

摘要

LTE作为第三代移动通信系统的长期演进技术，将支持具有不同传输速率和服务质量(Quality of Service, QoS)要求的多媒体业务，同时为用户提供更高的数据传输速率。而网络中的无线资源是有限的，如何有效地使用和管理系统中的无线资源是移动运营商最为关心的问题之一。无线接纳控制作为无线资源管理的一个重要组成部分，它通过限制接入系统中用户的数量来防止系统过载，是无线网络为接入用户提供QoS保证的一个重要手段，对维持系统的正常运行具有重要的意义。

无线接纳控制主要用于判断是否允许一个新的连接请求接入到网络中。在系统资源不足的情况下，如果不加限制的接入用户就可能导致已有连接的服务质量下降。而系统想要充分利用无线网络资源，就必须尽可能多的将用户接入到网络中。通常情况下，为了接入新用户，可以对一些已连接的用户进行业务降级。无线接纳控制的引入可以尽量满足这两方面的要求，在两者之间找到平衡点。

本文首先研究了LTE系统的特点，然后分析了LTE系统所承载的业务类型和QoS机制以及系统资源的分配方式。最后在借鉴无线通信网络中具有普遍意义的接纳控制算法基础上，提出了两种适用于LTE系统的无线接纳控制策略。

策略一通过采用优先级与业务降级的机制来控制不同业务类型的用户是否允许接入到系统当中。根据不同业务之间优先级的差别，在同时接到连接请求时，优先接入优先级高的连接请求。在系统资源不足的情况下，通过优先级与业务降级的设定，高优先级业务可以对已接入系统中的连接进行业务降级来获得更多的资源，可以有效的保证高优先级业务的接入成功率。该算法对低优先级业务接入成功率没有兼顾，比较适用于优先保障高优先级业务服务质量的情况。

策略二为了保证各业务之间具有一定的公平性，在采用优先级与业务降级的同时，根据用户的日常习惯加入了等待队列。在系统资源紧张的情况下，不是直接拒绝用户的请求，而是将其放入相应的队列，在系统有剩余资源时，优先接入队列中的用户请求，这样保证了队列中的用户可以公平的接入到系统。由于在资源不足时加入了延时队列，系统的资源利用率也可以得到一定的提高。因此该算法在保证高优先级业务接入成功率的同时兼顾了低优先级业务，具有一定的公平性。

最后通过仿真对算法的性能进行了考察，验证了本文所提的两种策略可以有效的改善系统在阻塞率、掉线率以及资源利用率等方面性能。

关键词：接纳控制；LTE；优先级；QoS

Abstract

As the long term evolution technology of the third generation mobile communication system, LTE will support multimedia services which have different transmission rates and quality of service (QoS), meanwhile provide users with higher data transfer rates. However, wireless network resources are limited, so how to efficiently use and manage the wireless system resources is one problem of the mobile operators' top concerns. Radio admission control (RAC), as an important part of radio resource management, can prevent overloading system by limiting the number of access users in this system, which is an important method for the wireless network to guarantee QoS of access users, and is significant for the system to maintain its normal running.

RAC is mostly used to determine whether a new connection request is allowed to access to the work. In the case of insufficient system resources, if no restriction on access users, QoS of access users might be reduced. On one hand, as many users as possible should be allowed to access the system to take full advantage of the wireless network resources. On another hand, some access users could be degraded to release resources for the new connection request. The purpose of introducing RAC is to find a balance between these two respects.

In this paper, firstly the characteristics of the LTE system were studied, and then supported service types, QoS mechanisms and resources allocation scheme were analyzed. Finally, based on the universal meaning RAC algorithm of the wireless communication network, two RAC strategies suitable for LTE system were brought forward.

In Strategy one, whether new connection requests with different service types are allowed to access the system is determined by a criterion including service priority and service degrade. According the difference priority between the services, the highest priority connection request will be firstly allowed to access the system when there are a few connection requests at same time. When system resources are insufficient, the access lower priority services could be degraded for the higher priority connection request. This strategy could guarantee the access ratio of higher priority services, but no consideration on lower priority services. So it will suit to the case which priority protects the QoS of high-priority service.

In Strategy two, besides service priority and serve degrade, a few delay queues were introduced to improve the access equity, according to user daily habits. When system

resources are insufficient, a new connection request will be put to the corresponding delay queue, instead of being rejected directly. Once there are sufficient system resources, these requests in queue will be served prior to normal requests. Meanwhile, being benefited from delay queues, system resource utilization ratio could be improved somehow. This strategy could guarantee the access ratio of higher priority services, and give consideration on lower priority services.

Finally, the performance of the algorithm was investigated by simulation, it was proved that the two strategies proposed in this paper could do well in improving the performance on blocking rate, dropping rate and the resource utilization.

key words: Admission Control; LTE; Priority; QoS

第1章 绪论

1.1 论文研究背景及意义

近年来，移动通信在全球范围内得到了迅速的发展。当前第三代移动通信已经应用到人们的生活中，不仅为我们提供了更多的业务类型而且支持更快的数据传输。与此同时，移动通信技术也向能提供更高服务质量，实时地支持语音、视频、图像、高速数据等多媒体业务的下一代移动通信方向发展。截止到目前，移动通信的发展大概经历了三代^[1]，下面对其作简单的回顾：

第一代移动通信系统（1G）是基于频分多址（FDMA）技术的模拟蜂窝系统，仅支持普通的模拟语音业务。具有系统容量小、保密性差、通话质量不高、频率利用率低等许多不足之处，远不能满足人们对移动通信服务的需要。其典型的系统为美国的AMPS 系统和英国的 TACS 系统。

第二代移动通信系统（2G）是基于时分多址（TDMA）或码分多址（CDMA）技术的数字蜂窝系统，同第一代相比不仅支持语音业务还支持低速率的数据业务。但是随着移动新业务的不断涌现，也不能满足人们对新业务和高传输速率的需要。其典型的系统为基于 TDMA 技术的 GSM 系统和基于 CDMA 技术的 IS-95 系统。

第三代移动通信系统（3G）主要是基于码分多址（CDMA）技术的窄带数字通信系统，不仅支持语音和较高传输速率的数据业务，而且还支持多媒体业务。其典型的系统为 CDMA2000、WCDMA 与 TD-SCDMA 系统。

随着 3G 系统的商用，数据业务得到了显著的增长，多媒体业务也不断的涌现。与此同时无线接入技术与宽带无线技术不断融合，这都促使着移动通信向能够提供更大的系统容量、更高的数据传输速度及更全面的支持多媒体业务的方向发展。由于 3G 系统的核心网架构并没有完全脱离 2G 系统的架构，这将导致 3G 系统在数据传输速率、多媒体业务支持、无缝传输等方面存在一些局限性。所以人们迫切希望寻找突破性的空中接口技术与网络架构来进行下一代移动通信系统的研究，以此支持更大的带宽，把无线通信、多媒体通信、互联网等结合起来，满足人们对移动通信高速发展的需要。

为了保持在移动通信领域中技术和标准化方面的优势，打破 3G 系统中 CDMA 技术的垄断，同时增强频谱利用率以及提高系统的整体性能，第三代合作伙伴计划（3rd Generation Partnership Project, 3GPP）在 2004 年底开始了通用移动通信系统（Universal Mobile Telecommunications System, UMTS）技术的长期演进（Long Term Evolution, LTE）技术的标准化工作^[2]。LTE 在空中接口方面用频分多址（OFDMA）技术代替了 CDMA 技术，并采用了多输入多输出（MIMO）技术和自适应技术来提高数据传输速

率和系统性能。LTE 系统将提供更高的数据传输率、更多的业务类型以及更高的系统频谱利用率和较低的传输时延。随着多媒体业务的发展，人们对服务质量和传输速率的要求不断提高，同时对服务质量的感知也更加的敏感。用户希望能够随时随地快捷的接入到网络当中，并且享受低时延、高速率、无缝切换等优质服务，这就要求移动通信系统提供相应的服务质量保障。

对于移动通信系统来说，其无线资源是有限的，所以必须限制系统中用户的数量来保持系统的稳定运行。如何在有限的系统资源条件下，有效的分配和利用无线资源，尽可能多的支持用户接入系统并且保证其服务质量，同时最大限度的提高系统资源的利用率是无线资源管理的一个重要研究课题。在下一代移动通信系统中，多媒体业务对无线传输带宽的要求越来越高，而给不同种类的业务提供相应的 QoS 保障使得无线资源管理显得更加重要。无线资源管理涉及到系统中资源的分配与管理，目的就是通过一系列的有效机制来保证系统中的资源得到高效的利用，主要包括无线承载控制、无线接纳控制、连接移动性控制、动态资源分配、小区间干扰协调、负载均衡等几个方面。

无线接纳控制作为无线资源管理的一个重要方面，主要用于当一个用户发起连接请求时，系统根据用户连接请求的业务特征、要求的 QoS 以及当前无线资源的整体情况，按照一定的接入准则，来判断是否允许该用户接入到网络。由于系统容量是有限的，如果不加限制的接纳用户发起的连接请求，系统负荷就会过度增长，这将导致已接入系统中的用户服务质量变差，甚至出现掉线现象。这就需要无线接纳控制来限制系统中同时接受服务的用户数量，有效的避免系统过载，防止系统发生拥塞。其主要目的就是在保障已接入用户服务质量的前提下，尽可能多的接纳新用户的连接请求，提高系统资源利用率，并使系统处于稳定的工作状态。

LTE 系统能够承载多种混合类型的业务，对于不同类型的业务来说，其占用的系统资源如传输带宽和功率等都不相同，为了保证不同业务的 QoS 需求，需要有效的接纳控制策略来控制用户接入系统的数量，即要充分的利用系统中的无线资源，又要保证已接入系统中的用户服务质量。在考虑接纳控制时，一定要根据系统所提供业务的 QoS 要求以及系统本身的特点，才能制定出合理有效的接纳控制策略。当前已有大量的接纳控制算法，但它们大多数都是针对以往的 2G 或者 3G 系统，LTE 虽然是 3G 系统的演进版本，但是其无线接入技术与系统的网络架构都发生了改变，因此有必要根据 LTE 系统的特点，设计合理有效的接纳控制策略来保证系统中业务的 QoS 并提高系统的总体性能。

好的无线接纳控制策略对合理使用有限带宽资源、提高系统整体性能、改善用户 QoS 等方面具有重要的作用。因此研究并设计适用于 LTE 系统的无线接纳控制策略对有效防止系统过载、提高系统的性能、保障用户的服务质量、解决多媒体业务发展的

需求等具有重要的意义。

1.2 国内外研究现状

无线接纳控制（Radio Admission Control, RAC）又可称为呼叫接纳控制，作为无线资源管理的一个重要组成部分，一直以来都是国内外众多学者研究的热点问题，总体来看可以分为以下几大研究方向^[3]：

（1）对切换连接资源预留的接纳控制

在移动通信系统中，由于用户的移动性，在连接状态下可能会发生多次的越区切换。从用户的角度来看，因发生越区切换而引起的连接中断比阻塞一个新发起的连接更让人难以接受，所以通常情况下需要将用户的切换连接请求与新连接请求区别对待，并给予切换连接更高的优先级。在接纳控制时通常采用资源预留的方式^[4-6]使切换用户拥有更多的接入权，以此降低切换用户的中断率，提高用户的满意度。

（2）基于用户移动模型的接纳控制

在很多的研究中，对于切换连接的考虑一般都是以降低系统中所有用户的切换掉线率为出发点。而在实际的系统当中，固定区域内出现的用户，其移动的方向虽然是随机的但一般都会具有规律性。对越区切换的连接，有效的资源预留算法应该考虑用户的移动性模型，可以根据用户移动的历史记录或者预测用户的移动方向^[7-9]来进行动态的预留资源以保证用户顺利的进行越区切换，提高资源预留的灵活性。

（3）支持多业务类型的接纳控制

在早期的文献当中，研究的大多是网络中只存在语音和数据两种业务情况下的接纳控制。而在3G及下一代移动通信系统中，存在着大量不同类型的多媒体业务，并且不同类型的业务QoS要求各不相同^[10 11]，这就使得多业务类型系统的接纳控制算法更加复杂。因此，在考虑接纳控制算法时应该根据不同业务类型的特点，进行区别对待。通常的处理方法是将不同的业务类型划分优先级^[12]，使高优先级业务比低优先级业务在接入系统时拥有更多的优先接入权。

（4）保证QoS参数的接纳控制

在接纳控制中，通常采用的QoS参数是新连接的阻塞率与切换连接的掉线率，一般用这两个参数来评价接纳控制策略的性能。但是随着自适应技术的发展，多媒体业务可以采用不同的传输速率，即系统负载大时，采用较小的速率传输，系统负载小时，则以较大的速率进行传输。由于业务传输的速率具有灵活多变性，这样就出现了一些新的QoS参数^[13 14]，比如降级率、升降级频率等。因此在考虑接纳控制时，通常还需要考虑这几个方面的性能指标。

（5）对相邻小区干扰考虑的接纳控制

很多接纳控制算法仅考虑一个孤立小区内用户的接纳控制，而不考虑切换用户，

并且忽略新接入用户后对相邻小区产生的影响。由于系统中存在小区间干扰等问题^[15], 所以接纳控制算法需要考虑所有小区是否都允许接入该用户的情况。

针对以上几大研究方向, 虽然近年来提出的接纳控制算法比较多, 但是通常都是针对某一种特定的移动通信系统而提出的, 具有一定的局限性, 往往不适用于具有多样化业务流特性的多媒体移动网络, 因此不能完全的照搬应用于 LTE 系统中。

对于 LTE 系统来说, 无线接纳控制算法的研究才刚刚起步, 目前已经取得了一定的研究成果^[1-2 16-25]。但是一般考虑的业务类型比较单一, 仅把业务类型分为实时业务与非实时业务, 或者假设系统中语音和数据业务速率恒定^[1 3]。文献[1]中提出的 RAC 算法, 仅考虑系统中存在语音和数据两种业务的情况, 没有考虑多媒体业务的特点以及系统中存在大量可变速率的业务。文献[3]中提出了一种基于吞吐量和用户 QoS 要求的接纳控制算法, 只考虑了系统中存在 FTP 一种业务情况下的接纳控制策略。文献[18]中提出了一种适用于 LTE 系统的基于资源估计的接纳控制算法, 主要根据系统的剩余资源是否满足用户的连接请求来判断是否接入该用户, 该算法只根据用户的最小申请速率进行接入判断, 能够使用户尽可能多的接入到系统当中。

尽管 LTE 的系统架构同已有移动通信系统相比有很大的区别, 所采用的接纳控制策略也会有所不同, 但是接纳控制的目标是一致的。因此在考虑接纳控制算法时可以参考已有的 RAC 算法, 然后结合 LTE 系统具体的特点, 制定出适用于 LTE 系统的无线接纳控制策略。

1.3 论文内容与结构安排

本文采用理论分析与仿真验证的方法对 LTE 系统中的无线接纳控制策略进行了研究与论证。首先分析了 LTE 系统的特点与关键技术以及所提供的业务 QoS 保障机制, 然后在研究以往移动通信系统中典型 RAC 策略的基础上, 提出了两种适用于 LTE 系统的无线接纳控制策略, 并分别进行了仿真与分析。下面对本文的总体结构与研究内容进行简单的描述。

第 1 章 绪论

首先介绍了论文的研究背景及意义, 包括移动通信的发展历史和现状, 然后分析了国内外对无线接纳控制算法的研究方向与现状, 最后给出了本文的主要研究内容与论文的结构安排。

