

北京航空航天大学  
研究生创新实践基金项目  
总结报告

课题题目：基于模糊判决的组播路由资源接纳控制机制研究

专    业：计算机系统结构

研  究  生：朱旋

学    号：SY1006442

指导教师：白跃彬

# 1. 项目立项情况

## 1.1 立项背景和意义

移动自组织网络（Ad Hoc 网络）是一种无线的多跳网络，是不依赖于任何固定基础设施的移动节点的动态联合体。它具有无需基础设施支持、高度动态、移动通信等优点，近年来，随着计算机技术、移动通信技术的广泛应用，移动 Ad Hoc 网络技术获得了巨大的发展，人们期望在移动 Ad Hoc 网络中传输多种类型的服务，例如 VoIP、视频会议、实时协作、向固定或者移动终端传输数据的业务等，这些业务对网络数据传输质量有较高的要求。但是由于移动 Ad Hoc 网络资源有限、不稳定信道传输以及节点移动性等原因，使得在该网络中为业务提供 QoS 保障非常困难，因此需要引入服务质量保障体系保障业务传输质量。

基于 MANET 的应用逐渐广泛，现有 MANET 中服务质量有两个问题，其一，QoS 风险较大；其二不同类型的优先级的业务不能得到协调。首先，在 MANET 中信道具有共享的特性，增加网络干扰和突发业务引起的网络拥塞的情况。正是网络干扰和突发网络拥塞引起网络 QoS 风险，降低了网络的 QoS。其次，由于 MANET 具有信道的不可靠性、节点的移动性、缺乏集中控制、有限的设备资源以及信道竞争等特性，对 MANET 提供 QoS 确保仍存在很大的困难。最后，MANET 承载着包括语音、视频和数据在内的多种业务，这些业务对实时性的要求均不同，应具有不同的处理优先级，且业务间存在着资源竞争，这些业务对网络资源的使用需要一个有效地协调机制。

## 1.2 课题研究目标

资源接纳控制机制是服务质量保证体系中最有效的方法之一。资源接纳控制机制的目的是估计网络资源的状态，从而决定哪些应用程序的数据会话可以接纳，同时不会占用太多可用资源从而干扰了已传输会话的 QoS 保证。按照中间节点是否保存状态信息，将资源接纳控制机制划分为有无状态和有状态两种。无状态的资源接纳控制机制通过源端节点发送探测信息至目的节点获取 QoS 信息判决，而中间节点不保存节点或者网络信息，因此机制相对比较简单且容易实现，但是缺少了中间节点的判定功能，因此反应不够迅速。而有状态的资源接纳控制机制在路由中间节点也获取与保存网络状态信息，因此机制较为复杂，信息的维护与定

期刷新也会增加网络的负荷。

针对这些问题，本课题的研究工作把资源接纳控制机制和模糊逻辑智能算法结合起来，通过开展资源接纳控制机制研究、基于模糊判决的组播路由资源接纳控制机制设计以及验证系统的实现等工作，支持创新研究和研究工作验证。具体包含以下指标：1) 移动 Ad Hoc 网络资源接纳控制机制的研究工作；2) 基于模糊判决的组播路由资源接纳控制机制的设计；3) 基于模糊判决的组播路由资源接纳控制机制的实现及验证；4) 发表学术论文 1 篇；5) 发明专利 1 项；6) 技术报告 1 篇。

### 1.3 课题研究内容

#### a) 移动 Ad Hoc 网络资源接纳控制机制设计

移动 Ad Hoc 网络是一种自组织网络，具有动态的网络拓扑结构、节点移动性和有限的网络资源等自身特性。在设计移动 Ad Hoc 网络资源接纳控制机制时，选取视频会议作为研究的实例场景。本项目采用区分服务 (Diffserv) 的方法来标记不同类型的业务，提出一种基于带内信令协议的分布式资源接纳控制机制，以便为业务提供良好的 QoS 保障并且不向网络中引入过多开销。

#### b) 基于模糊判决的组播路由资源接纳控制机制设计

模糊逻辑的方法借助于隶属函数的概念，区分模糊集合，善于表达与处理界限不清晰的不确定问题。通过分析模糊判决的原理及方法，将模糊判决的核心思想与资源接纳控制具体场景结合起来，对不同业务采用模糊判决的方法进行衡量和判断，从而提高资源接纳控制的效率；考虑组播路由的特殊情境，将资源接纳控制应用到组播环境中，针对用户需求进行不同的决策控制。

#### c) 基于模糊判决的组播路由资源接纳控制机制实现及验证

模拟与仿真是网络传输协议研究的基本和重要手段之一，也是对网络传输协议性能进行评价的方法。我们将采用 OPNET Modeler 和 MATLAB 联合仿真方式，抽象并建立移动 Ad Hoc 网络视频会议的节点模型，建立基于模糊判决的组播路由资源接纳控制机制网络模型并对其进行分析和评测，验证该机制的高效性，最后对结果进行分析和评价。

## 2. 项目完成情况

### 2.1 实施方案

## 1) 移动 Ad Hoc 网络组播路由资源接纳控制机制设计

### ➤ MANET 动态资源管理机制

在进行资源管理时，一方面要尽量提高资源的利用率，另一方面要最大程度的满足用户期望的服务质量。在 MANET 中，不宜采用静态指配的资源管理方法，而应采用动态资源管理机制来保证资源分配的高效性。资源动态分配的目标是使更多的业务能够被接纳，并使业务流平滑地适应网络资源的变化。

#### ● 资源预留请求为 QoS 值区间

为了解决动态变化的网络特性引起的问题，允许资源预留给出的请求是值的区间而不是一个确定的数值。网络在资源预留请求范围内为应用提供服务，网络可以随时改变资源分配点，只要应用能够通过调整传输特性而维持在分配的资源级别上，它就可以得到来自网络相应的 QoS 支持。采用 QoS 范围来支持 QoS 还有利于路由和 QoS 维护的分离，如果网络拓扑的变化造成需要计算新路由或者路由上的某段链路的带宽发生变化，采用 QoS 范围而不是单个固定值可以增加 QoS 在请求范围内得到维护的概率。即当资源减少时，请求范围内得到的 QoS 级别将下降；反之可以增加提供的 QoS 级别。这种动态资源管理方法只能提供软 QoS 保证，即当路由失效时，需要在新路由上重建 QoS，并在  $QoS_{min} \sim QoS_{max}$  之间动态调节应用的 QoS 要求来适应网络资源的变化。

