)安全;等等。那么,为自组网提供 QoS 通常采用两个折中原理:软 QoS 和 QoS 自适应。QoS 路由是一种基于网络的可用资源和业务流的 QoS 要求来选择路径的路由机制或一种包含各种 QoS 参数的动态路由协议。相关文献<sup>[3]</sup>已经证明了,当路由选择的约束条件包含两个或两个以上的可加性参数或者包括可加性参数和/或可乘性参数的组合时,这种 QoS

路由的选择是 NPC 问题。在这种情况下,需要采用启发式算法来寻求次优化解。近年来,不少国内外学者已经提出了一些关于自组网的 QoS 路由协议。Chen S.<sup>[4]</sup>提出的 DQoS 是一种基于不精确状态信息的分布式 QoS 路由协议,在规模较小的情况下,能够很好的完成 QoS 路由任务;Sivakumar R.<sup>[5]</sup>提出的一种核心提取的分布式 QoS 路由协议 CEDAR,将链路状态信息更新和 QoS 路由计算局限在网络核心,减少 QoS 路由协议开销;Toh CK.<sup>[6]</sup>提出的 ABGR 有效地限制了探测信息的扩散范围,保证了基于带宽和电能受限的 QoS 请求;LS-QoS<sup>[7]</sup>协议采用链路的平均错误分组率和生存时间两种指标作为链路权值来进行路由选择,保证了所寻路由的稳定性和可靠性。但是以上的这些路由协议都不支持多播功能。

多播<sup>[1,2]</sup>(Multicasting)是一种一对多或多对多的分组传输方式。它能够最优化地利用网络资源,很好地适应 MANET 带宽受限和能量受限的环境,提高网络的整体性能。本文下面将介绍几种关于 MANET 的 QoS 多播路由协议,并对一些性能指标进行比较和分析,最后给出结论。

## 2 基于自组织网络的 QoS 多播路由协议

### 2.1 HQMRP<sup>[8]</sup>

HQMRP(Hierarchical QoS Multicast Routing Protocol)是为移动自组织网络设计的一种分级 QoS 多播路由协议。该协议基于簇结构。每个节点只需要维护本簇内的多播路由信息或/和其他簇的概要信息,而不需要维护整个网络的状态

<sup>\*</sup>基金项目:国家自然科学基金资助项目(60172035,90304018)。汪祥莉 讲师,博士生,主要研究领域为高性能网络技术与路由算法。李腊元 教授,博士生导师,主要研究领域为高性能网络技术与通信协议。

信息。此外,该协议还允许许多播组(簇)成员动态地加入/退出,并且簇内每个节点都支持多种 QoS 约束。

在 HQMRP 中,簇内每个节点定期地检测其输出链路上的延时,并向簇内所有他节点广播该信息,其他节点在收到最新信息后,重新计算簇内路由表。每个网桥节点也是采用类似的方式处理。路由数据库维护着网络的主要拓扑结构信息,这些信息只有在拓扑结构发生变化时,才会发生更新,如链路(或节点)失效,或某个节点加入/退出多播树。

HQMRP 采用远程签署的方法来管理节点的移动问题,采用“接收者发起”的选择洪泛(SF)算法,建立一个新节点与  $T(s, M)$  之间的多播会话( $s$  为信源,  $M$  为信宿)。洪泛数据的同时进行资源预留,并在经过一段时间未被使用后被释。为了克服路由环问题,每个 SF 消息对应唯一的(多播,节点)对,以保证得到具有最小延迟的优化路由。

协议分析:

(1)该协议的 QoS 约束问题涉及到延迟、带宽和信息包丢失率等,主要是延时和带宽;

(2)通信开销不大,但协议要满足分级 QoS 多播树的生成,需要消耗一定的能源并占用一定的存储空间;

(3)估计从源节点到目的节点的延迟和可用带宽,有一定的难度。

## 2.2 AQM<sup>[9]</sup>

AQM(Ad Hoc QoS Multicasting)协议通过管理 QoS 来提高多播效率。该协议是通过追踪某节点的所有邻接链路在已经存在的会话过程中的资源使用情况,从而获得剩余资源的可用性信息,并在下次会话开始时,广播该信息。当某节点欲加入该会话过程并提出一定的 QoS 需求时,可以依据这些信息判断是否能够加入并选择最佳路由。AQM 协议包括三部分:

(1)会话过程的初始化和关闭:任何节点都可以通过广播初始化分组发起一次会话。初始化分组会在当前状态满足 QoS 需求时,继续前传,否则,丢弃该分组以避免不必要的洪泛。每个节点维护两张表,一是有效会话表,它保存本次会话的基本信息,如会话标识与应用类型等;二是成员关系表,它保存前驱节点的状态,以及从初始节点经由前驱节点到达本节点的这条路径的 QoS 级别等。最后由该初始节点发出会话关闭分组,收到该分组的节点就清除表,并释放会话过程中被分配的资源。

(2)成员的管理:若节点欲加入会话过程中,则可以广播请求加入分组,前驱节点权衡请求分组的跳数信息和当前的资源使用情况,以判断是否继续广播该分组,依此类推,直至这个分组到达会话成员。然后会话节点返回应答分组,选择最佳路径,并通过先前的中间节点逆向转发,以实现资源预留。

(3)邻居关系的维护:每个节点维护一张邻居关系表,保存着它的邻居节点定期发来的问候消息。通过这个表可以计算出,在多播会话过程中,存在邻居关系的所有邻接链路已经被分配的总带宽,这有助于节点判断是否有足够的剩余带宽来满足新节点的加入。

协议分析:

(1)该协议对存在直接邻居关系的链路计算剩余带宽,从而判断是否有足够的资源满足新节点的 QoS,这种方法对于检测带宽的可用性非常有效;

(2)该协议采用平面结构,并结合主动和按需路由来管理

会话过程和新节点的加入;

(3)该协议的 QoS 约束主要涉及带宽、分组丢失率和延时;

(4)AQM 协议要注意两点:一是要求每个节点保存的 QoS 数据必须是正确的、最新的,如失效邻居的处理、按需数据的交换和 QoS 状态的改变;二是要考虑隐终端的问题。

## 2.3 HVDB<sup>[10]</sup>

HVDB(Hypercube-based Virtual Dynamic Backbone)是在  $n$  维超立方体的基础上提出的一种虚拟动态骨干网模型。该模型保留了超立方体的高容错性、小直径、规则性和对称性等优点,从而可以满足大规模自组网中高可用性和良好的负载均衡等 QoS 需求。该模型的整体结构可以抽象成三层,从低层往高层依次为:

(1)移动节点层:该层采用移动预测和基于定位的群集技术将移动节点分成若干较为稳定的簇,每个簇通过群集算法选择一个簇首,它负责转发数据分组、簇间通信和管理簇内成员。

(2)超立方体层:该层是由多个  $k$  维超立方体构成,其节点与簇首一一对应。由于可能存在不完全超立方体,故两个逻辑上相邻的超立方体节点可能在物理上是由多跳链路构成。

(3)网格层:若把每个  $k$  维超立方体看成该层的一个节点,那么该层逻辑上就是一个二维网格。由于可能存在不完全网格,故两个逻辑上相邻的网格节点可能存在多跳物理链路。

此外, HVDB 可以通过 GPS 等获取定位信息,并利用簇首自身较强的计算与通信能力,以实现其现实性和稳定性的特点。

协议分析:

(1)该模型采用分层结构,适用于大规模移动 Ad Hoc 网络;

(2)QoS 约束问题主要涉及可用性和负载均衡;

(3)利用移动预测,有效减少了连接建立时间和控制费用,并提高寻路成功率;

(4)需要 GPS 等硬件的支持,消耗一定的电池能量。

## 2.4 AM-SRL<sup>[11]</sup>

AM-SRL(Adaptive Multicast operation of Supernode-based Reverse Labeling algorithm)通过使用 SRL 的虚路由发现算法自适应地建立按需多播网络。AM-SRL 继承了 SRL 中的超级节点的概念,这种节点类似于在其他协议中提到的核心节点或簇首节点。SRL 使用分级结构,它将网络中的所有节点分成两类:超级节点和从属节点,一个从属节点距一个超级节点只有一跳的距离并且它只属于一个超级节点,所有节点使用一种特殊的分布式方法交换局部信息。