第 2 章 LTE 系统概述与无线接纳控制分析

首先对 LTE 的特点、系统架构与功能划分等分别进行了介绍, 接着对 LTE 系统的无线资源管理做了简单分析, 最后对无线接纳控制进行了研究, 并对以往典型的接纳控制算法进行了详细的分析与总结。

第 3 章 LTE 中基于剩余资源的接纳控制研究

这一章主要介绍与 LTE 中接纳控制策略相关的知识，首先对 LTE 系统的基本资源及其分配方式进行了分析，接着介绍了 LTE 系统的 QoS 保证机制，最后在借鉴以往接纳控制策略并结合 LTE 系统的 QoS 机制的基础上，提出了本文所研究的接纳控制策略。

第 4 章 一种基于优先级与业务降级的接纳控制策略

本章主要参考了以往基于优先级的接纳控制策略思想，同时根据系统中存在大量可变速率业务的特点加入了业务的降级机制，提出了一种基于优先级与业务降级的接纳控制算法。最后对该算法进行了仿真与分析，验证了基于优先级与业务降级的接纳控制策略可以在较高资源利用下的情况下，降低新用户的阻塞率和切换用户的掉线率，提高了系统的性能。

第 5 章 一种基于公平性的接纳控制策略

本章主要根据用户的日常习惯特点，为用户加入了延迟等待队列，在资源不足时，对发起连接请求的用户不是直接拒绝，而是将其放入相应的业务等待队列，等待一段时间后再次接入系统。如果用户在等待时间内有剩余资源则接入，否则才会拒绝，这样可以增加低优先级业务的接入成功率，同时该算法也采用了业务降级机制，能够优先保证高优先级业务的接入。最后通过仿真分析，验证了该算法能够在优先保证高优先级业务的同时兼顾低优先级业务，具有一定的公平性。

最后对本文的研究工作进行了总结与展望，首先总结了本文所做的研究内容，然后展望了下一步的学习与工作方向。

第 2 章 LTE 系统概述与无线接纳控制分析

2.1 LTE 系统概述

随着移动通信技术的迅猛发展，无线通信系统逐渐向移动化、宽带化趋势发展。为了应对 Wi-Fi、WiMAX 等传统与新兴的宽带无线接入技术的市场挑战，3GPP 启动了 LTE 项目，在空中多址技术方面用 OFDMA 技术代替了 CDMA 技术，同时在无线接入网结构方面也发生了较大的变化。为了降低用户的时延，LTE 以全新的扁平架构代替了 UMTS 标准长期采用的无线控制器 RNC 节点。在系统架构方面，与 LTE 相对应的系统架构演进（System Architecture Evolution, SAE）项目也推出了崭新的演进型分组系统（Evolved Packet System, EPS）架构^[2]。总体来说，LTE 系统将是一个低时延、高数据率和全分组的移动通信系统，它将为用户提供高速的数据传输服务。

2.1.1 LTE 的系统架构及功能划分

从整体上看，同已有移动通信的系统架构类似，LTE 的系统架构仍由两部分组成，包括演进后的分组交换核心网（Evolved Packet Core network, EPC）和演进后的接入网 E-UTRAN，其系统架构如图 2-1 所示。

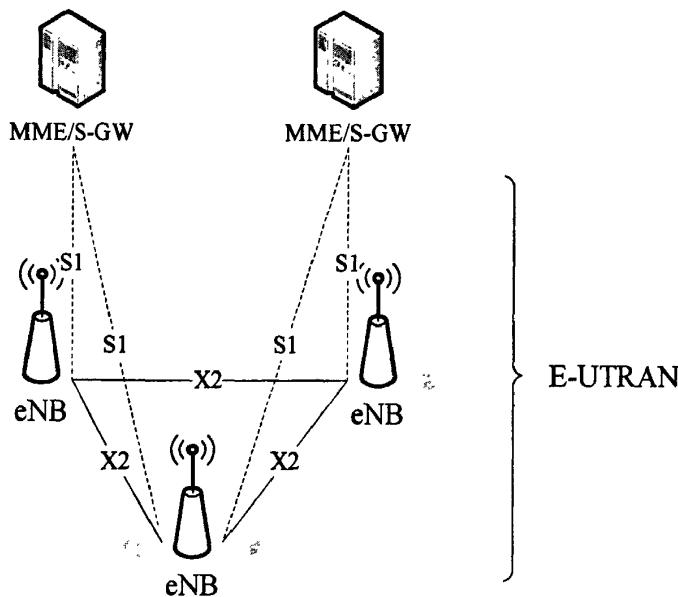


图 2-1 LTE 系统架构

其中接入网 E-UTRAN 仅由演进后的节点 B (evolved Node B, eNB) 组成，eNB 之间通过 X2 接口互联，LTE 接入网与核心网之间通过 S1 接口进行连接。S1 接口的用户面终止在服务网关 (Serving Gateway, S-GW) 和移动性管理实体 (Mobility

Management Entity, MME) 上。与 3G 网络架构相比, LTE 接入网中去掉了无线网络控制器 (Radio Network Control, RNC) 节点, 只包含了 eNB 一种逻辑节点, RNC 的功能被分散到了 eNB 与核心网中。由于网络架构中减少了节点数量, 网络架构会更加趋于扁平化, 这种扁平化的网络架构有利于简化网络的复杂度和减少时延。

由于 LTE 系统改变了系统的网络架构, 所以其核心网与接入网之间的功能也会随之发生一些变化。对于 LTE 系统的架构, 其网络功能划分如图 2-2 所示。

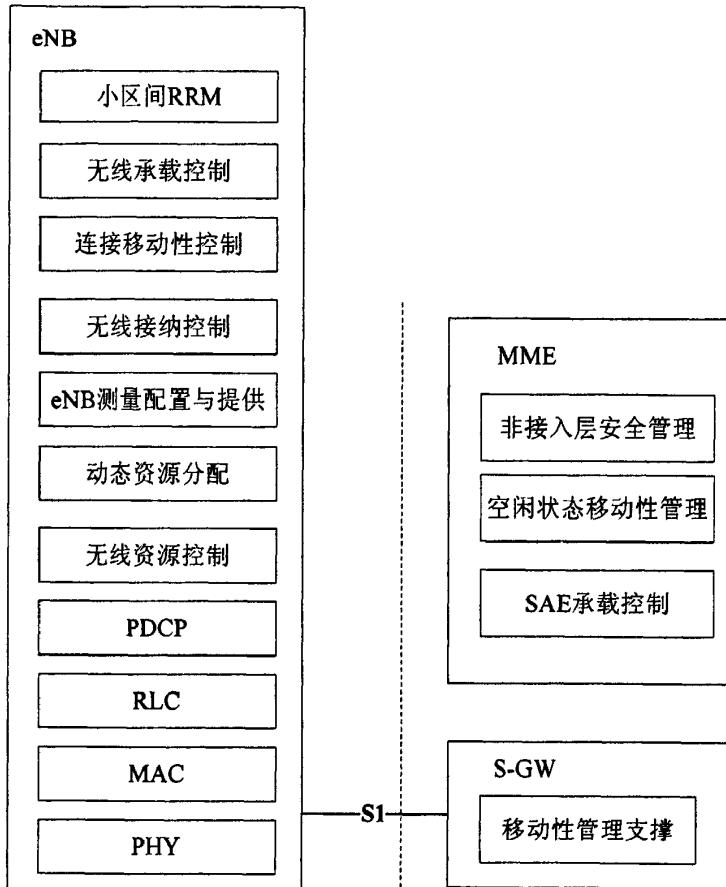


图 2-2 接入网与核心网之间的功能划分

其中 eNB 具有的功能主要有: 无线资源的相关管理、IP 头压缩与用户数据流的加密、UE 附着时的 MME 选择、提供 S-GW 的用户数据的路由、寻呼消息的调度与传输、系统广播信息的调度与传输、测量与测量报告的配置等。

MME 具有的功能主要有: 寻呼消息分发、安全控制、空闲状态的移动性管理、SAE 承载控制、非接入层信令的加密与完整性保护等。

服务网关具有的功能主要有: 终止由于寻呼原因产生的用户平面数据包、支持由于 UE 移动性产生的用户平面切换等。

2.1.2 LTE 系统的特点

LTE 作为 3G 的下一代长期演进技术, 其性能指标主要包括以下几个方面的内容:

(1) 支持频谱的灵活性配置

支持不同大小的频带尺寸，从 1.4~20MHz。具体可以支持 1.4MHz、3.0MHz、5MHz、10MHz、15MHz、20MHz 等不同的系统带宽，同时可支持成对和非成对的频段部署，从技术上保证了 LTE 系统可以使用 3G 系统的频谱。

(2) 显著提高峰值数据率和频谱利用效率

在数据传输速率及频谱利用率方面，在 20MHz 的频谱带宽情况下，下行峰值速率达到 100Mbps，即下行峰值频谱效率为 5bps/Hz；上行峰值速率达到 50Mbps，即上行频谱效率为 2.5bps/Hz。系统的峰值速率与系统占用的带宽成正比。

(3) 降低网络延迟

提供较低的网络时延，在用户平面内部单向传输延迟小于 5ms，控制平面从驻留状态到激活状态的时延小于 100ms。

(4) 增强系统的移动性能

在移动性方面，系统应对较低的移动速率（0~15km/h）进行优化，在更高的移动速度（15~120km/h）能够实现较高的性能，在高速的移动速率（350~500km/h）下能够保持蜂窝网络的移动性，支持用户的高速移动。

(5) 提高小区边缘用户的传输速率与系统的覆盖范围

通过频分多址、小区间干扰协调等技术提高小区边缘用户的传输速率和服务质量，同时增加小区的覆盖范围，最大可支持半径为 100km 的小区。

(6) 增强对多媒体广播与多播业务的支持

进一步提高对多媒体广播业务与多播业务的支持，满足多媒体广播业务、单播业务与多播业务融合的需求。

为了达到以上各项性能指标，LTE 系统不仅简化了系统架构，而且还采用了 OFDMA 技术、MIMO 技术、链路自适应技术、HARQ 技术、小区间干扰抑制技术等多项关键技术来提高其性能，下面分别对这几项技术进行简单的介绍。

(1) OFDMA 技术

传输与多址技术是无线通信空中接口技术的基础。LTE 中采用 OFDM 作为其传输技术，其原理是将高速的数据流分配到传输速率相对较低的若干个正交的子信道中进行传输，它具有良好的抗噪声性能及抗多径干扰能力。对于多址技术 LTE 用正交频分多址（OFDMA）技术代替了 3G 系统中常采用的码分多址（CDMA）技术，具体来讲就是下行传输采用正交频分多址（OFDMA）技术，上行传输采用基于正交频分复用（OFDM）传输技术的单载波频分多址（SC-FDMA）技术，其中 SC-FDMA 为单载波传输技术，具有较低的峰均比，非常适合于上行传输。根据 LTE 系统采用的上下行传输方式，可以有效的避免用户间的干扰。

(2) MIMO 技术

多输入多输出（Multiple Input Multiple Output, MIMO）技术是指在发射端与接收端分别采用多个发射与接收天线，信号通过发射端和接收端的多个天线进行传送和接收。采用 MIMO 技术不仅可以改善每个用户的服务质量，如误比特率，而且可以提高数据传输速率，进而提高系统的频率利用率。在 LTE 系统应用 MIMO 技术中上行基本天线配置为 1×2 ，即一根发送天线和两根接收天线，下行基本天线配置 2×2 ，即两根天线发送和两根天线接收，并且最大支持 4 天线进行下行方向四层传输。

（3）链路自适应技术

链路自适应技术的核心是自适应调制和编码（Adaptive Modulation and Coding, AMC）技术，其基本原理是根据当前无线信道的变化情况，快速动态的随信道环境变化改变调制和编码的方式，最大限度的实现用户的传输数据要求。LTE 下行链路在所有的频率资源上采用相同的 AMC 配置，即对于一个用户的数据流，在一个传输时间间隔（TTI）内，一个层 2 的数据单元（PDU）只采用一种调制编码的组合，而在 MIMO 的不同流之间采用不同的 AMC 组合。LTE 的上行链路自适应除了包含 AMC 外，还包括传输带宽的自适应和发射功率的自适应。用户发射带宽的自适应调整主要是在平均信道条件下，用户的能力和要求的数据传输速率的调整。

（4）HARQ 技术

混合自动请求重传（Hybrid Automatic Repeat-reQuest, HARQ）技术是前向纠错编码（FEC）和自动请求重传（ARQ）技术的结合。FEC 技术可以提高传输的可靠性并且产生的时延较小，但缺点是存在的编码冗余会降低系统吞吐量，ARQ 技术在误码率不大时可以得到理想的吞吐量，但缺点是产生的时延较大。为了克服这两种技术的缺点，同时利用两者优点，可以将这两种方法结合，即采用 HARQ 技术。

（5）小区间干扰抑制技术

OFDM 技术比 CDMA 技术更好地解决了小区内干扰的问题，但是 OFDM 系统的小区间干扰（Inter-Cell Interference, ICI）比 CDMA 系统更加严重。由于 OFDMA 技术和 SC-FDMA 技术能够提供颗粒度可分的物理块资源，因此通过对系统的物理资源块进行划分及分配，控制物理资源块的发射功率或者进行干扰抵消来补偿多个小区间的干扰，以此提高用户在小区边缘的数据传输率。

2.2 LTE 系统的无线资源管理

对于移动通信来说，系统中无线资源的概念是比较广泛的，既可以是频率也可以是时隙，还可以是功率。但是不论从哪个角度来说系统的无线资源都是有限的。随着移动通信技术的不断发展，系统所支持的业务类型日愈增多，用户数量也持续不断的增长，这将造成不断增加的用户需求与有限的无线资源之间的矛盾日趋明显。因此如何合理有效的利用有限的系统资源来满足日益增长的用户需求，一直以来都是无线资

源管理 (Radio Resource Management, RRM) 的主要任务。

RRM 主要研究的是如何对无线系统中所提供的有限资源进行规划和管理, 目的是通过合理的分配与调整系统中的可用资源, 在有限系统带宽的条件下, 为网络中的用户终端提供 QoS 保障, 并且提高系统的无线资源利用率。

传统的 RRM 主要包括无线资源分配、功率/速率控制、切换管理、无线接纳控制、拥塞控制和负载均衡等。它的目标是在有限的无线网络资源条件下, 为网络中的用户提供服务质量的保障, 其基本出发点就是在网络话务量分布不均匀、信道特性发生起伏变化等情况下, 通过一定的机制灵活地分配与动态地调整无线传输端和网络中的可用资源, 最大限度地提高无线资源的利用率。