#### ● 基于动态自适应原则的自适应 QoS 管理流程

一种基于动态自适应原则的自适应 QoS 管理流程如下：

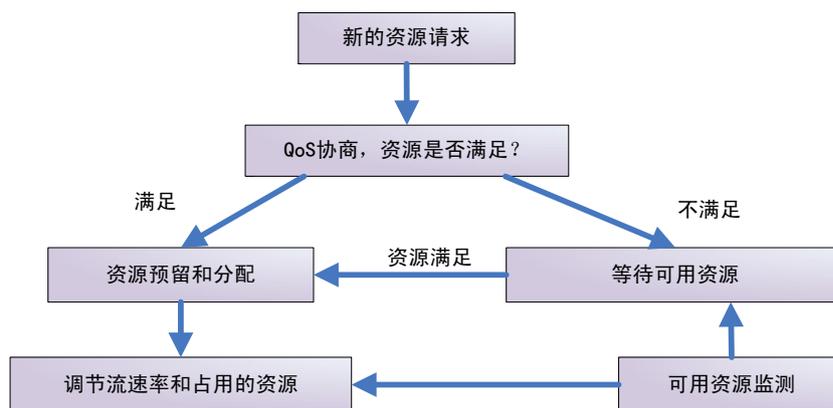


图 1 动态自适应 QoS 管理流程

### ➤ 组播资源接纳控制

我们将信令消息放在 IP 的可选报头中，发送的报文格式为：

REQ/RES	TOS	Max/Min	Maxband	Minband	Metric		
					Flow ID TTL	Min band	Point Info

其中 REQ/RES 字段标识该报文是源端发送的授权请求报文还是目的端发送的回应预留报文；TOS 表示当前业务的业务类型，如果是 BE 则不需要进行带宽预留和授权，如果是 RT 则必须进行带宽计算、授权及预留等操作；Maxband 与 Minband 用来表示该业务流需要的最大与最小带宽；Metric 用来记录该业务的业务 ID 与该条路由上节点记录的信息等。当源端节点接收到新的业务流时，会沿着组播树发送一条报文，例如源端发送的带宽范围在 50M-100M 的视频业务的报文信息为：

REQ	RT	Max	100	50	Metric		
					1 12:00	/	/

组播树中的节点收到报文后所作处理如下：

1) 节点首先解析报文的头字段，明白这是源端发送来的授权请求报文，而且该业务为 RT，即需要进行带宽授权。节点计算自己可用带宽，可用带宽的计算公式为： $B_a = B_t - B_b$ ，其中  $B_t$  表示该条链路上总的带宽， $B_b$  表示该条链路上已被用的带宽，其中包括正在被其他业务流占用的、已经为其它业务流授权和预留的带宽，带宽信息均被储存在带宽预留数据库中。根据所得可用带宽，进行以下操作：

a) 如果节点可用带宽  $B_a > 100M$ ，则不改变报文信息，直接沿着组播树继续转发该请求报文，同时节点需要向该 ID 的业务授权 100M 带宽，并将该条信息储存在带宽预留数据库中。在一个规定时间内（如 5s）其他业务不可以占用该 100M 带宽。

b) 如果节点可用带宽  $50M < B_a < 100M$ ，例如 80M，则将报文的 Max 字段改为 Min，在 Metric 中记录 Minband=80M，并将自身节点信息添加到 Point Info 字段。

c) 如果节点可用带宽  $B_a < 50M$ ，说明该节点不能满足业务提出的最低要求，节点进行剪枝操作，并向源端发送拒绝信息，源端会重新组织组播树。

2) 报文信息在组播树中被不断更新，目的节点如果接收到后，说明整条链路都可以至少支持业务需要的最低带宽，即所有节点的可用带宽都大于 Minband，

目的节点根据报文的信息解析得到整条链路中的瓶颈节点，并可以通过 TTL 计算端到端 QoS（如时延、抖动、丢包率等 QoS 信息），目的节点根据自己 QoS 要求与计算所得 QoS 进行比较，从而对该业务进行决策，如果时延、抖动、丢包率等满足目的端的需求，则发送一个预留请求报文通知源节点接收该业务并通知路由上的节点进行带宽预留，如果时延、抖动、丢包率等 QoS 参数不满足目的节点需求，则进行剪枝操作；预留请求报文格式如下：

RES	RT	Min	100	50	Metric		
					1 12:00	80	...

3) 路由节点接通过解析报文头字段，明白这是目的节点发送的预留请求报文，继续解析 Metric 里面的字段，该字段标记整条路由中的瓶颈带宽，通过在带宽预留数据库中查询相应 ID，如果已经为该 ID 业务进行授权，则将授权状态转为预留状态；如果并未对该业务进行授权，则按照瓶颈带宽进行预留。同时将预留请求报文发送至源端节点。