SRL 是一个按需的单播 QoS 路由协议,它主要包括三个部分的内容:虚路由的发现、反向链路标记和动态路由修复。在 SRL 中,虚路由被定义为一个由超级节点 IP 地址组成的序列。源节点 S 通过广播路由请求包来发起虚路由的发现过程,收到请求包的从属节点将它发送到另一个超级节点,每个收到请求包的超级节点负责更新该请求包,并且将自己的 IP 地址加入这个虚路由以确保形成路由是无环的,最后请求包到达目的节点 D。SRL 通过反向链路标记算法来建立鲁棒性连接和提供 QoS 服务。

AM-SRL 对 SRL 结构进行了多播扩展,进一步利用了

SRL的分级结构,增强了超级节点的功能,假定它能够提供更类似DNS(Domain Name Service)的映射服务。AM-SRL的自适应的特点包括:自适应的虚路由选择,自适应的反向路由建立以及自适应的网格形成。

协议分析:

- (1)采用自适应网络拓扑提供鲁棒性和可靠的多播服务,但多条路由的维护增加节点负载;
- (2)分级结构和超级节点的应用提高了协议的有效性;
- (3)AM-SRL能够支持单播和多播两种服务。

## 2.5 ODQMM<sup>[12]</sup>

ODQMM(On-Demand QoS Multicast for MANETs)是在MAODV基础上发展起来的按需多播路由协议,协议通过带宽预留来提供QoS服务。

ODQMM协议提供两种预留方式:FF(fixed-filter)和SB(shared-Bandwidth filter)。

FF适用于精确的资源预留,被预留的资源不能被同一过程中的其它发送者所共享,例如视频流。关于多重FF预留可表示为:FF( $S_1\{BW_1\}, S_2\{BW_2\}, \dots, S_n\{BW_n\}$ ),这里 $S_i$ 是请求FF预留方式的数据源, $BW_i$ 是为 $S_i$ 预留的带宽。对于一个采用FF预留方式的多播组的总的预留带宽是每个请求FF预留的数据源预留带宽的总和,即 $\sum_i BW_i, i=1, 2, \dots, n$ 。

SB适用于在同一过程中所有发送者共享一个预留资源的应用,例如电话会议。多重SB预留可以表示为:SB( $S_1\{BW_1\}, S_2\{BW_2\}, \dots, S_n\{BW_n\}$ ),此处 $S_i$ 是请求SB预留方式的数据节点, $BW_i$ 是为 $S_i$ 预留的带宽。在SB预留方式下的总的预留带宽是取所有请求以SB方式预留的带宽中的最大值,即 $\max(BW_1, BW_2, \dots, BW_n)$ 。

在ODQMM协议中,每个节点需要维护四个表:路由表,多播路由表,组头表以及资源预留表。ODQMM的操作过程中需要用到六个控制消息:①RREQ(Route Request)消息:此消息包含六个标记,即J, F, S, N, Q和R标记,节点使用它来搜索到达多播组的路由。②RREP(Route Reply)消息:多播树上的节点产生RREP消息来响应RREQ消息。③MACT(Multicast Activation)消息:最新加入多播组的节点沿着选择的路由发送这个消息给多播树。④GRPH(Group Hello)消息:每个多播组的组头节点通过广播这个消息来更新网络节点。⑤QoS-Error消息:这个消息包含三个标记,U, M和R标记,它被用来指示带宽请求未被满足或加入请求被拒绝。⑥Keep Alive消息:源节点利用它来保持资源的预留。

协议分析:

- (1)它是一个集成了资源预留的按需多播路由协议,支持单播和多播两种方式;
- (2)提供了FF和SB两种资源预留方式,在多媒体通信方面具有很好的适应性;
- (3)ODQMM假设带宽信息能够直接从网络底层获得,但是这个假设实现起来是非常困难的。

## 2.6 QMRP<sup>[13]</sup>

QMRP(Multicast Routing Protocol with QoS Constraints)是以带宽、延时、节点移动速度和节点电能剩余量为约束的QoS多播路由协议。

在本协议中,多播树的形成过程就是各目的节点加入多播树的渐近过程,并以源节点s为初始多播树。对于网络中的任意一个多播业务,在每次构造多播树T的过程中,网络中的任一节点至多会产生并发送一个探测帧。因为探测帧中