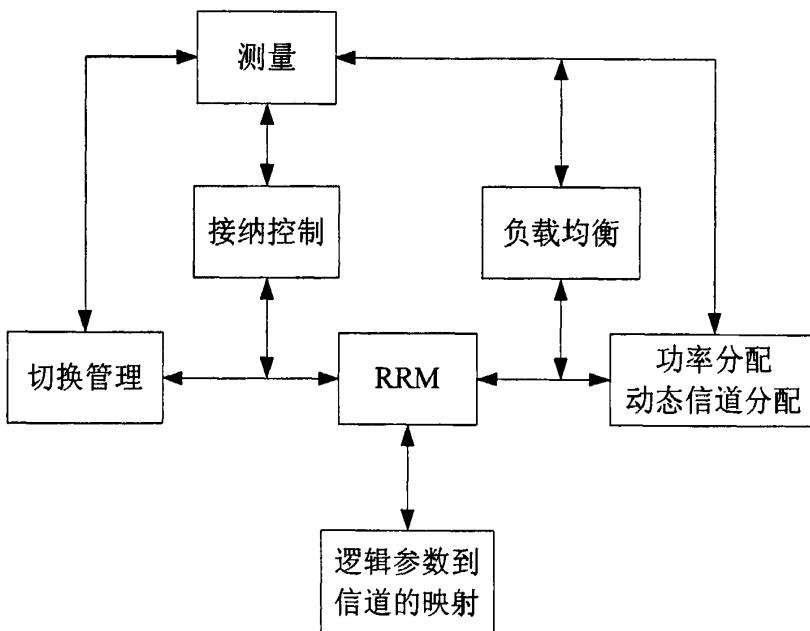


图 2-3 RRM 基本功能及其联系

图 2-3 给出了传统 RRM 的基本功能及其联系。首先, 无线接纳控制模块根据系统中用户发起连接业务请求的 QoS 要求与系统中的负载情况来判断是否允许用户接入到网络中。然后 RRM 模块为用户分配功率、带宽、时隙等系统资源来保障用户的业务 QoS 需求。由于系统中的用户是动态的, 随时都可能有用户发起连接请求或终止连接, 这样会造成系统资源的不断变化, 为了避免系统发生拥塞, 就需要执行相应的拥塞控制功能, 比如通过协商降低用户的 QoS 级别, 这种情况通常在无线接纳控制阶段也要考虑。由于网络中用户的移动性, 当用户从一个小区移动到另一个小区时, 这就需要通过越区管理为用户提供相应服务保障, 最后 RRM 模块将相关的参数映射到物理信道上。

RRM 在第一代、第二代及第三代移动通信系统中都得到了广泛与深入的研究, 同时获得了大量成熟的解决方案与研究成果。在 LTE 系统中, 由于采用了一些新的物理层技术以及发生了网络架构的改变, 使得 RRM 更加的复杂同时也增加了一些新的

功能。

LTE 系统中的无线资源管理主要由无线接入网完成，主要涉及到空中无线资源的管理与分配。为了维持无线通信系统的正常运行，既需要对单个小区内的无线资源管理，也要对多个相邻小区之间的无线资源进行管理^[2]。主要包括无线承载控制、无线接纳控制、连接移动性管理、动态资源分配、小区间干扰协调、负载均衡无线技术之间的无线资源管理等几个方面，下面分别对其进行简单的介绍。

(1) 无线承载控制

无线承载控制（Radio Bearer Control, RBC）主要用于对无线承载相关的资源进行配置，不仅包括无线承载的新建请求和承载的保持服务请求，也包括无线承载结束服务时的释放资源请求。当为一个服务建立无线承载时，需要综合考虑当前系统中整体无线资源的分配情况，不仅考虑该新建服务连接的 QoS 需求，还要考虑正在接受服务的用户所需要的 QoS 需求，然后根据总体状况进行相关的资源配置。

由于系统中的用户不是固定不动的，可能发生从一个小区切换到另一个小区或者服务结束等情况，所以系统中的无线资源的通常是不断变化的，因此无线承载控制不仅需要管理正在进行会话的用户占用的资源，而且还要管理用户因发生结束会话、越区切换等其它情况下发生的无线资源释放。

(2) 无线接纳控制

无线接纳控制（Radio Admission Control, RAC）主要用于判断一个新建的无线承载请求是否允许接入到系统中。在进行接纳控制判断时，不仅需要考虑系统中剩余无线资源能否满足该请求新建无线承载的 QoS 需求，而且还要考虑接入该新建请求后是否对正在进行服务的用户产生影响。如果系统剩余资源足够并且接入后不会影响已接入用户的服务质量则接受，否则拒绝该请求。无线接纳控制的目标是在保证正在进行的会话满足适当的 QoS 情况下，尽可能多的接纳无线承载的新建请求，提高系统资源的利用率。

(3) 连接移动性控制

连接移动性控制（Connection Mobility Control, CMC）主要用于对移动用户在空闲模式或者连接模式下进行相关的管理。在空闲模式下，为小区重选算法提供门限值、滞后量等一系列的参数，使用户能够选择最好的服务小区接受服务。在连接模式下，为支持切换决策提供负载情况、业务量分布、系统当前资源情况等信息，使用户判断是否从当前服务小区切换到其它小区。连接移动性控制还包括对相应的用户进行参数测量及配置。

(4) 动态资源分配/分组调度

动态资源分配（Dynamic Resource Allocation, DRA）又称为分组调度，主要包括与无线承载相关的功率、无线资源块等进行选择和管理。在进行资源分配时不仅考虑

无线承载的 QoS 需求、当前信道的状况及系统当前缓冲区的状态等信息，还要考虑由于小区间干扰协调后可用资源信息，通过有效的机制对无线资源进行动态与合理的分配，保证用户的服务质量。

（5）小区间干扰协调

小区间干扰协调（Inter-cell Interference Coordination, ICIC）是指通过一定的技术对小区中的无线资源的进行配置将小区之间的干扰水平抑制在一定的允许范围内，降低小区边缘地带的干扰，提高边缘用户业务质量的满意度。

小区间干扰协调技术需要同时考虑多个小区的资源使用状态信息与业务负载状态信息，然后采用不同的小区间干扰协调方法降低小区间的干扰，提高系统容量。

（6）负载均衡

负载均衡（Load Balancing, LB）主要用于多个小区之间业务量分布不均匀的情况下，通过均衡繁忙小区与空闲小区之间的业务量，来避免系统发生拥塞，同时保证系统中已连接的用户 QoS 需求保持在一个合理的水平，提高小区之间总的无线资源利用率。

（7）无线接入技术间的无线资源管理

无线接入技术之间的无线资源管理常用于不同的无线接入技术之间，主要包括不同无线接入技术之间的切换策略与负载均衡等功能。无线接入技术间的切换策略主要考虑无线接入技术系统中的资源情况、UE 能力以及运营策略等相关信息，来保证用户在不同无线接入技术之间的切换。而负载均衡主要考虑不同的接入技术之间的业务量情况与系统中资源利用率等相关信息。

2.3 无线接纳控制

无线接纳控制作为 RRM 中的一个重要组成部分，它是从用户接入的角度来解决系统资源有限性与用户需求两者之间的矛盾。当一个用户发起接入系统请求时，系统根据一定的接纳控制算法判断是否接纳该用户的请求，通过限制接入用户的数量来防止系统过载以及维持系统的稳定。

2.3.1 接纳控制简介

在无线移动网络中，接纳控制主要用于当一个用户发起无线承载连接请求时，判断是否接纳该用户，如果当前系统中的资源能够满足该用户的连接要求，则接入该用户并为其分配相应的资源，否则拒绝该用户的连接请求。

由于用户的移动性，接纳控制需要处理两种类型的用户发起的连接请求，一种是新用户发起的连接请求，另一种是切换用户发起的连接请求。其中新用户发起的连接请求是由当前小区中的用户发起的连接，切换用户的连接请求是由其他小区中的移动

用户发起的，这属于用户因移动性需要切换到当前小区中的连接请求。当这两类用户发起连接请求时，如果该小区中有足够的资源供其使用，则接入该连接，即用户成功接入到网络中；如果当前小区中没有足够的资源供其使用，则该连接将被阻塞或者拒绝，这将依赖于系统所采用的接纳控制策略。

接纳控制策略则是根据一定的准则或算法对用户发起的连接请求进行接入或者拒绝的判断，既要限制用户的数量以满足已接入系统内用户的服务质量，又要尽可能多的接入新用户的连接请求，提高系统的资源利用率。

由于接纳控制算法需要在系统的资源利用率与用户的服务质量之间寻求一种平衡，因此所制定的接纳控制算法的好坏可以直接影响到系统的性能。一般用以下三个指标^[3]来衡量无线接纳控制算法的性能。

- (1) 新连接阻塞率，表示新用户发起连接请求时被拒绝接入到网络的概率。
- (2) 切换连接掉线率，表示用户因移动性在不同的小区之间发生切换时，目标小区的资源不能满足用户的切换连接请求时被迫中断的概率。
- (3) 资源利用率，表示接入到网络中的所有用户各种应用占用的系统资源总和与系统所提供的总资源之比。

由于无线系统中的资源是受限的，所以对于系统中用户发起的连接请求，应该有选择的进行接入。如何在系统资源利用率最大化的前提下，最大限度的降低新用户的阻塞率与切换用户的掉线率是制定 RAC 算法的关键问题。

RAC 算法的好坏直接影响到新用户阻塞率和切换用户的掉线率以及系统的资源利用率，因此一个好的无线接纳控制策略必须在这三个指标之间进行均衡。在满足用户的 QoS 要求的前提下，尽量降低系统内新用户的阻塞率与切换用户的掉线率，提高用户对系统所提供服务的满意度。同时也要充分利用系统的资源，使系统提供者的利益得到最大化。

2.3.2 典型的接纳控制策略

近年来，接纳控制得到了国内外学者广泛深入的研究，并且取得了大量的研究成果，在一定程度上改善了系统的性能，提高了系统的资源利用率。总体来看，接纳控制策略都是在几种典型的 RAC 算法的基础上进行的研究，下面对这几种典型的接纳控制算法进行分析与总结。

(1) 基于资源预留的 RAC 算法

这种类型的算法在接纳控制中出现最早，也是研究最多与最成熟的算法。其主要思想是预留一部分资源专供系统中某些特殊的业务使用，其他业务不能使用，这样可以保证这些特殊业务拥有更多的接入权。早期的移动通信系统仅支持语音通话与低速的数据业务，其接纳控制算法相对比较简单，通常情况下会采用资源预留的方式，预

留一部分资源给语音用户，使得语音业务比数据业务拥有更多的资源，优先保证语音用户的服务质量。同时在移动通信系统中存在大量的切换用户，由于切换失败比新呼叫更让人不能忍受，所以会对切换用户与新用户区别对待^[25]，给予切换用户预留部分资源使其拥有更高的优先接入权，降低切换用户的掉线率。

基于资源预留的 RAC 算法一般可以分为两类：一类是基于固定资源预留，一类是基于动态资源预留。其中基于固定资源预留的 RAC 算法比较简单，主要思想是预留固定比例的系统资源，专供系统中某些业务类型的用户使用，可以是切换用户也可以是新用户，具体根据相应的策略决定，其他用户即使在资源紧张时也不能占用预留资源。这类算法可以有效的降低资源预留业务的阻塞率和掉线率，但也提高了其他用户的掉线率和阻塞率，同时可能造成一定的资源浪费。

基于动态资源预留的 RAC^[26-33]主要是为了克服固定资源预留的缺点而提出来的。其主要思想是根据系统负载的变化动态的预留资源，它可以随着系统负荷的变化而自适应的改变预留资源的数量，在预留资源业务类型的用户与普通业务类型的用户之间寻求一种平衡，在一定程度上提高了系统的性能。

（2）基于优先级的 RAC 算法

在早期的移动通信系统中，一般只有语音与数据两种业务类型，考虑优先级时一般会将语音业务的优先级高于数据业务。而在多业务无线移动通信或在下一代移动通信系统中，将会存在大量不同类型的业务，而各种类型的业务将会有不同的速率、时延等 QoS 要求^[34]。所以在考虑接纳控制算法时应该根据不同业务的特征进行区别的对待，一般情况下会根据一定的规则对系统中的业务类型划分优先级^[35]，在制定接纳控制策略时使高优先级业务比低优先级业务拥有更高的优先接入权，优先保障高优先级业务的服务质量。

为了增加高优先业务接入系统中的机会，在接纳控制判断时往往会根据某种算法设置一定的接入门限^[26-28]，使高优先级业务在接入系统时比低优先级业务拥有更多的资源。基于门限的算法能够保证高优先级业务的优先接入，降低高优先级业务的阻塞率与掉线率，但缺点是设置一定的门限，当高优先级业务过多的接入系统时，会造成低优先级业务的阻塞率增加，在高优先级业务比较少时，资源不能得到充分的利用，系统的资源利用率比较低。

（3）基于业务降级的 RAC 算法

在多媒体通信系统中，业务种类比较繁多，并且存在着大量可变速率的业务。针对这一特性，当系统资源用尽时可以通过对已接入系统中的可变速率业务进行降级处理^[36-40]，这样用户在发生切换或者新连接请求时，系统就可以利用这部分资源接入更多的用户到网络中，从而可以降低新用户的阻塞率或切换用户的掉线率。这种业务降级的 RAC 算法比较适用于可以提供多媒体业务的移动通信系统中，是下一代多媒体

移动通信系统中 RAC 研究的热点。

基于电路交换的通信系统不能较好的适应可变速率的业务，只要用户接入就要保证业务必要的传输速率，否则就会造成较大的错误传输，一般都是采用基于资源预留的 RAC 算法。而 LTE 系统是基于全分组的系统，所有的数据都是在分组域进行传输，并且系统采用了链路自适应技术，能够较好的支持可变速率的业务。在实际系统运行中，这种可变速率业务发起连接请求时是基于最大峰值速率的，但该业务不一定需要一直占用最大的系统资源，在资源紧张时就会造成一定的资源浪费。所以在制定接纳控制策略时可以利用系统中可变速率业务的特性，在资源不足时，根据剩余资源的不同情况自适应的改变已接入系统中可变速率业务的传输速度，灵活的分配资源，从而可以允许更多的用户接入到系统中，使资源能够更好的利用。

2.4 本章小结

本章首先对 LTE 系统做了简单的介绍，包括系统架构与功能的划分、性能指标、系统特点以及采用的关键技术等。然后分析了 LTE 系统的无线资源管理及其包含的几个重要组成部分。最后对无线接纳控制进行了概述，并总结分析了目前存在的几种典型的接纳控制算法，这些都是后续章节研究的理论基础。

第 3 章 LTE 中基于剩余资源的接纳控制研究

3.1 LTE 系统的基本资源及分配方式

由于 LTE 系统将空中多址方式改为 OFDMA/SC-FDMA 技术，所以其资源的映射与调度的方式将与基于 CDMA 技术的 3G 系统有着本质的差别。其中 OFDMA/SC-FDMA 可以在时域、频域和码域进行灵活的资源分配与调度，而 CDMA 系统只能在时域与码域进行资源分配与调度^[2]。这种动态的调度方式给 LTE 系统带来了一个最重要的变化，那就是在传输数据时将不再使用 3G 系统中使用的专用信道，代之以共享信道进行传输。也就是说在 LTE 系统中将不再为特定的用户长时间的保留固定资源，而是将用户需要传输的数据分割成更小的数据块，然后把来自多个用户的数据块通过高效的资源调度机制复用在一个大的共享数据信道中进行传输。因此这种调度方式可以较好地适应具有突发性特征的数据业务传输。

在 LTE 系统中，用户的数据都会经过信道的编码、交织与调制，然后将其映射到 OFDMA/SC-FDMA 的时频符号上，这种过程称为资源映射。如果依次将子载波进行资源映射，虽然能够给系统带来很大的灵活性，但是相应的信令开销将会比较大，可能会造成系统无法承受。所以在 OFDMA/SC-FDMA 系统中都会经过某种预定义的子载波组来完成资源映射，这个子载波组被称为资源块（Resource Block, RB）。在 LTE 系统中，只要经过信令指定相应的资源块，就可以完成对传输资源的映射。

资源块又分为物理资源块（Physical Resource Block, PRB）和虚拟资源块（Virtual Resource Block, VRB）两种。下面分别进行简单的介绍：

（1）物理资源块

在 LTE 中定义了 PRB 作为空中接口物理资源分配的基本单位，通常用它来描述实际系统中物理资源的分配情况。一个 PRB 在时域上包含 M 个连续的 OFDM 符号，在频域上包含 N 个连续的子载波，通常将 1 个 OFDM 符号 \times 1 个子载波定义为一个资源粒子（Resource Element, RE），则一个 PRB 包含 $M \times N$ 个 RE^[2]。