4) 源端接收到预留请求报文后，根据瓶颈带宽，通过整形（漏斗和指令桶方法）等操作，向组播树发送相应带宽的数据。

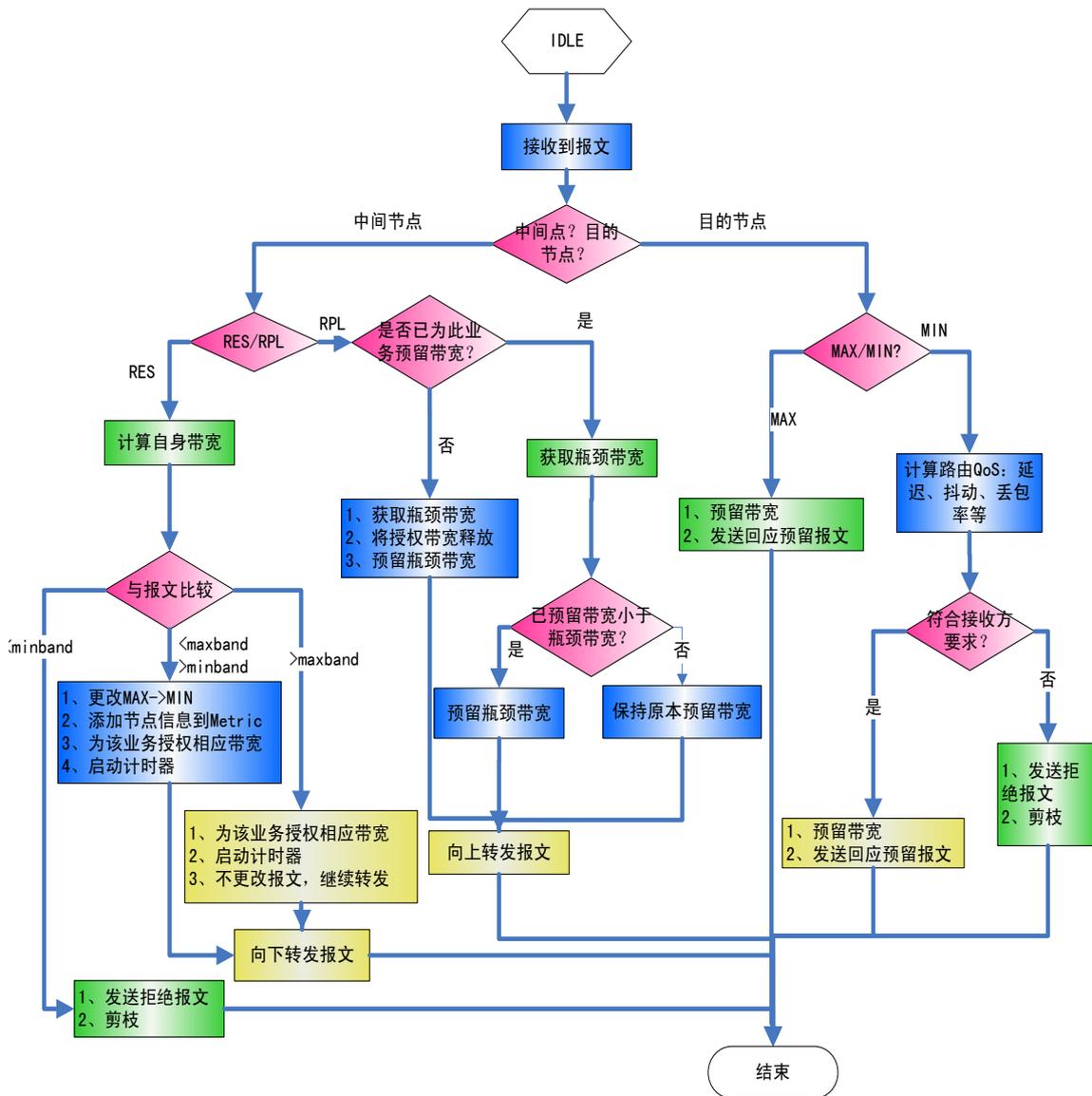


图 2 网络层资源接纳控制的流程图

下面对几点相关问题进行说明：

源端发送请求预留报文均按照一定的形式一定的大小，报文的频率根据接收到的回应预留报文进行更改，如果接收到的回应预留报文较多，说明网络当前状态良好，周期可以稍微变长；如果接收到很少的回应预留报文，而是经常发生剪枝行为，说明网络状态很不稳定，就应加快发送请求预留报文的频率。

中间转发节点针对业务有三种状态：

[1]授权状态。当节点收到授权请求报文时，如果可以满足业务最小带宽，则对该业务进行带宽授权，并启动计时器，授权内的带宽在规定时间内不能被其他业务占用，超时则自动释放授权带宽；

[2]预留状态。当节点收到预留请求报文时，解析得到路由上的瓶颈带宽，从授权状态转到预留状态，预留状态的带宽不能被其他业务流占用，除非业务结束时释放预留带宽；

[3]接收与转发数据状态。节点预留后接收到数据信息，核对业务 ID 之后，进行数据的接收与转发。

目的端接收到请求授权报文，要根据业务 TTL 等信息计算该路由的 QoS 信息，并根据自身需求对业务进行接纳控制，可以满足接收方的异质性，即接收方可以根据需要制定不同的接受标准，这样可以更加高效地进行接纳控制。

组播资源接纳控制将 QoS 计算以及资源的控制分布在多个边缘节点中，中间的节点只需要进行简单地处理，可以提高资源接纳的有效性。网络层资源接纳控制的流程如图 2 所示。

## 2) 基于模糊判决的资源接纳控制机制设计

本节主要介绍网络层资源接纳控制与模糊判决智能算法结合机制。在基本的资源接纳控制机制中，源端节点接收到预留回应报文后直接开始发送数据，与智能算法结合时，源端节点先将业务置于模糊判决队列中，然后启动模糊判决机制，从模糊队列中优选出业务进行优先接纳。此时资源接纳控制框图增加了模糊判决功能（Fuzzy Decision Function, FDF），主要由模糊队列与模糊判决单元组成，如下图所示。

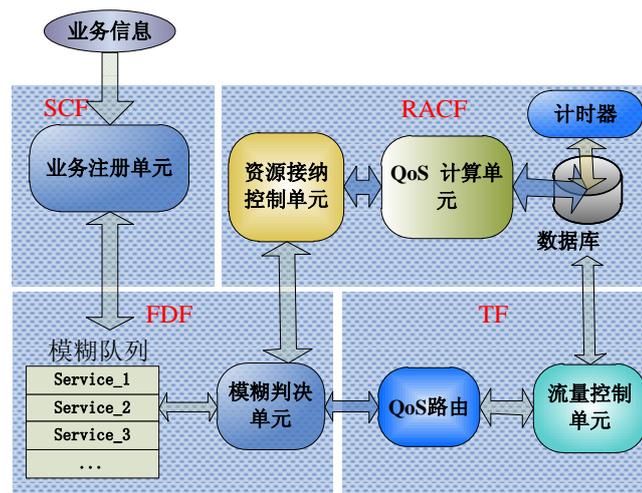


图 3 基于模糊判决的资源接纳控制架构

模糊判决的具体原理及步骤如下：

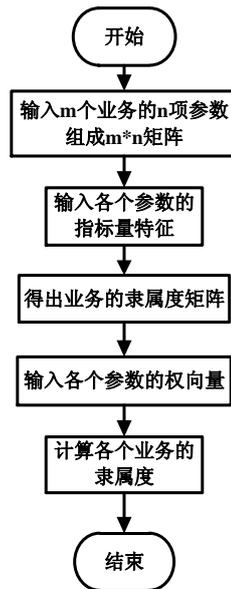


图 4 模糊判决流程

- 如果共有  $n$  个备择对象（待接纳业务），每个备择对象有  $m$  项 QoS 评价参数（带宽、延迟、抖动、丢包率等），这些参数共同构成一个  $m*n$  的矩阵  $X_{mn}$  如公式（2）所示，其中  $x_{ij}$  为第  $j$  项业务的第  $i$  项 QoS 数据。

$$X_{mn} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} = (x_{ij})_{m*n} \quad r = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

