

一种新的 Ad Hoc 网络 QoS 框架

曾任杰, 余敬东

(电子科技大学通信抗干扰技术国家级重点实验室, 成都 610054)

摘要: 提出一种新的 Ad Hoc 网络 QoS 保障框架。该框架能够区分不同优先级的业务和不同 QoS 要求的业务。能够保障在网络可用资源不足的情况下, 高优先级的业务通过“抢占”的方式接入网络, 而同时保障低优先级的业务使用网络资源的最低容限。仿真显示该框架具有区分业务优先级和保障业务不同 QoS 要求的能力。

关键词: Ad Hoc 网络; 优先级; 服务质量

Novel QoS Architecture for Ad Hoc Networks

ZENG Ren-jie, YU Jing-dong

(National Key Laboratory of Communication Anti-disturbance Technology, Univ. of Electron. Sci. & Tech. of China, Chengdu 610054)

【Abstract】 This paper presents a QoS architecture for tactical Ad Hoc networks. The QoS architecture can differentiate traffics with different priority and different QoS demand. When there are not enough resources in the network, traffics with high priority can access network through “preemption”. This architecture also guarantees traffics with low priority to use network resources fairly. Simulation results show that this QoS architecture can satisfy traffics with different priority’s Qos demand.

【Key words】 Ad Hoc network; priority; QoS

1 概述

随着无线网络技术的迅速发展, 为 Ad Hoc 网络提供服务质量保障得到了越来越广泛的研究。目前已提出了多种针对 Ad Hoc 网络的 QoS 模型, 如 SWAN, INSIGNIA, CEDAR 和 CLAD^[1] 模型等。其中, INSIGNIA 模型和 CEDAR 模型是集中服务的模型, 存在其固有的可扩展性的问题, 不太适合大规模的 Ad Hoc 网络。而 SWAN 模型仅仅将业务分为尽力而为和实时业务两类。当前的 Ad Hoc 网络需要保证上级指示、突发情况等紧急业务优先接入网络并保证其服务质量(如较低的端到端时延)。为了适合当前网络的需要, 本文提出的 QoS 框架进一步区分了业务的优先级, 保证在网络高负载的情况下, 高优先级的业务通过“抢占”的方式仍然能接入网络, 并且通过分两级的分组调度算法保证紧急业务的端到端时延较低。

2 QoS 框架

本文提出的 Ad Hoc 网络 QoS 框架节点行为描述如图 1 所示。该 QoS 框架包含 6 个基本模块, 即业务分类标记模块、自适应带宽管理模块、常规接纳控制模块、优先级接纳控制模块、拥塞控制模块和 MAC 层分组调度模块。实时流通过优先级标记和业务分类后进入常规接纳控制模块, 如果可用带宽足够(通过自适应带宽管理模块探测), 则允许其接入网络。如果可用带宽不够接入, 则交给“优先级接纳控制模块”处理。“优先级接纳控制模块”将根据一些门限值判断是否允许该实时流接入网络, 并通过减少低优先级业务占用网络资源的方式让高优先级的业务接入网络。为了保证已经接入网络的实时流的 QoS 要求, 通过速率控制模块控制 BE(Best Effort) 流只能使用实时流使用后剩下的网络带宽。节点需要检测网络拥塞, 当拥塞发生时标记 BE 包的 ECN 字段, 并通过速率控制 BE 流来缓解网络拥塞。所有业务到达 MAC 层后,

分组调度模块依据业务不同的优先级和 QoS 需求对数据包进行分组调度, 保证相应的带宽和端到端时延。

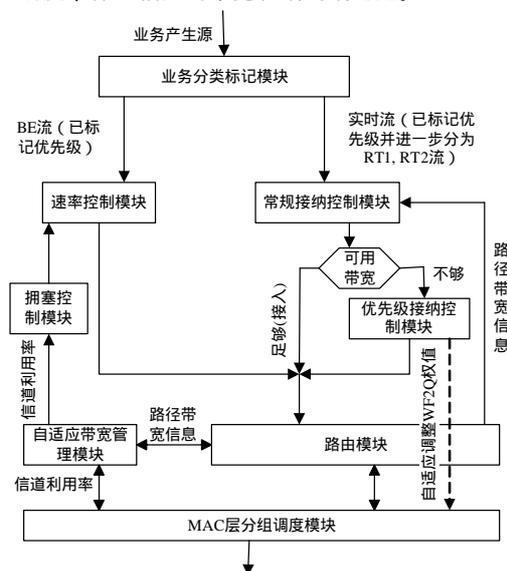


图1 节点行为描述

2.1 业务分类标记

业务分类标记模块主要有 2 个功能: 区分业务的优先级类型和区分业务的 QoS 需求类型。

本 QoS 框架将业务分为 8 个优先级(从优先级 0 到 7, 优先级依次升高)。在军事中, 紧急的命令、需要报告的突发情

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(10577007)