1 个 PRB 在时域上包含 7 个连续的 OFDM 符号（在扩展循环前缀的情况下为 6 个），在频域上包含 12 个连续的子载波^[41]。即在时间上对应一个时隙长度 0.5ms，在频域宽度上对应 180kHz 的物理资源。其结构如图 3-1 所示。

LTE 系统可以通过设置不同的子载波数目，实现从 1.4MHz 到 20MHz 的不同系统带宽，从而对应的可以将系统的物理资源映射为不同的物理资源块数目，例如：20MHz 对应 100 个 PRB 数目。

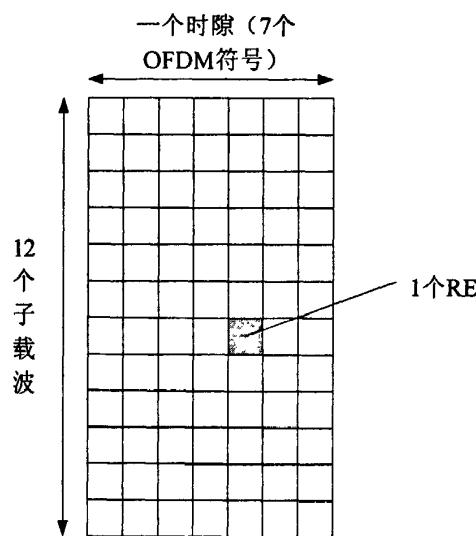


图 3-1 PRB 的结构

(2) 虚拟资源块

为了方便物理信道向空中接口时频域物理资源的映射，LTE 在定义 PRB 的基础上还定义了虚拟资源块（VRB），虚拟资源块的大小跟物理资源块相同，即包含 1 个时隙与 12 个子载波，虚拟资源块主要用来描述传输资源的映射方式。LTE 主要支持两种方式的资源映射：集中式分配和分散式分配，如图 3-2 所示。

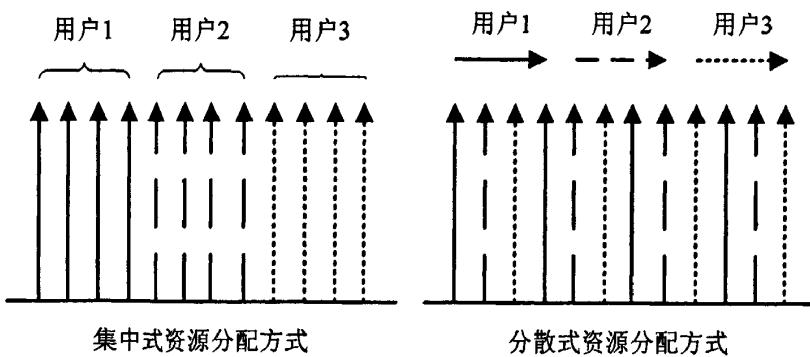


图 3-2 两种资源分配方式

集中式分配方式可以将若干个连续的子载波分配给同一个用户，然后通过系统的频域调度来灵活的选择子载波组进行数据传输。所以在这种分配方式下不仅可以获得频域上的调度增益还可以获得时域上的多用户分集增益，同时还可以降低系统信道估计的难度。但是这种分配方式的缺点是获得的频域分集增益较小，使得用户的平均性能略差。而分散式分配方式则是把分配给一个用户的子载波均匀的分散到整个系统带宽上。这种分配方式可以获得频率分集增益，但会使系统的信道估计变得更加的复杂，同时也不能采用频域调度。

因此这两种资源映射的方式各有优劣，具体可根据系统的实际情况来灵活的进行

选择。LTE 的下行支持集中式和分布式两种分配方式，而上行不支持分布式的资源分配，而是采用集中式资源分配结合数据信道调频的方式进行资源的映射。

3.2 LTE 系统的 QoS 机制

为了保证系统中各种多媒体业务的 QoS，LTE/SAE 沿用了 UMTS 中定义的端到端之间的 QoS 结构，并加入了多种承载及处理机制^[41]，以保证 EPS 系统可以充分的发挥自身的技术优势，为系统中的用户提供各种差异化的服务，并确保不同业务的 QoS 需求。

3.2.1 QoS 概述与业务类型

QoS (Quality of Service) 即服务质量，通常用它表示用户对网络所提供的服务的满意程度。网络为用户提供服务的最终目标就为用户提供端到端的 QoS 保证，从网络的性能角度来看，就是在保证用户 QoS 需求的同时，尽可能为更多的用户提供服务。

衡量服务质量的传统参数一般包括带宽、抖动、时延、丢包率、数据传输可靠性等。表 3-1 列出了一些广泛用于评价 QoS 需求的特征参数。

表 3-1 业务 QoS 的常用特征参数

种类	参数	说明
重要性	业务优先级	根据业务类型或用户、划分服务级别
用户感知的 QoS	图像质量	分辨率、像素等信息
	视频质量	帧速率和帧抖动
	音频质量	抽样速率和量化比特
	视频/音频同步	可用的带宽
时间	时延	传输一个分组的时间
	延迟抖动	传输时间的变化幅度
带宽	传输速率	每秒传输的数据分组
可靠性	丢失率或差错率	丢失或没有正确接收的分组率

同有线网络相比，无线通信网络的环境比较复杂，使得在无线通信中保证业务的 QoS 面临更大的挑战。这就要求在信道条件恶劣时，业务的 QoS 性能参数可以适当的放宽，甚至必要时在用户可以容忍的范围内降低其 QoS。然而对于某些关键性业务，即使在高负载的情况下，也必须确保其 QoS 不受影响，这将需要所在的网络提供相应的 QoS 保障机制。同时，多媒体业务的发展使得不同业务类型对 QoS 需求各不相同，这也要求网络针对不同的业务类型提供不同的性能保证。

为了使 3G 及下一代无线通信系统对多媒体业务有良好的支持，3GPP 组织对无线通信系统中承载的不同类型业务，按照各类业务对时延敏感度的不同，将系统中的业

务划分为会话类、流类、交互类、背景类等四种业务类型^[42]。其中这四类业务对 QoS 具有不同的需求，如表 3-2 所示。

表 3-2 各类业务的 QoS 需求

QoS 类别	会话类	流类	交互类	背景类
传输时延要求	严格限制 (实时)	限制 (实时)	宽松 (非实时)	无限制 (非实时)
传输时延抖动	严格限制	限制	无限制	无限制
低比特误差率	否	否	是	是
有保证的比特率	是	是	否	否

由于不同类型的业务都有自己独特的特点，下面分别对这四类业务进行简单的介绍。

(1) 会话类业务

会话类业务是实时性业务，其特点是端到端的时延小，业务量上下行呈现对称或者几乎对称。这种类型业务最典型的应用是早期电路交换承载上的话音业务，比如基于电路交换的 GSM 系统承载的语音业务。在因特网与多媒体网络中的许多新的应用中，如 IP 电话、视频会话等都属于会话类业务。

对于会话类业务来说，一般需要考虑的 QoS 指标是传输时延与时延抖动。因为会话类业务可以提供多个用户终端之间的会话传输，受本身感觉器官的限制，通常需要会话类业务具有实时性，所以影响会话类业务 QoS 的指标关键是传输时延与时延抖动。因为严重的时延或时延抖动会影响会话的质量，造成正常的通话无法进行下去。由于人们对传输中的丢包率不是那么敏感，所以可以允许数据的传输有一定的误差。

通信网络中为了保障会话类业务的 QoS 指标，通常认为该类业务是恒比特率 (Constant Bit Rate, CBR) 业务，并且将该类业务设为最高的优先级，在接纳控制时优先考虑该类业务的连接请求。

(2) 流类业务

流类业务也属于实时性业务，但该类业务对实时性的要求比会话类业务要低，影响该类业务 QoS 的重要指标也是时延与时延抖动。流类业务容许通信过程中存在一定的丢包率与错包率。这类业务最典型的应用是人们在网络上欣赏的音视频节目。

因为流类业务对实时性要求没有会话类业务高，因此该类业务在时延与时延抖动方面没有会话类业务那么敏感，允许的最大时延抖动主要取决于终端的能力与用户可容忍的范围。通常可以在本地设置一定的缓存来保持该类业务的连续性。

根据流类业务的这些特性，通信网络中通常将该类业务设为仅次于会话类业务的优先级。该类业务属于可变比特率 (Variable Bit Rate, VBR) 业务，所以在系统资源充足时以较大的速率进行传输，当系统资源紧张时可以降低其传输速率，以该类业务

可容忍的最小速率进行传输。

(3) 交互类业务

交互类业务属于非实时性业务，一般是指用户终端与远程的设备进行数据的交互，其中用户终端可以是人也可以是机器。该类业务的特点是请求一响应模式。其中最典型的应用有 Web 浏览、在线网络游戏等。

影响交互类业务的 QoS 指标通常是时延与丢包率。该类业务对时延的要求比会话类业务稍长，但比流类业务稍短，一般取决于人们愿意等待的时间长度。该类业务对时延抖动一般没有要求，但对丢包率比较敏感，需要在传输过程中保持较低的差错率，通常采用上层应用来保证零丢包率。

交互类业务同样属于 VBR 业务，通信中对该类业务的处理往往采用灵活的资源分配策略，在资源比较充足时，容许以申请的最大速率进行传输，而当系统拥塞时，可以适当的降低该类业务的传输速度供高优先级业务接入。

(4) 背景类业务

背景类业务也属于非实时性业务，该类业务对数据的传输时间没有特别的要求，但对数据的丢包率要求比较高，同样需要通过上层应用来保证其零丢包率。最典型的应用包括 E-mail、SMS 或者接收一些文件和数据库的下载。

该类业务也属于 VBR 业务，因为该类业务对传输速率没有特别要求，并且对时延与时延抖动的要求也比较低，所以网络中一般采用传统 IP 网络中尽力而为的方式来处理交互类业务。当用户发起背景类业务连接请求时，网络首先判断当前系统中是否有剩余的容量，如果有则接入该用户，但是并不保证该类业务的数据传输速率。并且当系统拥塞时，其他类别的业务还可以临时占用该类业务占用的系统资源，将其放入等待队列，在资源空余时再次为该类业务提供服务。

3.2.2 LTE 的 QoS 保证机制

由于 LTE/SAE 系统优化了接入网结构，由 UMTS 的 RNC 和 Node B 两个节点简化到只有 eNode B 一个节点，使得接入网的结构更加趋于扁平化，从而在 QoS 的结构上也发生了一些改变。演进系统的 QoS 结构对 UMTS 进行了简化，并在其基础上进行了诸多的增强与改进。首先，为了更好的适应未来数据业务的高速、突发等特征，提高用户的体验，减少业务建立的时延，引入了默认承载的概念。即在用户接入网络的同时，为该用户建立一个默认承载来保证其基本的业务需求。其次，LTE 系统在 R-UTRAN 中取消了专用信道，而采用共享信道的机制，并采用更加灵活的动态调度机制。在 LTE/SAE 中给出了默认承载、专用承载、GBR/Non-GBR 承载等与 QoS 相关的概念，下面对其进行简单的介绍。

默认承载：系统为了满足用户默认的 QoS 指标与数据的信令等而建立的一种承

载。该类承载可简单地认为是系统为用户建立的尽力而为的 IP 连接承载。

专用承载：系统对某些特定的业务而建立的一种承载。一般情况下该承载的 QoS 要求比默认承载的要求高。

GBR/Non-GBR 承载：保证比特速率（Guaranteed Bit Rate, GBR）承载是一种能够提供给用户专用的网络资源，以满足其承载需要的保证比特速率，并且可以在承载建立或修改过程中通过接纳控制等功能永久的分配给这个用户。GBR 承载能够保证用户需求的比特速率恒定不变。而 Non-GBR 承载是一种系统不能保证一个承载的速率不变的承载。

专用承载即可以是 GBR 承载也可以是 Non-GBR 承载，但默认承载一般只能是 Non-GBR 承载。其中 GBR 承载主要用于语音、视频、实时游戏等对速率要求较高的业务，而 Non-GBR 承载主要用于各种对速率要求不高的数据业务。一个业务选择 GBR 承载还是选择 Non-GBR 承载主要根据运营商的策略来决定。

UE 与 MME/S-GW 都要执行端到端的业务 IP 流到 SAE 承载服务的映射，其中包括业务所需求的 QoS。SAE 承载服务的架构^[43]如图 3-3 所示。

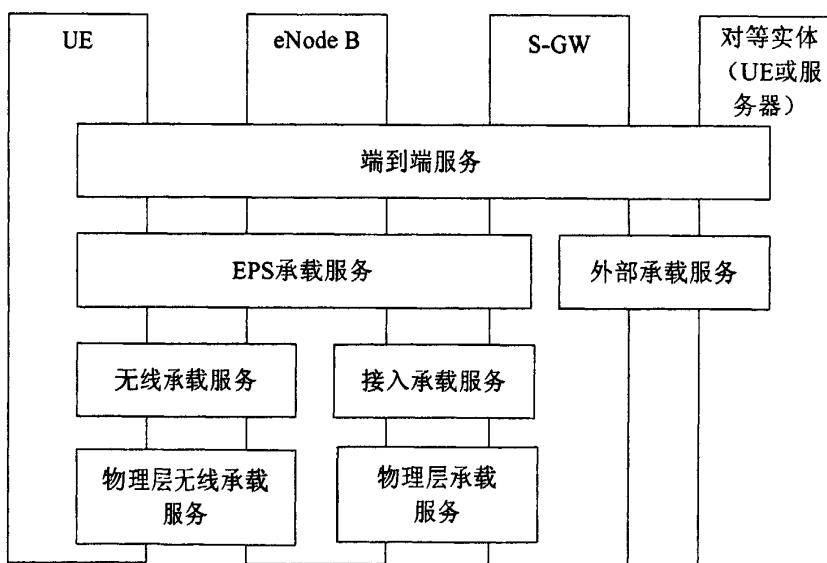


图 3-3 SAE 承载服务的架构

承载服务主要是向给定的 QoS 提供相关的控制信令、用户平面传输和 QoS 管理等各个方面功能。一个 EPS 承载可以通常与以下承载级的 QoS 参数相关。

(1) QoS 类别标志 (QoS Class Identifier, QCI)

QCI 是一个标度值，可以同时应用于 GBR 承载与 Non-GBR 承载，它主要用在同指定访问节点内的控制承载级分组转发方式相关的参数定义。比如调度权重、队列管理门限、接纳门限、链路层协议的配置等，这些参数可以由运营商预先配置到接入网的节点中。

(2) 分配和保留优先级 (Allocation and Retention Priority, ARP)

ARB 也是同时应用于 GBR 承载和 Non-GBR 承载。它的主要功能是决定系统中发起的承载请求是否可以建立或者修改。尤其判断 GBR 承载的无线容量是否有效，以及在资源受限时拒绝承载请求的建立。同时 eNode B 可以使用 ARP 来决定资源在紧张或容量受限时优先丢弃哪一个承载。

其中每个 GBR 承载还与下列承载级 QoS 参数相关。

(1) 保证比特速率 (Guaranteed Bit Rate, GBR)

GBR 表示系统提供给 GBR 承载的比特速率。

(2) 最大比特速率 (Maximum Bit Rate, MBR)

MBR 表示系统能够提供给 GBR 承载的最大比特速率。它表示 GBR 承载数据速率的上限，一般情况下 MBR 的值大于或等于 GBR 的值。

每个 UE 则与下列承载级 QoS 参数相关

聚合最大比特速率 (Aggregate Maximum Bit Rate, AMBR)