- 对于不同的评价参数，用户期望的特征量不相同，例如延迟抖动均期望越小越好，而吞吐量则是越大越好，用  $k_j (j = 1, 2, \dots, n)$  表示第  $j$  项参数的指标量特征，为 1 时表示越大越优，为 0 时表示越小越优，因此根据隶属度计算公式（3）可以得到指标的隶属度矩阵  $R_{mn}$ ，如公式（4）所示。其中  $x_{ij}$  表示矩阵  $X_{mn}$  中第  $i$  行第  $j$  列元素， $x_{i\max}$  与  $x_{i\min}$  分别表示矩阵  $X_{mn}$  中第  $i$  行最大与最小元素的取值， $r_{ij}$  表示第  $j$  项业务第  $i$  项 QoS 参数的隶属度。

$$r_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{x_{i\max}} & k_j = 1, x_{i\max} = \max \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}\} \\ \frac{x_{i\min}}{x_{ij}} & k_j = 0, x_{i\min} = \min \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}\} \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$R_{mm} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} = (r_{ij})_{m \times n}, \quad r = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

➤ 定义系统优向量为  $\bar{G}$ ，次向量为  $\bar{B}$ ，分别如公式 (5) (6) 所示，每个评价参数的权向量(即各参数作为评价指标的权重，所有参数权重之和为 1) 为  $\bar{W} = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T$ ，则第 j 项备择对象从属于优向量的隶属度  $u_j$  计算法则如 (7) 所示，n 项隶属度共同组成了隶属度向量  $\bar{U} = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ 。

$$\bar{G} = (g_1, g_2, \dots, g_m)^T, \quad g_i = \max \{r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}\} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

$$\bar{B} = (b_1, b_2, \dots, b_m)^T, \quad b_i = \min \{r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}\} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (6)$$

$$u_j = \frac{1}{1 + \left[ \frac{d(\bar{R}_j, \bar{G})}{d(\bar{R}_j, \bar{B})} \right]^2} = \frac{1}{1 + \left[ \frac{\sum_{i=1}^m (w_i |r_{ij} - g_i|)^p}{\sum_{i=1}^m (w_i |r_{ij} - b_i|)^p} \right]^{\frac{2}{p}}}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

其中  $g_i$  为隶属度矩阵  $R_{mm}$  第 i 行的最大值， $b_i$  为隶属度矩阵  $R_{mm}$  第 i 行的最小值， $R_j$  为隶属度矩阵  $R_{mm}$  第 j 列的列向量。 $d(\bar{R}_j, \bar{G})$  与  $d(\bar{R}_j, \bar{B})$  分别为备择对象 j 与优向量  $\bar{G}$ 、次向量  $\bar{B}$  的距离或者差异程度，p 表示向量间距离的维数，可以用户自定义输入（一般选择 1 或 2），因此用户期望  $d(\bar{R}_j, \bar{G})$  越大越好， $d(\bar{R}_j, \bar{B})$  越小越好，选择  $d(\bar{R}_j, \bar{G})$  与  $d(\bar{R}_j, \bar{B})$  之商作为比较因子，用权向量作为权重，模糊优化的目的在于求出  $u_j$  的最优情况。为此，将最小二乘法准则-距离平方和最小扩展为权距离平方和最小准则。因为在等权条件下，权距离平方和最小即为距离平方和最小准则。

采用上述方法，将  $n$  项业务的  $m$  项 QoS 信息作为输入，根据式 (7) 可以计算出各个业务的隶属度  $u_j$ （即第  $j$  项业务的信用度），节点优先接纳信用度更高的业务。

### 3) 基于 QoS 组播的无线认知网络验证系统的实现

为了完成验证系统的对比实验，本项目使用 OPNET 完成了对 MAODV 协议的仿真。该项研究内容目前完成的部分是 MAODV 协议的仿真和模糊逻辑算法的编程实现。

#### ➤ 场景设置

为了验证 MAODV 协议模型的正确性和有效性，在网络模型层面上对 MAODV 模型进行仿真建模。

仿真场景的业务模型采用 Video Conference 业务。视频图像帧大小为 1000，视频每秒 15 帧。Video Conference 业务为 OPNET 自带的业务模型，其传输层采用 UDP 协议。Video Conference 分为服务端和客户端，服务端向每个客户端发送数据帧，每个客户端单独向服务端发送帧。为了验证组播路由的正确性，这里使服务端向所有的客户端以组播的形式发送数据帧。

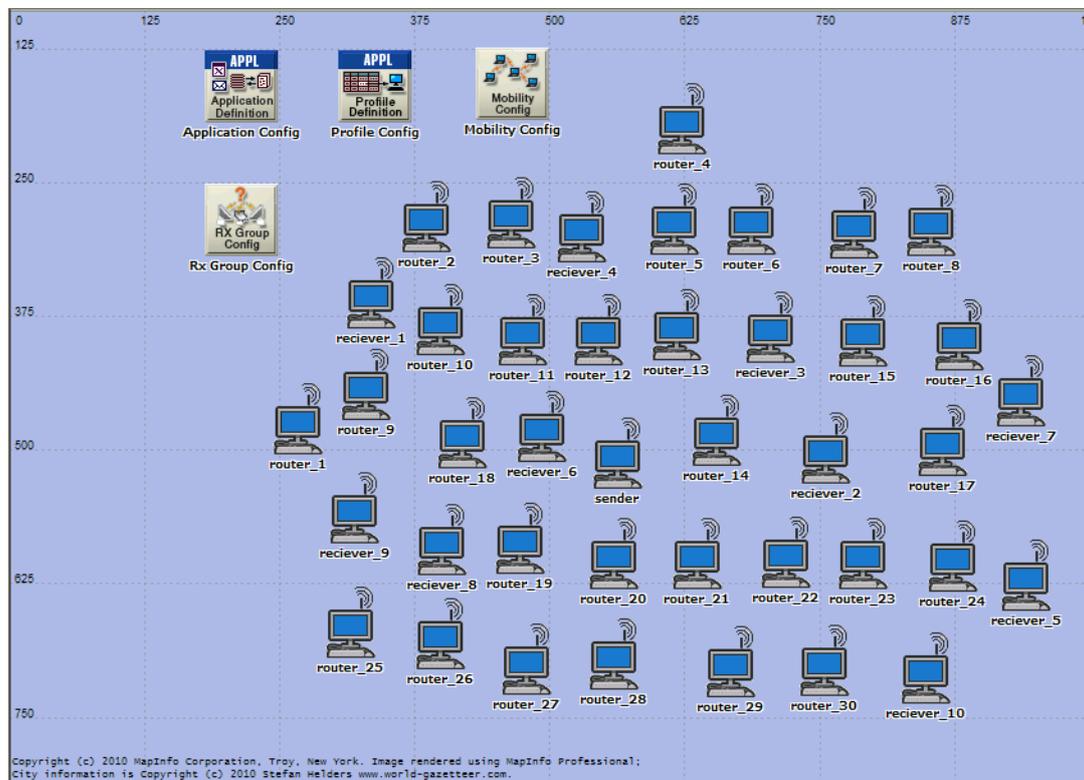


图 5 组播路由仿真网络拓扑结构

仿真场景的网络拓扑如图 5 所示。场景中有随机分布 41 个节点，节点按照

其在业务功能上的不同分为三类：第一类为 sender 节点，共 1 个，表示 Video Conference 业务的服务端，即组播数据的发起源；第二类为 receiver 节点，共 10 个，表示 video conference 业务的客户端，即组播数据的接收源，也是单播数据的发起源；第三类为 route 节点，共 30 个，不部署任何业务，仅作为前两类节点之间通讯的中间节点，具有路由选择功能。