仅记录最佳路径,所以任何一个到达目的节点u但未被丢弃的探测帧都记录了一条从源节点到目的节点的可行路径。资源预留消息及确认应答消息通过探测帧所记录的路径信息来发现路由路径。当节点s收到资源预留消息或确认应答消息时,目的节点就成功地加入了多播树。另外,在协议中,s会设定一时间上限,用于处理消息丢失或找不到可行路径等问题。

协议分析:

(1)采用本地广播路由消息(探测帧)的方法,计算出了在移动自组网环境下、具有NP难度的、在多个约束条件下、代价最小多播路由问题的近似解;

(2)采用QMRP算法时,网络节点只需维持本地链路的状态信息,而不必了解整个网络的拓扑和网络中各链路的精确状态;

(3)具有以下优点:简单性、动态性、重组路由功能、支持多播通信业务、能有效地提高网络的利用率或降低多播树的费用,在网络拓扑改变不太快的Ad Hoc网络中,该算法具有较好的QoS性能;

(4)协议的思想也容易扩展到其他具有NP难度的、适用于无线网络环境的QoS路由问题。

## 2.7 QRME<sup>[14]</sup>

QRME(QoS Routing Protocol Based on Maximum Expiration Time)是一种基于最稳路径的QoS路由协议。该协议采用移动预测思想,通过GPS的支持获得移动节点的坐标、运动速度和方向,然后通过计算对两节点之间的连接时间进行预测,通过移动预测,根据源节点要求建立和更新数据传输路径,实现源节点到目的节点之间满足QoS条件的信息传送。

协议分析:

- (1)利用移动预测,有效地减少了连接建立时间并提高了寻路的成功率;
- (2)在路由建立过程中,洪泛信息包带有路径变化信息,能比较精确预知传输路径的状态;
- (3)通过传输路径最大维持时间的定义,达到路由维护的目的;
- (4)每个节点都要洪泛信息包,造成开销较大,甚至可能引起广播风暴;
- (5)协议需要GPS等硬件的支持,同时节点要处理洪泛的信息包,消耗一定的电池能量。

## 2.8 MCDAR<sup>[14]</sup>

MCDAR(Multicast Core Extraction Distributed Ad hoc Routing)是CEDAR协议的多播扩展,它建立了一个混合的多播结构,既具备了基于网格结构的路由协议的鲁棒性,同时还具有基于树状结构的路由协议的效率。

CEDAR(Core Extraction Distributed Ad hoc Routing)协议是一个MANET单播QoS路由协议,它包含三个主要部分:

- (1)核心节点的选取:在MANET中,网络核心节点只通过局部状态和局部计算来选取。每个核心节点负责维持它自己域中的局部拓扑并为域中的其它节点提供路由计算服务。
- (2)链路状态的传播:由核心节点组成的稳定的链路可提供的带宽信息在整个网络中传播,CEDAR通过它们来获得QoS路由,而动态链路和低带宽链路的信息则被限制在局部。
- (3)路由计算:路由计算首先建立一条从源子网到目的子

网的核心路径,这条核心路径对从源节点到目的节点的路由建立起指导作用。

MCEDAR利用了CEDAR的两个部分,即核心选取和核心广播。对于一个多播组,MCEDAR从核心节点的集合中选取了一个子集作为建立路由的基础,这个核心节点的子集是网格结构的。MCEDAR主要由四个关键部分组成:①网络结构的选取;②节点加入协议;③基于转发协议的核心广播;④离开、剪枝和重建协议。

协议分析:

(1)MCEDAR建立的混合结构兼顾了鲁棒性和有效性;

(2)MCEDAR利用一种固有的剪枝算法自动进行剪枝;

(3)MCEDAR减少了数据转发过程中的控制信息,提高了数据转发效率。

### 3 协议比较分析

表1 几种QoS多播路由协议的比较

协议	多播拓扑	分布式操作	主动/按需	平面/分级	QoS参数选择	特殊硬件
HQMRP	树	是	按需	分级	带宽、延时	无
AQM	树	是	混合	平面	带宽、丢失率、延时	无
HVDB	网格	是	按需	分级	可用性、负载均衡	GPS
AM-SRL	网格	是	按需	分级	带宽	无
ODQMM	树	是	按需	平面	带宽	无
QMRP	树	是	按需	平面	带宽、延时、节点移动速度、电池剩余量	无
QRME	树	是	按需	平面	连接时间	GPS
MCEDAR	混合	是	按需	分级	带宽	无