AMBR 是在 LTE/SAE 系统中提出的概念。在这个概念下，系统中同一个用户发起的多个承载请求可以共享同一个 AMBR，即其中的每个承载都可以使用全部的 AMBR。例如当 5 个 EPS 承载拥有一个 5Mbit/s 带宽时，当其中四个承载在某些时刻没有承载业务流量时，剩余的一个承载可以完全使用这 5Mbit/s 的带宽；如果 5 个承载都有业务流量，则它们共享这些带宽。AMBR 提供给一个 UE 的所有 Non-GBR 承载，GBR 承载不包括在 AMBR 中。

3.3 LTE 中基于剩余资源的接纳控制

由于 LTE 系统物理层采用了 SC-FDMA/OFDMA 技术，并且其 QoS 机制也与 3G 系统有所不同，所以在制定接纳控制策略时只有充分考虑这两方面的特点，才能制定出符合 LTE 系统特点的接纳控制策略。

3.3.1 基于剩余资源的接纳控制概述

如前面的章节所述，LTE 系统的基本资源是按照物理资源块进行分配的，因此在制定 LTE 系统的接纳控制时，主要考虑的是基于剩余资源的接纳控制策略。

当前人们对 LTE 中基于剩余容量的接纳控制策略已经进行了很多研究，但目前已有的大多数接纳控制算法^[1 3 17-24]，仅单独的考虑一种业务^[3]或者考虑语音与数据两种业务^[1]，而没有考虑 LTE 系统所提供的多种业务类型的 QoS 特性。

在 LTE 系统中，会话类业务是典型的实时业务，并且一般是 CBR 业务，要求端到端的延迟和抖动比较小，此类业务需要用 GBR 承载来保证其 QoS 需求，流类业务也属于实时业务，但对传输的时延要求相比会话类业务宽松，可以认为是 VBR 业务，只要能保证其最小速率即可，因此在 LTE 系统中也需要用 GBR 承载。交互类业务的

特点是请求-响应模式，对延迟几乎没有要求，也属于 VBR 业务，只要保证一定的速率即可。背景类业务不要求有传输速率的保证，并且对传输延迟没有限制，所以在 LTE 系统中可以用 Non-GBR 进行承载，提供尽力而为的服务。在考虑接纳控制时可以利用以上各类业务对速率的不同要求，制定合理有效的接纳控制策略。

3.3.2 接纳控制判断准则

基于剩余资源的接纳控制原理如图 3-4 所示，当有用户发起无线承载请求时，首先判断用户的业务类型，然后根据当前系统中剩余资源的情况进行判断是否接入。其主要判断准则就是当前系统中是否有足够的资源来满足用户的业务需求，如果资源足够则接入该用户，否则拒绝该用户的连接请求。

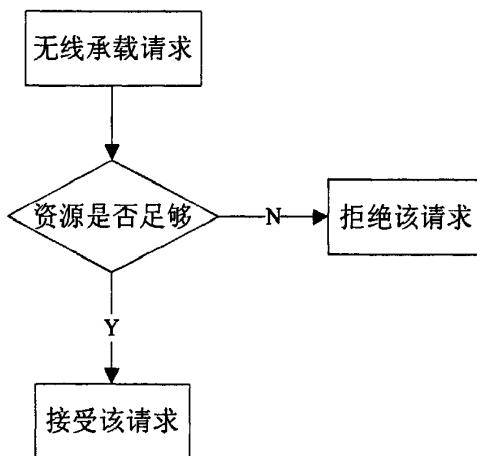


图 3-4 基于剩余资源的接纳控制原理

在 LTE 接纳控制算法中主要关注系统是否有足够的资源来满足用户申请连接业务需要的 GBR 要求。如果满足则接受，不满足则拒绝，即：

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^K GBR_i + GBR_{new} \leq R_{max} & \text{接受} \\ \sum_{i=1}^K GBR_i + GBR_{new} > R_{max} & \text{拒绝} \end{cases} \quad (3-1)$$

其中 K 表示已接入系统中的用户数， GBR_i 表示已接入系统中第 i 个用户所需要的可保证比特速率， GBR_{new} 表示新发起连接请求的用户所需要的可保证比特速率， R_{max} 表示系统可以提供的最大传输速率。

由于 LTE 系统的资源是按照一定的资源块进行传输的，所以其基本的接纳控制算法可以描述为当业务到达时，在每个传输时间间隔（Transmission Time Interval, TTI）中系统是否有足够的物理资源块来支持用户发起请求所需要的物理资源块的数目。如果满足则接受，否则拒绝，即：

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^K N_i + N_{new} \leq N_{total} & \text{接受} \\ \sum_{i=1}^K N_i + N_{new} > N_{total} & \text{拒绝} \end{cases} \quad (3-2)$$

其中 N_i 表示系统中第 i 个已连接用户所分配的资源块数, N_{new} 是新用户申请分配的资源块数, N_{total} 是系统总的资源块数。

在 LTE 系统中, 根据用户的 GBR 请求以及当前网络中的上下行信道状态信息, 在每个 TTI 内 eNodeB 为用户提供的物理资源块数目 N_i 可以通过式 3-3 来计算^[14 44]:

$$N_i = \frac{GBR_i}{BW_{PRB} \times BW_{eff} \times \eta \times \log_2(1 + \overline{SINR}_i)} \quad (3-3)$$

其中 GBR_i 表示第 i 个用户要求的可保证速率, BW_{PRB} 为每个 PRB 占用的带宽, BW_{eff} 表示系统带宽效率, η 是一个归一化的修正参数, \overline{SINR}_i 表示用户在整个频段上的平均信干噪比。

在实际的系统当中, 对于已经接入系统并得到服务的用户, 其所占用的物理资源块 N_i 可以在 eNodeB 处通过计算分配给这些用户的平均物理资源块来得到。

3.3.3 本文提出的接纳控制策略

根据 3GPP 的定义, 各类业务的优先级如表 3-3 所示。当有用户发起连接请求时, 接纳控制策略首先判断其申请的业务类型, 然后根据系统中的剩余资源情况判断是否接纳该用户。

表 3-3 四类业务的优先级定义

类别	3GPP 定义	优先级	典型业务
1	会话类	高	语音通话
2	流类	中	在线视频、可视电话
3	交互类	低	网页浏览、网络游戏
4	背景类	最低	电子邮件

从表 3-3 中可以看出, 各种类型的业务具有不同的优先级。当用户发起连接请求时, 一般使高优先级业务比低优先级业务拥有更多的接入权, 优先来满足高优先级业务的 QoS 需要。另一方面, 从用户的角度来看, 在连接过程中发生切换时被迫强制中断比发起新连接被阻塞更令人难以忍受, 所以在考虑 RAC 算法时, 不仅考虑业务之间的优先级还要考虑切换用户与新用户之间的优先级。通常情况下会给予同类业务的切换用户比新用户拥有更高的优先级, 提高用户的满意度。

本文在研究 LTE 标准的基础上, 结合其特点提出了两种适用于 LTE 系统的接纳

控制策略。

第一种策略是基于优先级与业务降级的机制，通过优先级与业务的降级，来判断优先接入哪种类型的业务。按照优先级的接入保证了高优先级业务的接入成功率，在系统资源紧张时，引入业务降级机制，可以接入更多的用户，降低系统中新用户的阻塞率与切换用户的掉线率，从而使得系统的资源能够充分的利用，付出的代价是低优先级业务的接入成功率没有得到一定的保证。

第二种策略是基于公平性，根据系统中用户的日常习惯，加入了延迟等待队列。在系统资源不足的情况下，不是直接拒绝用户的连接请求，而是将其放入相应的等待队列，在系统有空余资源时，优先接入队列中等待用户的连接请求，这样减少了优先接入高优先级业务对低优先级业务造成的影响，兼顾了低优先级业务的接入成功率，可以实现一定的公平性。同时因为加入了延迟等待队列，资源的利用率也可以得到相应的提高。

3.4 本章小结

本章主要对 LTE 中基于剩余资源的接纳控制相关知识进行了研究，首先介绍了 LTE 系统的基本资源及其分配方式，然后分析了 LTE 系统的 QoS 机制，最后提出了两种适用于 LTE 系统的接纳控制策略，为下面章节的接纳控制算法提供了理论支持。在下面的章节中将对本文所提出的这两种接纳控制策略进行详细的阐述。

第 4 章 一种基于优先级与业务降级的接纳控制策略

4.1 接纳控制策略概述

LTE 系统不仅支持语音业务，同时还支持各种不同类型的宽带业务，如视频、高速数据、在线游戏等。支持多种业务类型将会导致无线接纳控制更加复杂，然而正因为有这么多的业务类型，更显得无线接纳控制的必要性和灵活性。

根据 LTE 承载业务的类型可分为 GBR 业务和 No-GBR 业务，其中 GBR 业务要求该业务在连接中提供有保证的速率；而 No-GBR 业务在连接中不需要系统提供有保证的速率，在系统负载较轻时以较大的速率传输，负载较重时，则以较小的速率传输。在考虑接纳控制时，我们可以利用系统中存在大量可变速率业务的特性，在接入过程中，根据系统资源的利用情况动态的调节已接纳用户中可变速率业务，灵活的分配系统资源。当系统过载时，可以适当的降低网络中可变速率业务的传输速率来获得更多的资源，使更多的用户接入到网络中。针对可变速率业务的这种特点，已有大量的文献^[10-13 36-40]对其进行了研究，通常采用的是带宽借用与业务降级的方式，有效的利用可变速率业务的带宽灵活性来改善系统的性能。

本章提出的接纳控制策略正是利用系统中存在多种可变速率业务的特点，同时在考虑各类业务之间不同优先级的基础上，提出了一种基于优先级与业务降级的接纳控制策略。该策略可以动态的调整系统可变速率业务占用的资源，在拥有较高系统资源利用率的情况下降低系统中新用户的阻塞率与切换用户的掉线率。

4.2 无线接纳控制策略

4.2.1 方案设计

本文将考虑 3GPP 定义的会话类、流类、交互类、背景类等四种类型的业务，从前面章节的分析可知，在这四种类型的业务当中，只有会话类业务属于 CBR 业务，其它三类业务都属于 VBR 业务。

由于接纳控制主要考虑用户建立连接请求时对系统性能造成的影响，因此在 RAC 算法设计中可以只考虑业务对带宽的需求^[45]。在本文设计的 RAC 算法中仅将业务的最小保证速率与最大持续传输速率作为接纳控制判断的依据。

对于会话类业务，因为该类业务在接入系统时要求以恒定速率进行传输，所以其最小保证速率与最大持续传输速率相同。而流类、交互类、背景类业务在系统中不要求保证以恒定的速率传输该业务，其业务的传输速率具有可变性。其中流类与交互类业务要求在资源紧张时有最小传输速率的保证，所以这两种业务类型具有最小保证速

率和最大持续传输速率。而对于背景类业务，因为该类业务对传输速率没有要求，并且不需要系统为其提供最小速率保证，其最小传输速率可以为 0，所以在资源紧张时可以将该类业务挂起，等待系统有空余资源时再次为该类业务提供服务。

文献[17]提出了一种适用于 LTE 系统的基于资源估计的接纳控制算法，该算法在接纳控制时只考虑用户发起连接时所需要的最小保证速率，当系统资源能够满足该用户业务的最小保证速率时就接入该用户，否则就拒绝。由于该算法以业务所需的最小速率来进行接入，可以尽可能多的接纳用户的连接请求，因此有效降低了系统中新用户的阻塞率与切换用户的掉线率。

本章的接纳控制算法参考了文献[17]中只考虑业务最小速率的思想，然后根据系统资源占用量的情况，分别制定了不同的接入判断方式，如图 4-1 所示。

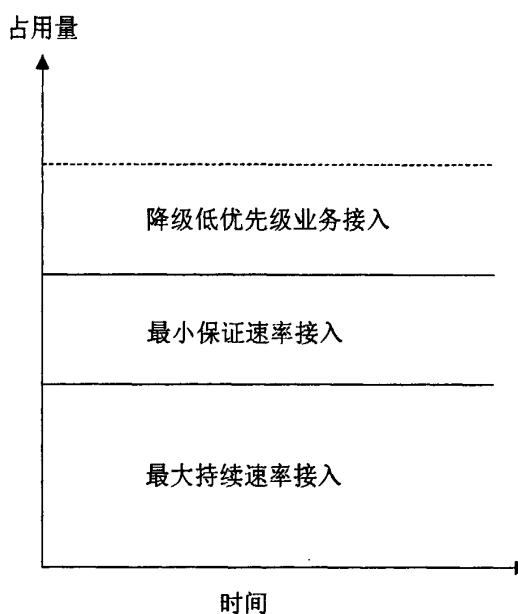


图 4-1 不同的接入判断方式图

从图 4-1 可以看出，系统资源在不同的占用量时，分别采用了不同的接入方式。在系统负载较低时，所有用户都以所申请业务的最大持续传输速率接入；当系统不足以满足业务最大传输速率的接入请求时，转入以业务的最小保证速率进行接入申请；在负载较重系统已不能满足用户最小保证速率接入时，可以灵活的利用已接入系统中可变速率业务的特点，降低可变速率业务的传输速率，但保证已接入用户的最小传输速率，以此获得更多的资源，然后再次判断是否满足用户的最小速率请求。如果满足则接入，否则拒绝用户的连接请求。

本章根据系统中存在 VBR 业务这一特性，针对资源占用的不同情况提出了一种基于优先级与业务降级的接纳控制算法，在资源紧张时通过业务降级来获得更多的资源，以此来降低新用户的阻塞率与切换用户的掉线率。

这里所说的业务降级并不是降低业务的服务质量，而是降低其传输速率。即在系统资源不足时可以将已接入系统中的 VBR 业务由较高的速率降到其业务要求的最小保证速率。算法中的业务降级可分为自身业务降级与降级其它业务两种。其中自身业务降级是指在用户发起接入请求时，当前系统不能满足其最大持续传输速率连接请求，就改为业务所需的最小保证速率再次进行连接申请。降级其它业务是当前系统资源不能满足高优先级业务发起的连接请求时，降级已接入用户中低优先级的 VBR 业务，即将已接入系统中的 VBR 业务由最大传输速率传输改为最小保证速率传输。

其中业务降级的规则如下：

- (1) 当用户发起连接请求，当前系统的剩余资源不能满足其业务最大传输速率时，首先进行自身业务的降级，即由最大速率转为最小速率进行连接申请。
- (2) 当高优先级业务到达时，如果当前系统的剩余资源不能满足其最小速率请求，系统可以对已接入用户中的低优先级业务降级，其中降级从低优先级业务开始。
- (3) 业务降级后必须确保该业务的最小保证速率，以保证该业务不会因为业务降级而影响其服务质量。

本文不仅考虑了业务之间的优先级而且还考虑了切换用户与新用户之间的优先级。各类业务之间的优先级如下：切换会话类业务>会话类业务>切换流类业务>流类业务>切换交互类业务>交互类业务>切换背景类业务>背景类业务。

为了使同类型业务的切换用户比新用户拥有更多优先权，有效降低切换用户的掉线率，算法中为切换用户与新用户分别设置了可降级的范围及通过降级可获得的额外带宽资源，如图 4-2 所示。其中新用户只能通过降级获得已接入系统中新用户的低优先级 VBR 业务占用的带宽资源，而切换用户可以通过降级获得系统中所有的 VBR 业务占用的资源。