- 节点模型

验证 MAODV 协议，需要对网络中的各个节点部署相应功能，使之能够支持 MAODV 路由协议。为此，需要构建新的节点模型。本次仿真通过修改 wlan\_wkstn\_adv 标准模型，使新的节点模型可以支持 MAODV 协议。节点模型如图 6 所示。wlan\_wkstn\_adv 标准模型的数据链路层采取 IEEE 802.11 协议，网络层采取 IP 协议，传输层根据不同的业务需求分别采取 TCP 或 UDP 协议，应用层支持根据常用的应用类型配置业务。

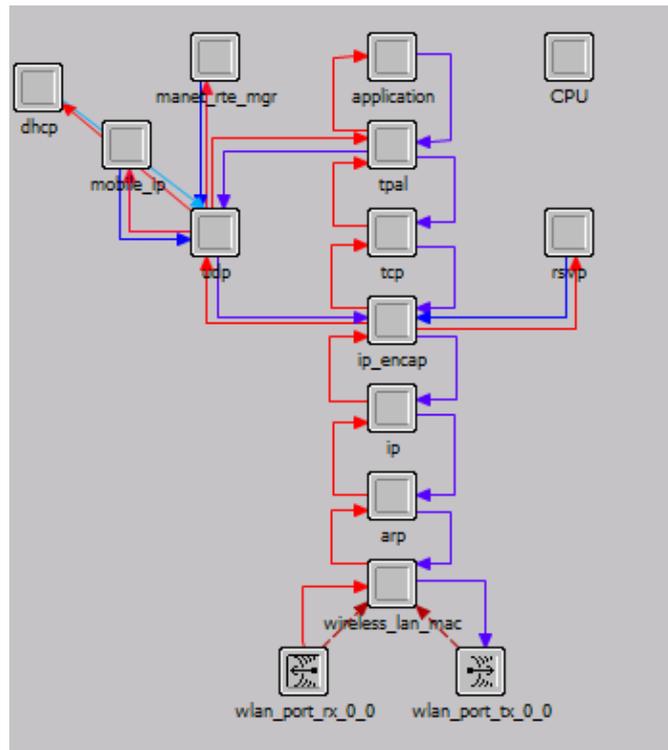


图 6 节点模型

由于 MAODV 协议为 AODV 协议的组播扩展，因此可以通过修改 OPNET 标准模型库中的 AODV 协议以及相关模型，实现 MAODV 协议的仿真建模。目前对 MAODV 协议的实现，采用了在原有进程模型基础上进行修改的方法。对节点模

型的修改主要针对 ip 处理器。

- 结果分析

Sender 以组播的形式向 10 个 Receiver 发送 Video Conference 业务信息。

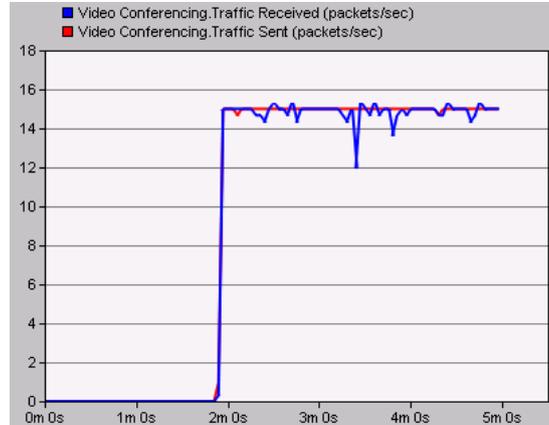


图 7 MAODV 场景下 Receiver 节点的业务流量

图 7 为其中一个 Receiver 节点（Receiver 1）的 Video Conference 业务发送和接收的数据包的速率。对于其它所有 Receiver 节点，情况基本相同，接收数据包速率均为每秒 15 个左右。可以看出所有 Receiver 节点成功加入组播组，并以 15packets/sec 的速率发送单播数据包；以 15packets/sec 的速率接收组播数据包，存在少量丢包现象。

图 8 为 Sender 节点 Video Conference 业务发送和接收数据包的速率。可见 Sender 节点仅以 15packets/sec 的速度发送数据包，而各 receiver 节点也均以 15packets/sec 的速度接收到了数据包。同时说明在数据包的传输过程中发生了数据包的复制，数据包的传输方式为组播。Sender 接收到的数据包速率理论值为各 Receiver 节点发送数据包速率的累加，即 150packet/s。

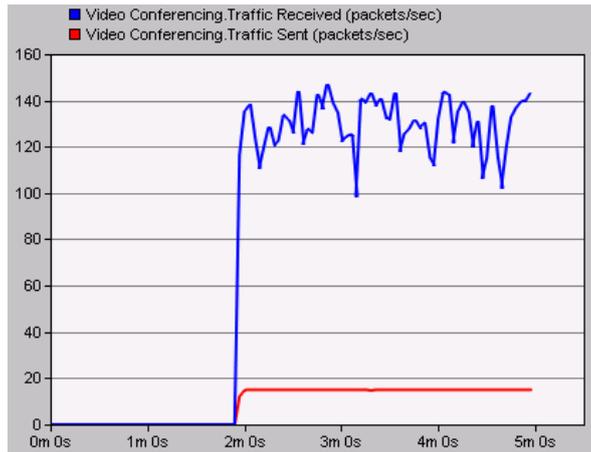


图 8 MAODV 场景下 Sender 节点的业务流量

#### 4) 资源接纳控制机制应用于多播场景

本资源接纳控制机制亦适用于多播场景，如图 9 所示，其中，A 是源端节点即发送方，C、E、F、H 及 I 是目的节点即接收方，B、D 及 G 为组播路由中间节点。图中实线箭头表示源端节点沿着组播树发送的资源接纳控制预留请求报文（REQ），虚线箭头表示目的节点返回的资源接纳控制预留回应报文（RES）或拒绝信息。组播场景下，路由中间节点会转发多条 REQ 信息，但是不同的目的节点接纳标准不一致，例如节点 E、F 与 H 均决定接收该业务并回复 RES 报文，而节点 C 与 I 则拒绝该业务并采取剪枝操作，该情形下，中间节点 B 将同时转发剪枝信息与 RES 报文至源端节点，并且携带相应目的节点信息，因此源端节点可以获取所有目的节点的决策结果，从而根据用户需要选择是否发送业务数据，例如如果 70% 以上的目的节点接收业务则发送数据，否则拒绝该业务。