作者简介: 曾任杰(1982 -), 男, 硕士, 主研方向: Ad Hoc 网络; 余敬东, 副教授

收稿日期: 2007-11-20 **E-mail:** wszrj008@sina.com

况等业务应该标记为高优先级；而常规的业务应该标记为低优先级。业务分类标记模块根据业务的重要性和紧急性将其标记为不同的优先级。

业务分类标记模块将业务进一步细分为 BE 业务，对时延不敏感的实时业务(RT1)和对时延敏感的实时业务(RT2)，并作相应的标记。

(1)BE 业务：对服务质量(带宽、时延)没有特定的要求。该类业务在注入网络之后，主要通过“速率控制模块”来控制其发送速率。

(2)RT1 业务：对带宽有一定的要求，而对于传输时延没有特殊的要求，如文件传输业务、普通数据业务等。

(3)RT2 业务：对带宽和时延都有一定的要求，如话音业务，视频业务等。

2.2 自适应带宽管理

在本文 QoS 框架中，每个节点通过自适应带宽管理模块周期性的估计本节点的可用带宽，得到的带宽信息将被接纳控制模块使用。节点检测网络是否拥塞也是通过监测信道利用率来判断的。

本框架 MAC 层采用 IEEE802.11 协议，而估计可用带宽的方法是基于 IEEE802.11 无线信道的状态。每个节点将持续地监听信道状态的变化(从忙到空闲，从空闲到忙)，并计算出信道利用率。在每个时间段 T ，信道利用率 R =忙状态持续时间/ T 。为了平滑估计出的信道利用率，可定义一个平滑因子

$[0,1]$ 。假设在上一个采样时间段的信道利用率是 R_{t-1} ，而在当前采样时间段的信道利用率是 R_t ，那么当前时刻的信道利用率为 $R_t = R_{t-1} + (1 - \alpha)R_t$ ， $R_t \in [0,1]$ 。在正确估计了在 t 时刻的信道利用率后，可以计算出节点在 t 时刻的可用带宽 $BW_t = W(1 - R_t)$ ，其中， W 是原始信道带宽(标准 IEEE802.11 无线信道是 2 Mb/s)。

每个节点周期性地使用上述方法估计其可用带宽。常规接纳控制模块利用可用带宽信息来决定新申请流是否可以接入网络。一旦一个流接入网络并开始发送数据业务，其占用的带宽将在下一个可用带宽估计的周期里被自动地考虑进去，因此，该带宽管理模块具有自适应性。

2.3 常规接纳控制

为保证服务质量，实时流首先通过常规接纳控制模块判断可否接入网络。判断可否接入的标准是看路径带宽(即路径上所有节点的最小可用带宽)是否足够。源节点发出带宽探测包探测路径带宽。中间节点收到探测包后，比较其可用带宽是否小于探测包中存放的带宽值，若小于，则将探测包中的存放值更新为该节点可用带宽。这样，探测包到达目的节点后其存放的带宽值就是路径带宽。常规接纳控制模块比较实时流的申请带宽是否小于路径带宽，若小于，则允许该实时流接入网络，否则交给优先级接纳控制模块处理。

2.4 优先级接纳控制

当探测到路径带宽不足的情况下，需要保证高优先级的业务仍然能够接入网络，即使可能牺牲一些低优先级业务的服务质量。

每个节点都维护了一张“优先带宽表”，如表 1 所示。在表 1 中，“占用带宽”表明了不同优先级的业务各自占用了多少该节点的带宽，所有优先级的“占用带宽”之和就是该节点的“总已用带宽”。优先级业务各自的“相对带宽占用率”通过“占用带宽”/“总已用带宽”得到，“相对带宽占用率”反映了该优先级业务相对于所有其他业务占用带宽的份额，

它将成为自适应调整 WF^2Q 分组调度权值的依据(见 2.6 节)。

“最小所需带宽”反映了满足该优先级业务类型的 QoS 要求所需的最小带宽，如表 1 中优先级业务类型 7 包含一条 [320 Kb/s, 400 Kb/s] 的自适应实时流(320 Kb/s, 400 Kb/s 分别对应自适应实时流需要的最小和最大带宽)，那么优先级业务 7 的“最小所需带宽”= $320+10=330$ Kb/s(规定任何优先级的 BE 流的最小带宽使用量为 10 Kb/s)。当网络资源不足时，节点可以根据不同优先级业务的“最小所需带宽”来减少该业务的占用带宽，为更高优先级的业务腾出带宽。假设表 1 节点总带宽为 2 Mb/s。

表 1 优先带宽表

优先级	占用带宽/(Kb·s ⁻¹)	相对带宽占用率/(%)	最小所需带宽/(Kb·s ⁻¹)
7	380	20.0	330
6	450	23.7	350
5	250	13.2	180
4	90	4.7	60
3	130	6.8	90
2	180	9.5	140
1	70	3.7	50
0	350	18.4	290