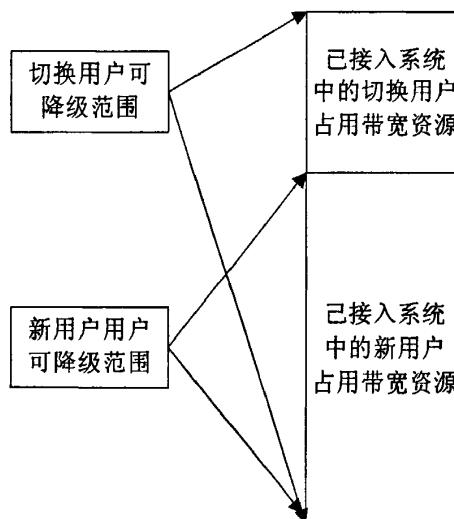


图 4-2 新用户与切换用户可降级范围

4.2.2 接纳控制算法描述

下面对本章所提出的 RAC 算法进行详细的描述：

当一个用户发起连接请求时，首先判断其业务类型，如果当前系统的带宽资源能够满足该用户最大持续速率传输请求时，则按照其请求的最大速率接入到系统。如果不能满足首先进行自身业务的降级，即检测是否满足该业务的最小速率传输请求，满足则按其最小速率请求接入到系统，否则降级系统中低优先级业务中的 VBR 业务。此时需要判断该用户的类型，是切换用户还是新用户，然后根据用户的不同类型执行以下不同的业务降级。

1、对于新用户发起的连接请求，根据其申请连接的业务类型，降级已接入系统中新用户的低优先级业务。各类业务执行的降级范围如下：

(1) 对于新用户发起的会话类业务连接请求，该类业务的优先级最高，可以降级系统中的背景类、交互类、流类等业务。

(2) 对于新用户发起的流类业务连接请求，该类业务比会话类业务优先级低，只能降级系统中的背景类与交互类业务。

(3) 对于新用户发起的交互类业务连接请求，该类业务比流类业务优先级低，只能降级系统中的背景类业务。

(4) 对于新用户发起的背景类业务连接请求，由于该类业务的优先级最低，不能降级其他类型的业务，如果系统资源不足时直接拒绝可能造成该类业务具有较高的阻塞率。由于该类业务对速率跟时延都没有特别的要求，所以在本章算法中为新用户的背景类业务连接请求设置一定的延迟等待队列，即在资源不足时将其放入一定的队列等待一段时间再判断是否接入。该等待队列的时间长度设置为 L ，当系统有资源时，如果该用户未超过时间长度 L ，则将其接入，否则阻塞。

2、对于切换用户发起的连接请求，根据其申请的业务类型，可以降级已接入系统中所有可降级的低优先级业务。各类业务执行的业务降级范围如下：

(1) 对于切换用户发起的会话类业务请求，可以降级系统中所有比自身业务低的业务，即可以降级系统中已接入的背景类、切换背景类、交互类、切换交互类、流类、切换流类、会话类等业务。

(2) 对于切换用户发起的流类业务请求，可以依次降级系统中已接入的背景类、切换背景类、交互类、切换交互类、流类等业务。

(3) 对于切换用户发起的交互类业务请求，可以降级系统中已接入的背景类、切换背景类、交互类等业务。

(4) 对于切换用户发起的背景类业务请求，可以降级系统中已接入的背景类业务。由于背景类业务自身的特点，在本算法中不直接拒绝该类业务的切换连接请求。当系统资源不能满足时，直接将该切换请求放入系统中背景类业务的服务等待队列，

直到系统有剩余资源时继续为其服务。因此，在下一节的仿真分析中，不讨论切换用户的背景类业务掉线率。

以上业务降级的顺序是从低优先级开始的，如果在降级过程中得到的带宽资源能够满足该用户发起业务请求的最小保证速率，则停止降级并接入该用户。如不满足，则一直按照业务的优先级顺序从低到高依次降级已接入系统中的低优先级业务，当所有可降级的业务都执行降级处理后，仍不能满足该用户的业务需求，则拒绝该用户的连接请求。该算法的流程图如图 4-3 所示：

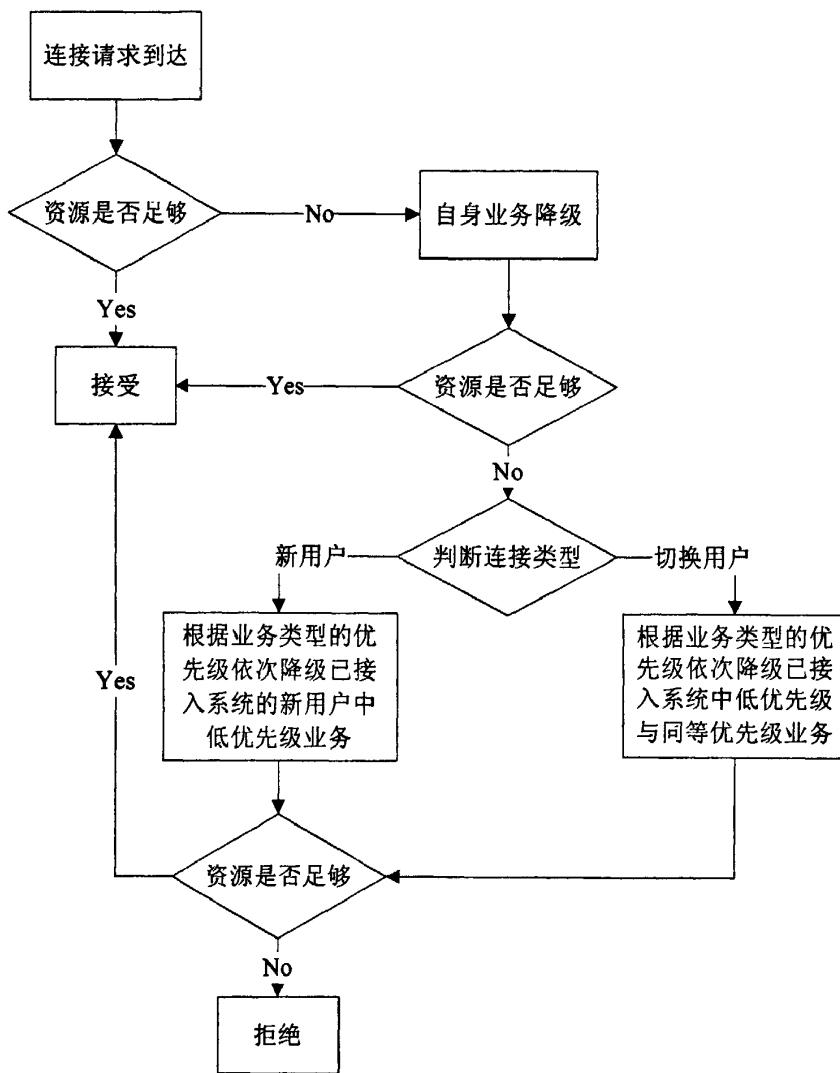


图 4-3 基于优先级与业务降级的接纳控制算法流程图

4.3 仿真结果与分析

4.3.1 仿真环境及参数设置

由于本节仿真研究的目的是评估基于优先级与业务降级的 RAC 算法对系统中新

用户的阻塞率和切换用户的掉线率等性能的影响，并且在接入判断时只将各类业务的速率要求与系统的可用带宽作为是否接入的依据，因而可以简化业务模型^[45]，其业务模型如图 4-4 所示。

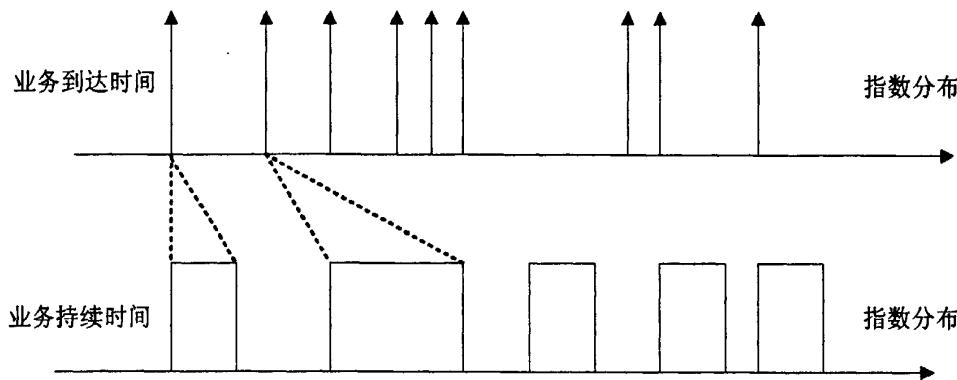


图 4-4 业务模型

假设各类业务的到达服从泊松分布，即业务请求的到达时间服从指数分布。新用户与切换用户发起连接请求的到达率之比为 2: 1，其中新用户与切换用户内部各类业务的到达率之比为 1: 1: 1: 1，各类业务服务时间服从不同均值的指数分布。不同业务类型的用户到达是相互独立的。同时假设系统总带宽资源为 18000 kbps，仿真中相同业务类型连接的 QoS 参数相同，各类业务的优先级及所需的传输速率如表 4-1 所示。

表 4-1 仿真中各类业务的速率

业务类型	优先级	最大速率 (kbps)	最小速率 (kbps)
会话类	高	18	18
流类	中	72	36
交互类	低	36	18
背景类	最低	36	0

4.3.2 仿真结果分析

针对本章所提出的接纳控制算法，采用 Visual C++ 6.0 仿真平台进行三种不同算法下的仿真对比其性能。

第一种算法为基本的接纳控制算法，该算法对各类业务进行优先级的定义，但未进行业务降级。即在系统资源不足时，不能对系统中的 VBR 业务进行降级。

第二种算法为文献[17]中提出的保证最小速率的接纳控制算法，该算法只按照业务的最小速率进行接入判断。

第三种算法为本章所提出的基于优先级与业务降级的 RAC 算法，在系统资源不足时首先进行自身业务的降级，如仍不能接入系统，可以对系统中的 VBR 业务进行降级，即按照业务的优先级与业务降级的方式进行接入判断。

以下各图分别给出了三种算法下各类业务在不同到达率下的阻塞率与掉线率的仿真情况。

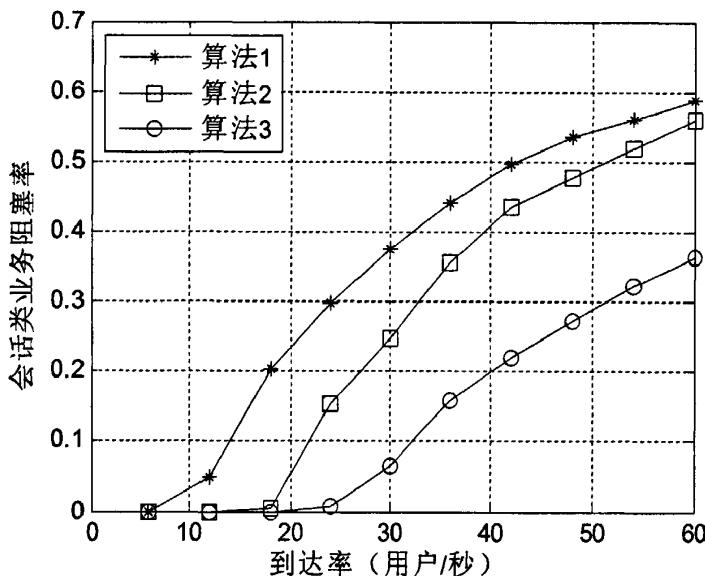


图 4-5 会话类业务阻塞率与到达率的关系

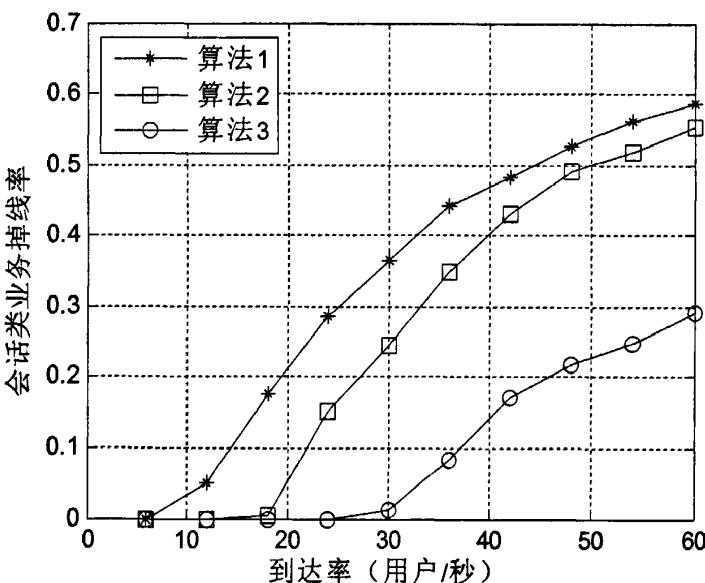


图 4-6 会话类业务掉线率与到达率的关系

图 4-5、4-6 分别给出了会话类业务在三种算法下其阻塞率、掉线率与到达率之间的关系。从图中可以看出，随着业务到达率的增加，算法 3 比算法 1 和算法 2 的阻塞率与掉线率低，这是因为算法 3 即本章提出的 RAC 算法，会话类的优先级最高，在资源不足时可通过降级已接入系统中的低优先级业务获得更多的带宽。同时可以看出算法 2 比算法 1 的阻塞率与掉线率低，这是因为算法 2 是以最小保证速率请求判断是否接入，在资源不足时可以接入更多的用户，而算法 1 是以最大持续速率判断是否接

入，因此具有最高的阻塞率与掉线率。

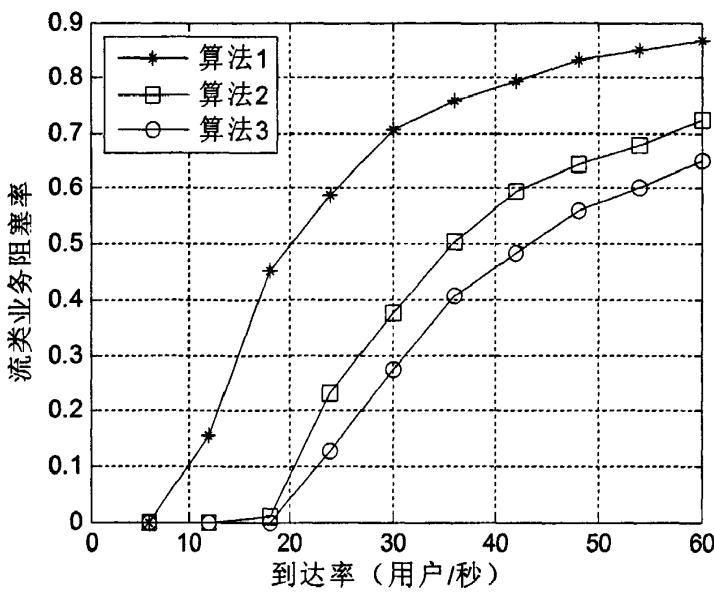


图 4-7 流类业务阻塞率与到达率的关系

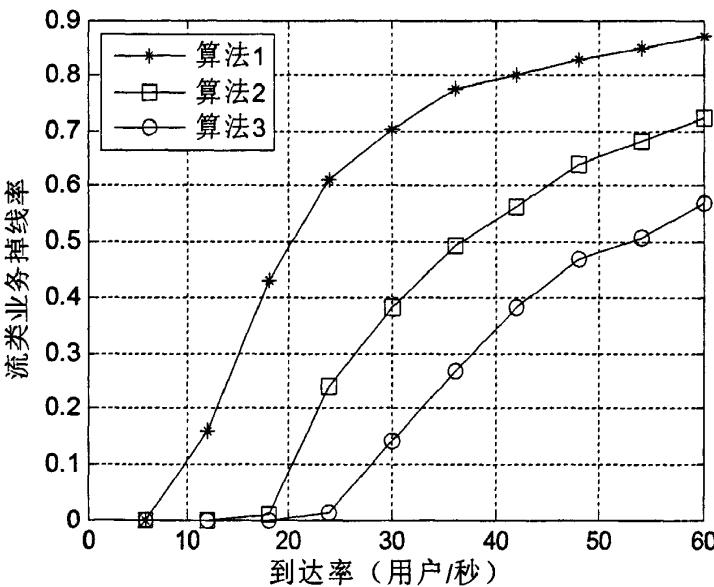


图 4-8 流类业务掉线率与到达率的关系

图 4-7、4-8 分别给出了流类业务在三种算法下其阻塞率、掉线率与到达率之间的关系。从图中可以看出，随着到达率的增加，三种算法的阻塞率与掉线率都比较高，这是因为流类业务要求的速率比较大，所以其阻塞率与掉线率比其他业务类型的高。其中算法 2 采用最小保证速率进行接入，因此阻塞率与掉线率比采用最大速率接入的算法 1 要低。而采用算法 3 即其本章的 RAC 算法后阻塞率与掉线率同算法 1 与算法 2 相比均有明显的下降，这是因为流类业务的优先级仅次于会话类业务，在资源不足时流类业务可通过自身业务降级与降级已接入系统中的背景类与交互类业务获得更多