多播场景的具体实现过程中，路由中间节点需要将计算所得的本地带宽等分为多份，份数为下一跳节点数目（例如节点 B 需将本地剩余带宽等分两份），以此作为本地带宽数据  $B_i$  进行判决，并储存多条信息到数据库中，同理，如果业务数据发送完毕，节点必须释放多条数据库信息，数据库中每条信息分别由业务 ID 与目的节点 IP 地址唯一标识，从而保证多播场景下资源接纳控制有效进行。另外，由于本机制中做出业务接纳决策的是接收方，因此可以根据不同目的节点用户的不同需求做出不同决策，即可以支持接受者异质性。

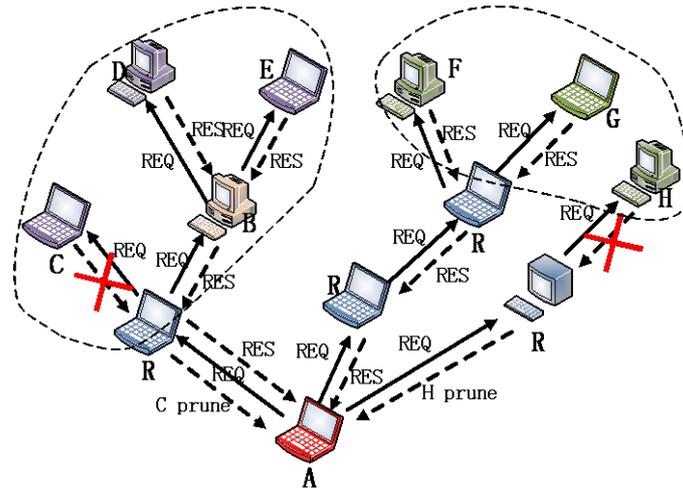


图 9 资源接纳控制多播场景

## 5) 仿真验证与结果分析

### ● 节点模型

基于 Opnet 14.5 进行跨层资源接纳控制机制仿真，选取的原始节点模型为 Opnet 中的 wlan\_wkstn\_adv 标准模型，该模型数据链路层采用 IEEE 802.11 协议，网络层采用 IP 协议，传输层根据不同的业务需求分别采取 TCP 或 UDP 协议，应用层支持常用的应用类型业务。

在实现资源接纳控制功能时，对 wlan\_wkstn\_adv 节点模型的修改主要涉及三个部分：

(1) application 处理器：在新的业务产生前，application 处理器首先向本节点 ip 处理器的资源接纳与控制进程发送资源预留请求，资源请求返回后根据结果决定是否产生该业务以及在业务传输结束后发送命令释放预留的带宽；

(2) ip 处理器：增加资源探测和资源预留功能，即当接到应用层发来的资源探测命令时，发送带宽探测包，从而获得当前网络的瓶颈带宽；当接到应用层发来的资源预留命令时，对传输路径上的各个节点进行资源预留；当接到应用层发来的资源释放命令时，释放各个节点预留的带宽。

(3) 增加的 dete\_bw 处理器：主要负责带宽的计算和处理及带宽信息的记录等功能。

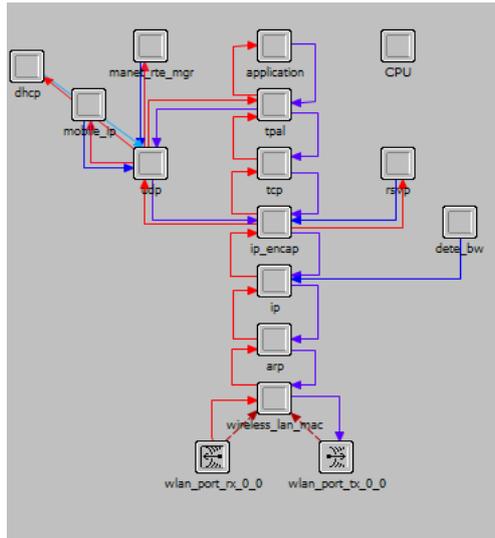


图 10 pnet 节点模型

处理器修改的进程及其间的依赖关系如图 10 所示。新的业务产生时 gna\_profile\_mgr 进程通过远程中断将所需信息发送至 ip 层的资源预留进程，并由资源预留进程发送资源预留请求。在预留请求处理完毕后，ip 层将处理结果再次通过远程中断的方式将预留结果发送至应用层的 gna\_profile\_mgr 进程。

● 仿真场景及结果分析

跨层资源接纳控制机制仿真参数如表 3 所列，1000m\*1000m 的仿真场景中部署 60 个节点，节点移动速度为 5m/s，业务为 video conference 类型，分别在网络正常与网络拥塞两种情形下进行资源接纳控制仿真实验，共收集网络发包量、收包量、端到端时延及抖动等数据进行添加资源接纳控制机制前后效果对比。

表 3 仿真参数

包到达间隔	0.1 s	包长度	1000 bits
业务类型	视频会议	仿真时间	200 s
节点速度	5m/s	传输层协议	UDP

(1)网络正常情况下仿真结果

多播场景 60 个节点中一个是源端节点，十个是多播目的节点，其余为担任路由器的路由中间节点。图 7 至图 10 显示了添加资源接纳控制机制前后收发包、

时延以及抖动数据的对比结果。仿真过程中，新业务从 105s 左右开始产生，同时源端节点沿组播树发包，网络中开始记录数据。

①图 11 为添加资源接纳控制机制前后发包量对比，图中看出，添加资源接纳控制机制后，网络中发包量减少，原因是一些新业务由于不满足用户 QoS 需求被拒绝，导致网络中业务量减少，因此源端发送数据减少，而图 8 显示添加资源接纳控制机制后，节点的总收包量反而增加，说明网络丢包率大大降低，网络吞吐量提高；

②图 12 与图 13 中，添加资源接纳控制机制后，数据包端到端时延、抖动都大幅下降，业务 QoS 得到良好改善，计算得出，添加资源接纳控制机制后，时延、抖动及丢包率分别降低了 25.75%，51.76%和 24.15%，因此资源接纳控制机制有利于合理分配网络资源，业务 QoS 能维持在较好的水平。