下面说明不同优先级业务的“优先级带宽占用率”的概念。不同优先级业务的“优先级带宽占用率”的计算公式是：

优先级带宽占用率=“占用带宽”/(节点总带宽-所有高于该业务优先级的业务的占用带宽) (1)

“优先级带宽占用率”反映了一定优先级的业务在所有比其优先级低的业务之中占用的带宽份额。而某类优先级业务在路径上的“优先级带宽占用率”就是取其在路径上所有节点的本地“优先级带宽占用率”的最大值。将优先级业务在路径上的优先级带宽占用率的门限设置为 70%(可以根据不同的网络状况改变)，以此作为是否允许该优先级业务接入网络的指标。

当某个业务流申请接入网络时，发现路径上的可用带宽不足，这时它将发送一个沿着路径传送的“优先级带宽占用率探测包”(Priority Bandwidth Probing packet, PBP 包)来预测如果该流接入网络后其所属优先级业务在路径上的优先级带宽占用率是否超过了接入门限(70%)。PBP 包包含一个域用于存放该业务流的申请带宽值，一个域用于存放路径上的“优先级带宽占用率”。中间节点收到 PBP 包后，先预测如果申请流接入网络后其所属的优先级业务在该节点的本地“优先级带宽占用率”。方法就是在计算“优先级带宽占用率”时，将式(1)中“占用带宽”加上该业务流的申请带宽后再除以(节点总带宽-所有高于该业务优先级的业务的占用带宽)。然后，比较算出本地的“优先级带宽占用率”是否大于 PBP 包中的存放值，如果大于，则将 PBP 包中的存放值更新为新算出的“优先级带宽占用率”；如果小于，则不做改动。如图 2 所示。

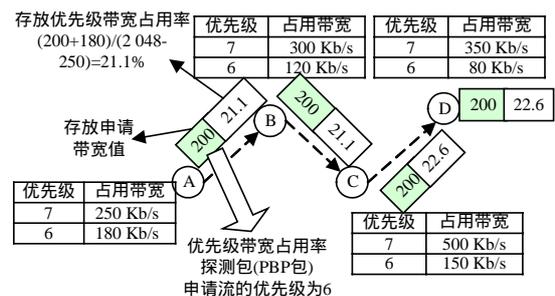


图 2 路径上的“优先级带宽占用率”探测过程

假设一条优先级为 6 的实时流申请 200 Kb/s 的带宽，通

过上述算法,可以预测出如果该实时流接入网络后,其所属优先级业务类型在路径上的“优先级带宽占用率”为22.6%。

探测出路径上的“优先级带宽占用率”后,源节点比较其值是否超过了门限70%,若超过了门限,则拒绝接入该流,这样总是为较低优先级的业务留出了一部分带宽,保证了低优先级的业务访问网络资源的最低容限。若没有超过门限,则应该允许接入该流。这时,源节点发出沿着路径的“带宽疏通包”,在路径上为该申请流腾出足够的带宽以便接入。路径上的中间节点收到“带宽疏通包”后,需要降低那些优先级低于申请流的业务流的带宽使用量为该申请流腾出足够的带宽。

腾出带宽可通过2个阶段完成,先减少低优先级流的占用带宽,若还不行则中止一些低优先级的流。中间节点首先通知最低优先级的业务降低其发送速率到“最小所需带宽”,若腾出的带宽不够则继续通知次低优先级的业务降低其发送速率;若所有低于申请流优先级的业务都降低到“最小所需带宽”后腾出的带宽还不够,则需要通知产生业务的源节点中止一些流(仍然优先中止较低优先级的流)来腾出带宽直到腾出的带宽足够申请流接入为止。当路径上所有节点的带宽疏通过程完成之后,源节点就可以允许申请流接入网络了。

2.5 拥塞控制

在Ad Hoc网络中,由于移动和网络拓扑的改变,网络拥塞会很频繁的出现,因此需要拥塞控制^[2]来保证网络的QoS。当网络发生拥塞时,首先需要BE流降低其发送速率为实时流让出带宽。

要对网络拥塞进行控制,首先需要检测出网络拥塞。在本文的QoS框架中,主要是通过各节点监控其无线信道利用率来检测拥塞的,该信息可以由自适应带宽管理模块来提供。可以定义一个无线信道利用率的门限值,当无线信道利用率超过该门限值时,就可以认为该节点周围的网络进入了拥塞状态。