的带宽资源。

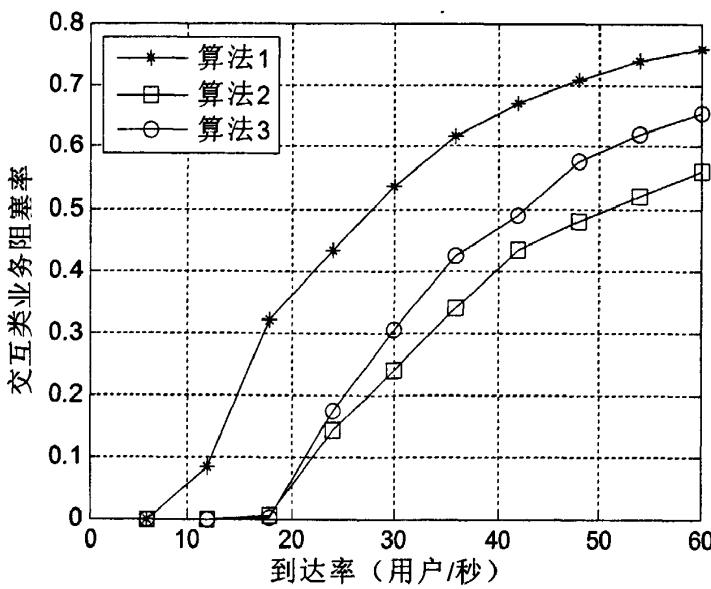


图 4-9 交互类业务阻塞率与到达率的关系

图 4-9 给出了交互类业务在三种算法下阻塞率与到达率之间的关系，从图中可以看出，随着到达率的增加，算法 3 的阻塞率介于算法 1 与算法 2 之间，这是因为交互类业务的优先级比会话类业务与流类业务的优先级低，仅比背景类业务的优先级高，在资源不足时可以通过自身业务降级与降级已接入系统中的背景类业务，因此比算法 1 的阻塞率低，而随着到达率的增加其它高优先级业务同样降级背景类业务，从而使得交互类业务通过降级获得带宽资源逐渐减少，所以其阻塞率比算法 2 的高。

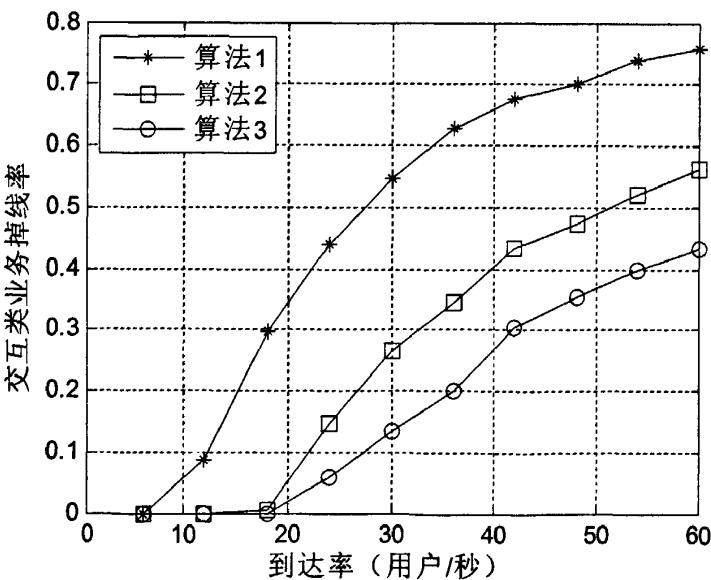


图 4-10 交互类业务掉线率与到达率的关系

图 4-10 给出了交互类业务在三种算法下掉线率与到达率之间的关系，从图中可

以看出，算法 3 中掉线率比较低，那是因为切换类业务具有更高的优先级不仅能降级系统中比自身业务低的背景类业务，还可以降级与自身业务相同优先级的交互类业务，因此其掉线率比采用算法 1 与算法 2 的要低。

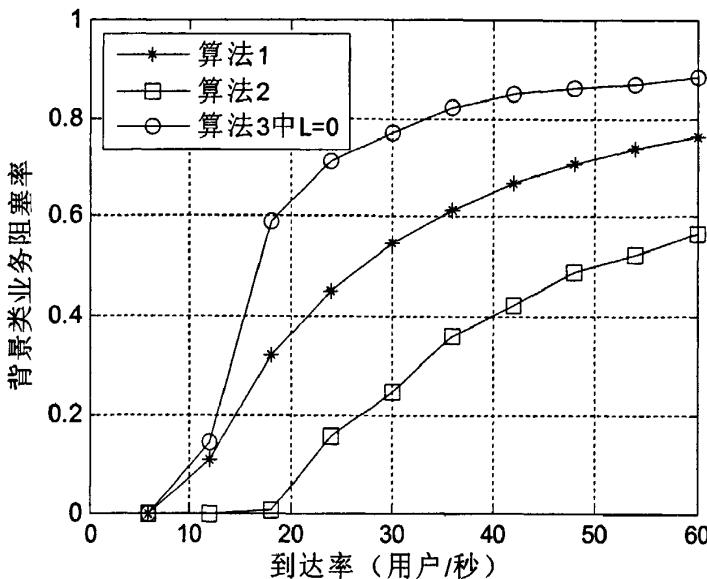


图 4-11 背景类业务阻塞率与到达率的关系 (a)

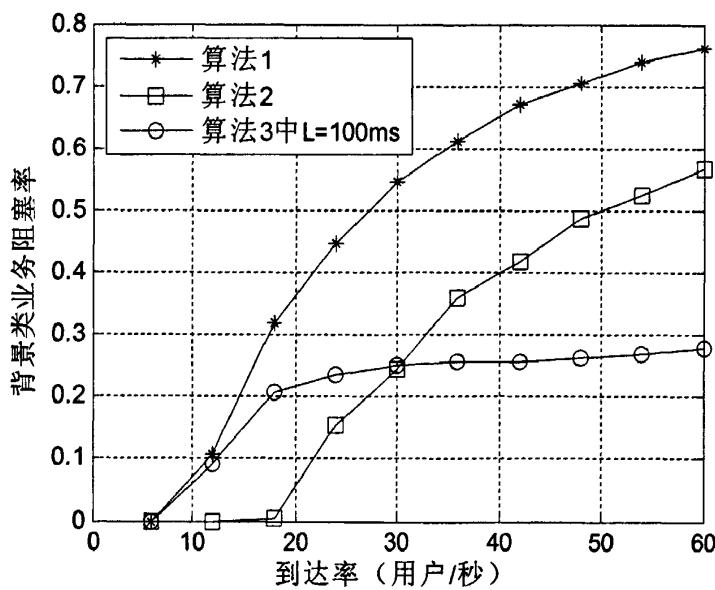


图 4-12 背景类业务阻塞率与到达率的关系 (b)

图 4-11、4-12 给出了背景类业务阻塞率与到达率的关系。从图 4-11 中可以看出，在算法 3 即本文提出的算法中当 $L=0$ ，即背景类业务不加入等待队列时，其阻塞率比算法 1、算法 2 要高，这是因为背景类业务优先级最低，在资源不足时不能降级系统中其它业务。而图 4-12 中在算法 3 中当 $L=100\text{ms}$ 时，阻塞率有较大幅度的下降，这是因为在资源不足时，背景类业务可以加入缓冲等待队列，等待系统有剩余资源时再

次接入。因此在资源不足时将背景类业务加入等待队列可以较大幅度的降低其阻塞率，并且随着等待队列长度 L 的增加而降低，在实际系统中等待队列的长度跟人们愿意等待的时间有关。

图 4-13 给出了在三种算法下系统带宽利用率与到达率之间的关系。从图中可以看出，随着业务到达率的增加，算法 1 与算法 3 之间的带宽利用率差别不大，都高于算法 2。这是因为算法 2 是按照业务请求的最小速率进行接入，因此系统的带宽资源不能被充分的利用。而算法 3 为背景类业务加入了缓冲时间队列，在系统有剩余资源时，队列中的背景类业务可以得到服务，一定程度上可以提高带宽利用率。

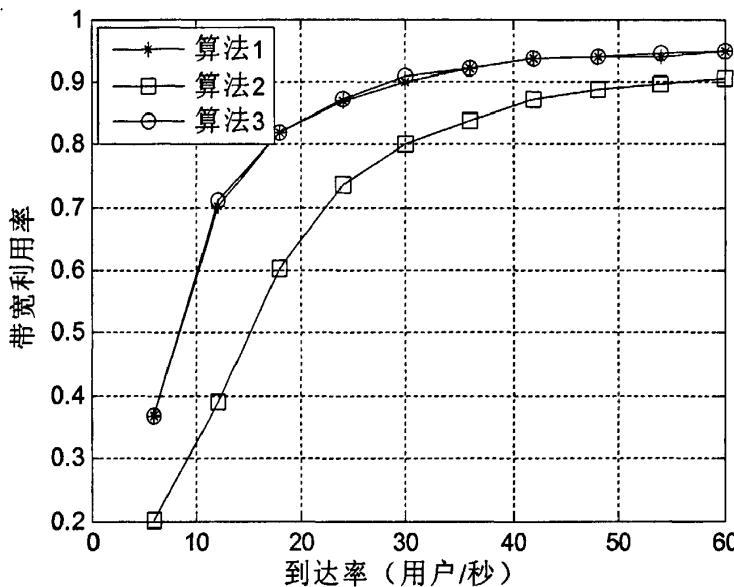


图 4-13 带宽利用率与到达率的关系

综上所述，本章所提的基于优先级与业务降级的 RAC 策略在拥有较高带宽利用率的情况下降低了系统中新用户的阻塞率与切换用户的掉线率，有效的改善了系统的性能。虽然忽略了已接入系统中低优先级业务的服务质量，可能造成背景类业务的时延增加，但本章 RAC 策略目的是保证高优先级业务的 QoS 需求，因为高优先级业务通常是实时性业务，系统需要优先保证实时业务的服务质量。

4.4 本章小结

本章主要利用 LTE 系统中各类业务不同的优先级以及系统中存在大量 VBR 业务等特点，提出了一种基于优先级与业务降级的 RAC 策略。根据业务的不同类型，在系统资源不足时，可以通过自身业务降级与降级已接入系统中较低优先级业务来获得更多的接入权。最后通过仿真验证了所提的 RAC 策略在保持较高资源利用率的同时，有效的降低了系统中用户的阻塞率与掉线率，具有良好的性能。

第 5 章 一种基于公平性的接纳控制策略

5.1 接纳控制策略概述

LTE 系统将支持多种不同类型的业务，而不同类型业务之间具有不同的优先级。但从用户角度来看，人们希望系统提供优质而公平的服务，而不是按照业务类型的不同具有不同的服务质量。好的接纳控制策略应当在各类业务之间实现一种平衡，不仅要考虑高优先级的服务质量同时还要兼顾较低优先级业务，实现一种相对的公平性，以达到各类业务对 QoS 的不同要求。

针对接纳控制中的公平性问题已有相关文献^[46-49]做了很多的研究。文献[46]提出了一种适用于宽带无线网络中基于权重的自适应 RAC 算法，通过对不同的业务设置一定的权重，在用户发起请求时主要基于各类业务所占的权重自适应的调整各类业务所占用资源的比例。在接入高权重业务的同时，使得各低权重的业务能够按照其权重比例进行接入，使系统中不同权重业务的接纳率与其自身的权重比例基本相同，从而避免了低权重业务过多的阻塞或者被高权重业务占用，可实现一定的公平性。文献[47]提出一种基于比例公平的 RAC 算法，按照业务对时延的敏感度将其划分为两个队列，根据两个队列的接入情况公平的接纳两个队列中的业务，这样保证了低优先级业务的接入率。文献[49]中采用了时延预留的方式，通过对不同的优先级业务设定不同的时延门限来控制业务的接入，兼顾了低优先级业务的服务质量。

本文上一章内容提出的基于优先级与业务降级的 RAC 策略主要目的是尽可能的保证高优先级业务的服务质量，对低优先级业务的接入成功率问题没有兼顾。而在实际生活中，如果在负载较大时只保障高优先级业务，过多的接入高优先级业务就会对低优先级业务造成严重的影响。如果低优先级业务长时间得不到服务，将引起低优先级业务的用户不满。因此有必要对低优先级业务提供相应的接入保证。

本章的 RAC 策略从保证业务之间的公平性出发，在优先保证高优先级业务的同时兼顾一定的低优先级业务，在资源紧张时适当保障低优先级业务的接入成功率，提供一种相对的公平，总体上提高用户的满意度。

5.2 无线接纳控制策略

5.2.1 方案设计

在无线通信中存在这样一种现象，那就是在系统业务繁忙时，当一个用户发起新连接或切换连接请求，系统当时没有可用的资源为其服务，此时该用户可能被阻塞或者切换失败导致掉线。但是在很多时候，该用户刚被阻塞或者掉线，系统就有了可用

资源。这种情况即可能是由于别的用户结束服务或者切换到其它小区而释放了占用的系统资源，也可能是无线网络自身的动态性造成的。另外从人们的日常生活习惯可以得知，在网络业务繁忙时，如果让用户等待一段时间才能为其提供服务，用户一般都是原意等待的。所以根据系统的动态性与用户的习惯，在接纳控制时可以采用一定的等待队列^[50 51]来提高系统的接入性能。

文献[49]针对多媒体网络提出了一种基于优先级时延预留的 RAC 算法，文中通过对不同的优先级业务采用不同的时延门限来限制用户的接入。该算法主要采用非强占式优先级排队和时延门限来控制新到达的连接请求，在业务达到时，如果网络中的资源能够满足接入要求就接入该用户，否则将其放入等待队列。当再次有其它业务到达时，系统首先判断当前的等待队列中是否有该类型的业务或者比该业务优先级高的业务，如果有则拒绝该业务，否则才让其进入等待队列。如果该业务在规定的时延门限内不能接入就会被丢弃。