③在未添加资源接纳控制机制场景中，网络收包量在 132s 左右明显增加（图 8），说明此时大量新业务集中到达，而端到端时延、抖动在 160s 左右明显增加（图 9、图 10），说明网络进入拥塞状态，数据传输效果很不稳定；而添加资源接纳控制机制场景的仿真过程中，收包量稳定上涨，时延、抖动均较平稳，说明该机制良好地控制业务的接收，避免网络短时间内负荷过重产生拥塞，网络状态在整个仿真过程中较稳定。

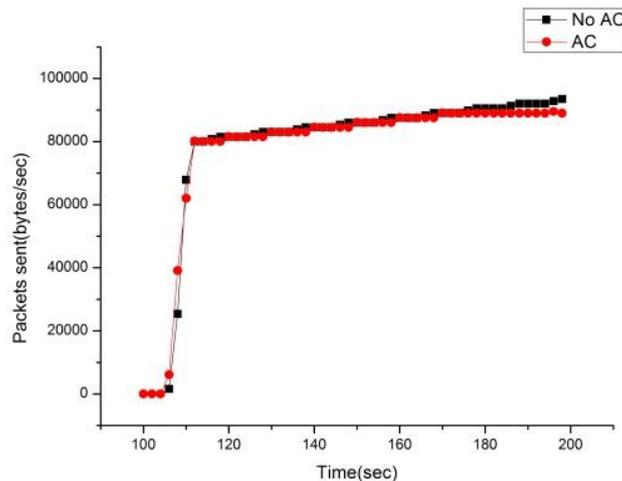


图 11 添加资源接纳控制机制前后发包量

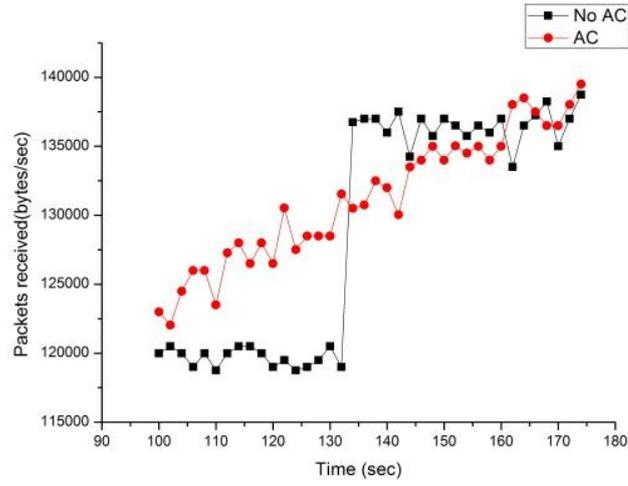


图 12 添加资源接纳控制机制前后收包量

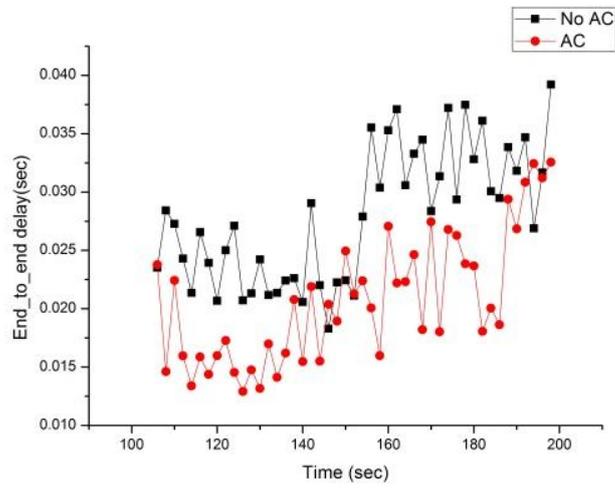


图 13 添加资源接纳控制机制前后时延

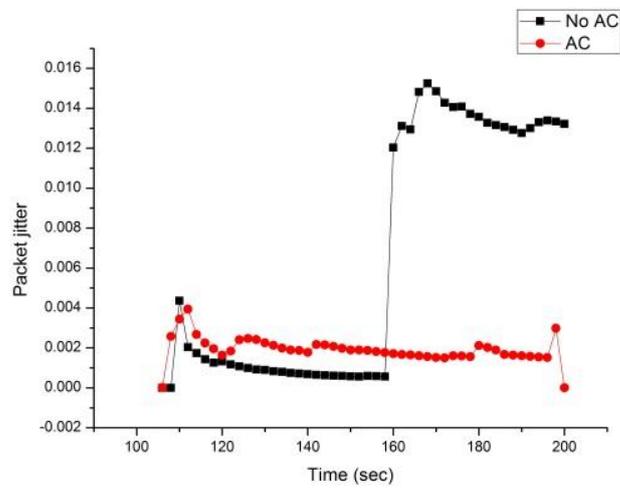


图 14 添加资源接纳控制机制前后抖动

(2)网络拥塞情况下仿真结果

将场景中的 60 个节点既作为源节点，又作为目标节点，即每个节点都有收发业务的能力。在未添加和添加资源接纳控制场景下进行仿真并收集实验数据如表 4 所示，端到端时延由 1.86717s 减少到 1.22834s，降低 34.21%；丢包率由 85.2931% 下降到 59.8154%，降低 29.87%。抖动性能下降的原因在于网络拥塞状态下，一些业务由于带宽没有满足需求，一直处于资源探测与等待阶段，从而增加了两批数据的延时间距，导致时延方差的增加，从而抖动较严重。

表 4 仿真结果二

	未添加资源接纳控制	添加资源接纳控制	降低
时延	1.86717	1.22834	34.21%
抖动	22.6361	32.7832	-44.82%
丢包率	85.2931%	59.8154%	29.87%

综上所述，添加资源接纳控制机制后有利于合理分配网络资源，维持网络状态，业务传输丢包率、时延以及抖动等 QoS 参数都有较大改善，资源接纳控制效果显著。

## 2.2 标志性成果

项目组成员已取得的标志性成果如下：

- 已发表学术论文 3 篇

FAST: Fuzzy Decision-Based Resource Admission Control Mechanism for MANETs. Yue-Bin Bai, Xuan Zhu, Xu Shao, Wen-Tao Yang. Mobile Network and Applications. Mobile Networks and Applications (MONET)(SCI 源刊),Springer, Published Online, 2 July 2012 (DOI: 10.1007/s11036-012-0384-0)

SAME: A Students' Daily Activity Mobility Model for Campus Delay-Tolerant Networks. Xuan Zhu, Yuebin Bai, Wentao Yang, Yuanfeng Pengand Chongguang Bi. Accepted by the 18th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC 2012)