在自组网中,根据网络节点获取路由信息的方法,可以将QoS路由算法分为主动式路由协议(或表驱动路由协议)和按需路由协议(或反应式路由协议)。前者尽力维护网络中每个节点至所有其他节点的更新路由信息,当网络拓扑发生变化时,节点向整个网络传播路由更新信息以维护整个网络路由信息的一致性。后者只有在源节点需要时,才创建路由。

无论是主动式QoS路由协议,还是按需路由协议,自组网QoS路由要充分考虑到动态变化的拓扑结构、有限的无线传输带宽、分布式控制、存在单向链路、生存时间短、内存小和能源有限等局限性。

多播拓扑分为树状结构和网格结构。前者是在任意两点之间只有一条路径,容易出现分割现象,该结构转发效率高,但在动态性强的网络中维护开销大。后者是在任意两点之间存在多条路径,对网络动态的适应能力较强,该结构转发效率低,但维护开销少。混合结构是综合了两者的优势以获得更好的性能。

自组网QoS路由算法的理想设计目标是:(1)健壮性;(2)路由计算时不要求全局信息;(3)路由计算所涉及的节点数目尽量少;(4)可扩展性好。表1分别从拓扑结构、分布式

操作、按需方式以及QoS支持等方面,对本文介绍的几种QoS协议进行了比较分析。

**结论** 本文描述了几种MANET环境下的QoS多播路由协议,并且分析比较了它们各自的特点。希望通过本文的分析描述,有助于QoS路由协议的进一步研究。

目前自组网QoS路由还有待在以下方面进行深入研究:分布式路由技术、启发式搜索技术、非精确路由算法、Internet接入、通信安全和节能等方面。这也是未来自组网QoS路由技术的重点研究内容。随着进一步深入研究,自组网将有着更加广阔的前景。

### 参考文献

- 1 郑少仁,等. Ad Hoc网络技术. 北京:人民邮电出版社,2005,1
- 2 陈林星,等. 移动Ad Hoc网络—自组织分组无线网络技术. 北京:电子工业出版社,2006,4
- 3 Wang Z, Jon C. Quality of Service Routing for Supporting Multimedia Applications[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1999, 14(7): 1228~1234
- 4 Chen S, Klara N. Distributed quality of service routing in Ad hoc networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1999, 17(8): 1488~1505
- 5 Sivakumar R, Sinha P, Bharghavan V. Cedar: A core extraction distributed ad hoc routing algorithm[J]. IEEE Journal of Selected Areas in Communications, Special Issue on Ad Hoc Networks, 1999, 17(8): 1454~1465
- 6 Toh C K. Maximum battery life routing to support ubiquitous mobile computing in wireless Ad hoc networks[J]. IEEE Communication Magazine, 2001, 39(6): 138~147
- 7 英春,史美林. 自组网环境下基于QoS的路由协议[J]. 计算机学报, 2001, 24(10): 1026~1033
- 8 Li Layuan, Li Chunlin. A QoS Multicast Routing Protocol for Mobile Ad-Hoc Networks. In: Proc. of the Int conference on ITCC, April 2005, 2: 609~614
- 9 Bür K, Ersoy C. Multicast Routing for Ad Hoc Networks With a Quality of Service Scheme for Session Efficiency. In: 15th IEEE Int Symposium on PIMRC, Sep. 2004, 2: 1000~1004
- 10 Wang Guojun, et al. A Novel QoS Multicast Model in Mobile Ad Hoc Networks. In: 19th IEEE IPDPS, April, 2005
- 11 Dong Yixin, et al. AM-SRL: Adaptive Multicast Operation of the Supernode-based Reverse Labeling Algorithm. In: Proc. of the IEEE CCECE, May 2002, 3: 1412~1417
- 12 Ng J M, et al. On-Demand QoS Multicast Routing and Reservation Protocol for MANETs. In: 15th IEEE Int. Symposium on PIMRC, Sep. 2004, 4: 2504~2508
- 13 孙宝林,李腊元. Ad Hoc网络QoS多播路由协议[J]. 计算机学报, 2004, 27(10): 1402~1406
- 14 向阳,李腊元,等. 基于Ad Hoc的QoS多播路由协议研究[J]. 计算机工程与应用, 2006, 10: 147~149