本框架主要通过通过对BE流的速率控制来避免网络拥塞。在本框架中,BE流只能使用实时流占用之后剩下的带宽。一旦一个新的实时流接入网络,速率控制模块将控制BE流的发送速率为新的实时流让出带宽。而为了避免BE流的带宽完全被实时流占用,本框架总是为BE流预留了很小的一部分网络带宽。对BE流的速率控制的基本思想是所有的BE流在开始时以一个很小的速率发送,当没有拥塞时可以逐渐地提高BE流的发送速率。一旦检测到拥塞,节点立即标记BE包的ECN字段,所有收到有ECN标记的BE流的节点都将降低BE流的发送速率来避免网络拥塞。速率控制模块控制BE流速率的升高和降低的机制可以采用“加性递增和乘性递减”(AIMD)算法。若拥塞仍然持续,拥塞控制模块将暂停一些低优先级的实时流来进一步缓解拥塞。

2.6 MAC层的分组调度

MAC层的分组调度模块内部结构如图3所示,采用分两级的分组调度机制。先将上层数据包按照不同的业务优先级排队(共8个队列),并通过WF²Q分组调度算法^[3]进行调度。WF²Q可以根据不同优先级业务的相对带宽占用率自适应调整其调度权值,使调度分配的带宽与该优先级业务类型的实际占用带宽相匹配。然后,每个优先级队列再按照流类型排队,分为BE流、RT1流和RT2流3个队列。采用EDF分组调度算法^[4]进行调度,保证对时延敏感的RT2流的端到端时延较低。

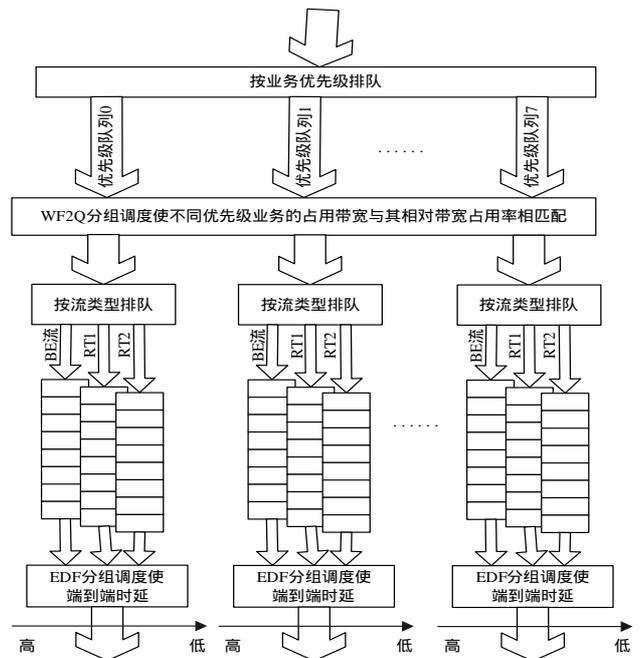


图3 MAC层分组调度模块内部结构

3 仿真及结果讨论

本文采用OPNET网络仿真平台,在2 km×2 km场景中,对不同规模的Ad Hoc网络进行了仿真(从100个到1100个节点)。网络分别采用了本QoS框架、SWAN模型以及不采用任何QoS模型。路由层采用OLSR路由协议,MAC层采用IEEE802.11协议,无线信道带宽为2 Mb/s,节点产生的业务被分为4个优先级(优先级4~优先级7),初始占用带宽分别为400 Kb/s,500 Kb/s,500 Kb/s和600 Kb/s。仿真模拟了采用本QoS框架的网络在负载趋于饱和的情况下,高优先级业务(优先级7)申请接入网络的情况。以及不采用QoS模型、分别采用本QoS框架和SWAN模型的网络在网络规模增大时业务端到端时延变化的情况。仿真结果如图4、图5所示。

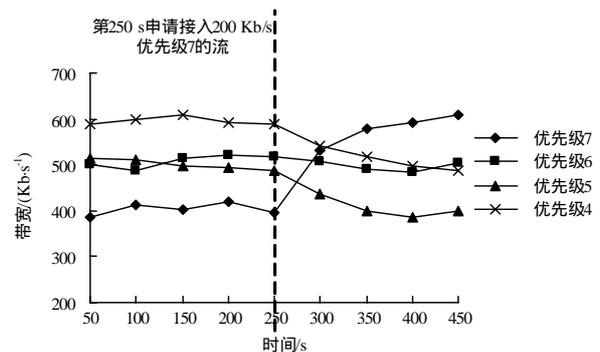


图4 优先级7的流的接入

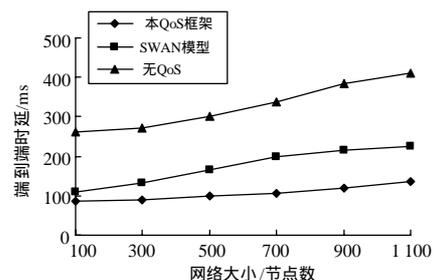


图5 采用不同QoS框架的业务端到端时延

(下转第150页)