一种支持多播的分布式资源接纳控制方法

- 申请发明专利 1 项

吴渭、朱旋、闫长江、白跃彬，基于模糊判决的移动自组织网络组播路由资源接纳控制方法，专利申请号：201110012610.X

- 验证系统仿真代码一份
- 技术报告 1 篇

## 参考文献

- [1] Y. Pei and V. Ambetkar, "Distributed Flow Admission Control for Multimedia Services Over Wireless Ad Hoc Networks," *Wireless Personal Communications*, vol. 42, no. 1, pp. 23–40, 2006.
- [2] G.-S. Ahn, A. T. Campbell, A. Veres, and L.-H. Sun, "Supporting Service Differentiation for Real-Time and Best-Effort Traffic in Stateless Wireless Ad Hoc Networks (SWAN)," *IEEE Trans. Mobile Computing*, vol. 1, pp. 192–207, Jul. 2002.
- [3] S. Lee, G. Ahn, X. Zhang, and A. Campbell, "INSIGNIA: An IP-Based Quality of Service Framework for Mobile ad Hoc Networks," *J. Parallel and Distributed Computing*, vol. 60, no. 4, pp. 374–406, 2000.
- [4] Y. Yang and R. Kravets, "Distributed QoS Guarantees for Realtime Traffic in Ad Hoc Networks," in *Proc. 1st Ann. IEEE Conf. Sensor and Ad Hoc Communications and Networks*, (Santa Clara, CA, USA), pp. 118–127, Oct. 2004.
- [5] C. E. Perkins, E. M. Belding-Royer, and S. R. Das, "Quality of Service in Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing," *IETF Internet Draft*, Jul. 2000.
- [6] M. Haq, M. Matsumoto, J. Bordim, M. Kosuga, and S. Tanaka, "Admission Control and Simple Class-based QoS Provisioning for Mobile Ad Hoc Network," in *Proc. 60th Vehicular Technology Conf.*, vol. 4, (Los Angeles, CA, USA), Sep. 2004.
- [7] D. Dharmaraju, A. Roy-Chowdhury, P. Hovareshti, and J. Baras, "INORA-A Unified Signaling and Routing Mechanism for QoS Support in Mobile Ad Hoc Networks," in *Proc. Int. Conf. Parallel Processing Workshops*, pp. 86–93, 2002.
- [8] R. Zhang. Rubin, "Robust Flow Admission Control and Routing for Mobile

- Ad hoc Networks,” in *Proc. Military Communications Conf. (MILCOM)*, (Los Angeles, CA, USA), pp. 1–7, Oct. 2006.
- [9] A. Derhab and A. Bouabdallah, “Admission Control Scheme and Bandwidth Management Protocol for 802.11 Ad hoc Networks,” in *Proc. 4th Int. Conf. Innovations in Information Technology*, (Dubai, UAE), pp. 362–366, Nov. 2007.
- [10] Y. Yang and R. Kravets, “Contention-Aware Admission Control for Ad Hoc Networks,” *IEEE Trans. Mobile Computing*, vol. 4, pp. 363–377, Aug 2005.
- [11] L. Hanzo II. and R. Tafazolli, “Throughput Assurances through Admission Control for Multi-hop MANETs,” in *Proc. 18th IEEE Int. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, (Athens, Greece), pp. 1–5, Sep. 2007.
- [12] R. Renesse, V. Friderikos, and H. Aghvami, “Cross-layer Cooperation for Accurate Admission Control Decisions in Mobile Ad Hoc Networks,” *IET Communications*, vol. 1, no. 4, pp. 577–586, 2007.
- [13] N. Kettaf, H. Abouaissa, T. Vuduong, and P. Lorenz, “A Cross layer Admission Control On-demand Routing Protocol for QoS Applications,” *Int. J. Computer Science and Network Security*, vol. 6, no. 9B, p. 98, 2006.
- [14] L. Chen and W. Heinzelman, “QoS-Aware Routing Based on Bandwidth Estimation for Mobile Ad Hoc Networks,” *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 23, pp. 561–572, Mar. 2005.
- [15] K. Sridhar and M. Chan, “Interference-based Call Admission Control for Wireless Ad Hoc Networks,” in *Proc. 3rd Int. Conf. Mobile and Ubiquitous Systems: Networking & Services*, (San Jose, CA, USA), pp. 1–10, Jul. 2006.
- [16] D. Nguyen and P. Minet, “Interference-Aware QoS OLSR for Mobile Ad-Hoc Network Routing,” in *Proc. 6th Int. Conf. Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing and First ACIS Int. Wksp. on Self-Assembling Wireless Networks (SNPD/SAWN’05)*, (Towson, MD, USA), pp. 428–435, May 2005.
- [17] H. Zhu and I. Chlamtac, “Admission Control and Bandwidth Reservation in Multi-Hop Ad Hoc Networks,” *Computer Networks*, vol. 50, no. 11, pp. 1653

-1674, 2005.

[18] C. R. Cerveira and L. H. M. K. Costa, "A Time-based Admission Control Mechanism for IEEE 802.11 Ad Hoc Networks", *Mobile and Wireless Communication Networks*, vol. 211, ch. pp. 217–228. Springer Boston, November 2006.

[19] I. D. Chakeres and E. M. Belding-Royer, "PAC: Perceptive Admission Control for Mobile Wireless Networks," in *Proc. 1st Int. Conf. Quality of Service in Heterogeneous Wired/Wireless Networks (QShine)*, (Dallas, TX, USA), pp. 18–26, Aug. 2004.

[20] A. Lindgren and E. Belding-Royer, "Multi-Path Admission Control for Mobile Ad Hoc Networks," *Mobile Computing and Communications Review*, vol. 8, no. 4, pp. 68–71, 2004.

[21] L. Luo, M. Gruteser, H. Liu, D. Raychaudhuri, K. Huang, and S. Chen, "A QoS Routing and Admission Control Scheme for 802.11 Ad Hoc Networks," in *Proc. Int. Conf. Mobile Computing and Networking*, (Los Angeles, CA, USA), pp. 19–28, Sep. 2006.

[22].Hadjichristofi, G.C., et al., "Routing, security, resource management, and monitoring in ad hoc networks: Implementation and integration." *Computer Networks*. In Press, Corrected Proof.

[23]. Manvi, S.S. and M.S. Kakkasageri, "Multicast routing in mobile ad hoc networks by using a multiagent system." *Information Sciences*, 2008. 178(6): p. 1611-1628.

[24]. Nie, N., C. Comaniciu and P. Agrawal, "A Game Theoretic Approach to Interference Management in Cognitive Networks." 2007. 143: p. 199-219-219.

[25].IEEE Standard 802.11e/D4.1.Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY)Specifications.Medium Access Control (MAC) Enhancements for Quality of Service (QoS) 2003