本章的 RAC 策略主要利用了新发起连接的用户对时延不敏感的特点，同时参考了文献[49]的时延预留思想，在进行业务降级的同时，加入了等待机制。即当系统不能满足用户连接请求时，不直接拒绝该用户，而是将其放入等待队列，等待系统中有剩余资源时再进行接入判断。文献[49]在资源不足时只加入一个延迟队列，并且不考虑业务的降级，而本章提出的 RAC 算法在业务降级的基础上考虑了会话类、流类、交互类、背景类等四类业务，并为四种业务类型都加入了延迟队列，各类业务在系统资源不足时将其放入该类业务的等待队列，其业务等待队列模型如 5-1 所示。由于切换用户对时延比较敏感，所以本章的 RAC 策略只将切换用户中的背景类业务加入等待队列。因此该等待队列模型主要应用于新用户发起的连接。对新用户来说，在资源不足时根据其发起连接的不同业务类型分别设置不同的时延等待队列，在等待队列中的业务按照先到先服务的原则进行接入判断，可以实现一种相对的公平。

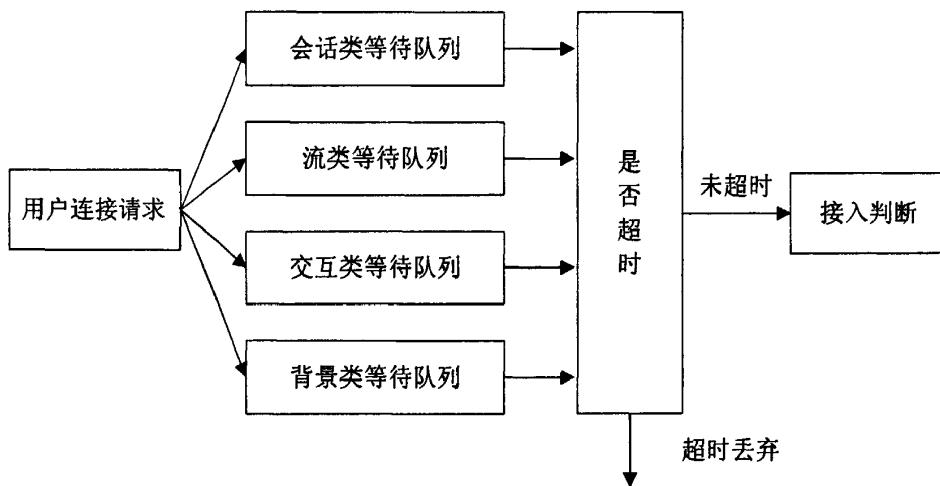


图 5-1 等待队列模型

对于切换用户来讲，因为其业务对时延比较敏感，所以一般不适用于延时等待。为了实现其公平性，本章为切换用户设定了相同的业务降级机制，即切换用户发起的切换请求不论业务的优先级高低都可以降级已接入系统中的 VBR 业务。因此不同业务类型的切换用户可以得到完全的公平性。由于使已连接的用户中断服务比阻塞新用户的连接更令人不能接受，所以本章同样采用上一章中为新用户与切换用户分别限定降级的范围，以保证切换用户拥有较低的掉线率。

因此本章所提的基于公平性的 RAC 策略通过对新用户与切换用户采用不同的接入方式可以实现一定的公平性。

5.2.2 接纳控制算法描述

下面对本章所提的 RAC 算法进行详细的描述。

当一个用户发起连接请求时，同上一章所提算法相同，首先判断其业务类型，如果当前系统带宽资源能够满足该用户最大速率的传输请求，则按所请求的最大速率接入系统。如不满足首先进行业务自身的降级，即以最小保证速率进行连接请求，再次检测系统是否能够满足该业务的请求，如满足则按其最小速率请求接入到系统。否则降级系统中其他业务类型的业务。此时根据该用户的类型，新用户与切换用户分别执行以下不同的接入方式。

(1) 对于新用户发起的连接请求，当系统资源不足时同样只能降级系统中新用户中的 VBR 业务。各类业务执行的降级规则同第四章所提的基于优先级与业务降级的 RAC 算法相同。当执行了业务降级后系统仍然不能为其服务，则将该用户加入时延等待队列，在本章算法中四种业务类型的用户等待时间长度分别为 L1、L2、L3、L4。在各类业务的等待队列时间内，如果系统有剩余资源则再次进行接入判断，如果在等待时间长度内仍没有足够的带宽资源，则拒绝，即阻塞该用户。

(2) 对于切换用户发起的连接请求，当系统资源不足时可以降级已接入系统中所有可降级的业务类型，并且不区分切换用户不同业务类型之间的优先级。即所有切换用户发起的连接均可降级系统中所有的 VBR 业务。其中业务的降级是从最低优先级开始的，即依次降级系统中已接入的背景类、切换背景类、交互类、切换交互类、流类、切换流类。因为会话类业务传输速率恒定，所以不能降级会话类业务，当通过降级能够满足切换用户所需要的最小保证速率要求时，则接入该切换用户。否则拒绝，即切换失败。

由于背景类业务对时延不敏感，并且通过第四章的分析可知，只要背景类业务加入等待队列，其阻塞率就会有较大的下降。所以在本章的算法仿真中不再分析背景类业务的阻塞率与掉线率。

该算法的流程如图 5-2 所示。

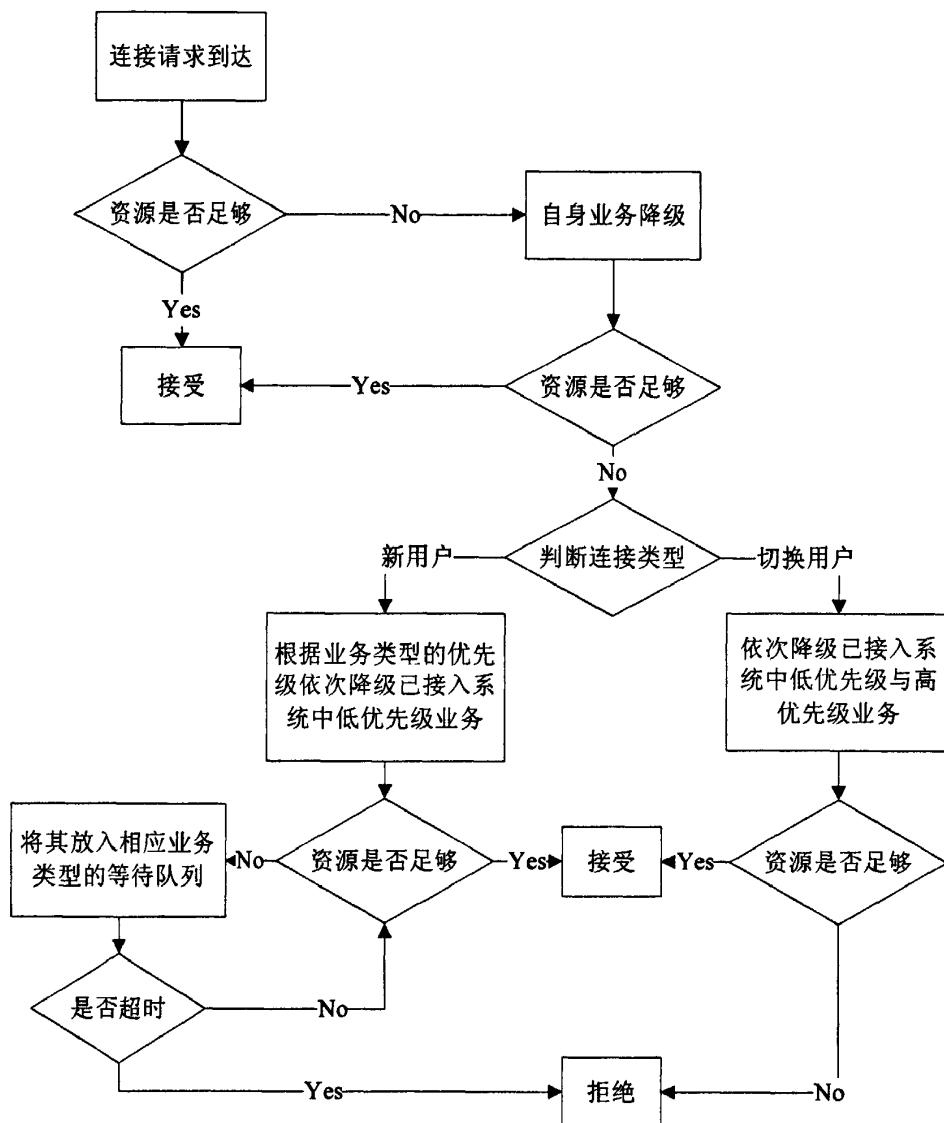


图 5-2 基于公平性的接纳控制策略流程图

本章所提的 RAC 策略在理论上能使网络中各业务之间达到一种相对公平性，从而在接入过程中用户能够拥有公平的机会接入到网络中。接下来我们通过仿真验证所提方案的性能。

5.3 仿真结果与分析

5.3.1 仿真环境及参数设置

下面所进行的仿真工作采用与上一章中相同的仿真环境。各类业务的到达服从泊松分布，服务时间服从指数分布，切换用户与新用户到达率之比为 2: 1，新用户与切换用户内部各业务请求到达率之比为 1: 1: 1: 1。假设系统总带宽为 18000Kbps，各种类型的业务速率要求与等待队列长度如表 5-1 所示。

表 5-1 各类业务的仿真参数

业务类型	优先级	最大速率 (kbps)	最小速率 (kbps)	等待队列 (ms)
会话类	高	18	18	L1=50
流类	中	72	36	L2=200
交互类	低	36	18	L3=400
背景类	最低	36	0	L4=400

5.3.2 仿真结果分析

为了验证本章所提 RAC 算法的性能，同时对比本章算法中各业务之间的公平性问题，采用 Visual C++ 6.0 仿真平台进行以下三种算法的仿真比较。

算法 1 为基本的 RAC 算法，对各类业务进行了优先级定义，但当系统资源不足时，不进行业务降级也不加入延迟等待队列。

算法 2 为绝对公平的 RAC 算法，在该算法下不区分用户类型与业务类型，只要资源充足就按照用户申请的最大速率进行接入。当带宽资源不足以接入其最大速率时，就以最小的速率进行接入，否则执行相同的业务降级机制，即所有业务不论优先级高低都可以令已接入系统中的 VBR 业务进行降级，如果执行业务降级后仍不能满足其连接请求则直接拒绝或丢弃，不加入等待队列。因此该算法可以实现系统中所有业务都能公平的接入到系统中。

算法 3 为本章提出的基于公平性的 RAC 算法，在资源不足时，根据用户类型的不同执行不同的接入标准。切换用户在资源不足时首先对自身业务降级，然后公平的对已接入系统中的 VBR 业务进行降级。而新用户在资源不足时通过优先级与业务降级后还可以将各类用户放入相应的等待队列，队列中的用户按照先到先服务的原则。

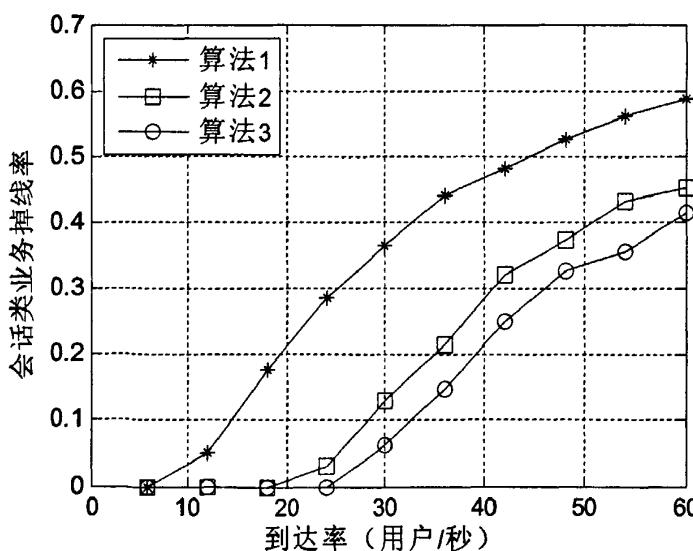


图 5-3 会话类业务掉线率与到达率的关系

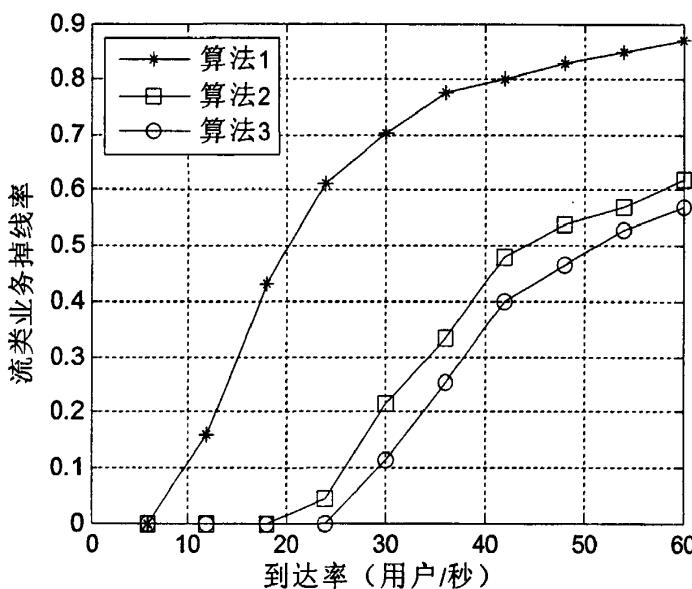


图 5-4 流类业务掉线率与到达率的关系

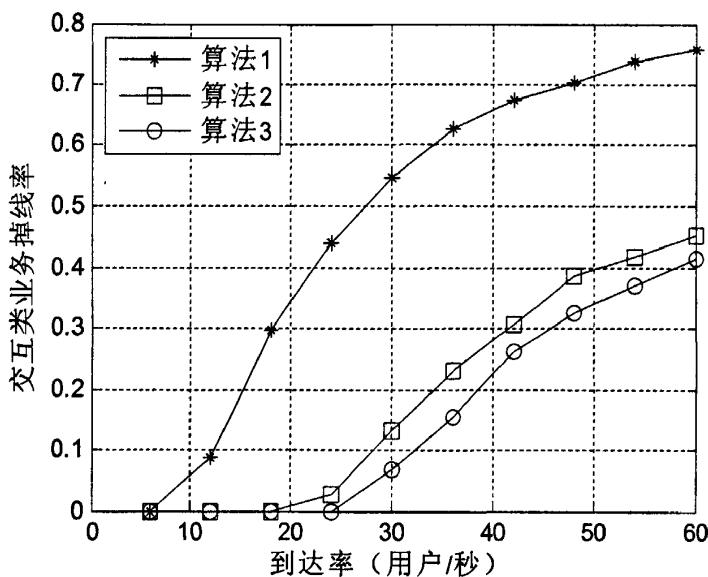


图 5-5 交互类业务掉线率与到达率的关系

图 5-3、5-4 和 5-5 分别给出了在三种算法下会话类、流类、交互类业务的掉线率与到达率的关系。从图中可以看出，在算法 1 的情况下，这三类业务的掉线率都比较大，因为算法 1 是最基本的 RAC 算法，在资源不足时没有进行业务的降级，因此其掉线率比较高。而在算法 2 下，各类业务的掉线率有了较大的下降，这是因为算法 2 为完全公平的算法，在资源不足时，所有业务不分优先级的高低都可以通过自身业务降级与降级已接入系统中的 VBR 业务获得更多的带宽资源，所以其掉线率有了明显的下降。算法 3 是本文提出的算法，为了使切换用户具有公平性并且降低切换用户的阻塞率，该算法为新用户与切换用户分别设定了可降级系统中 VBR 业务范围，切换

用户连接请求时不论业务类型与优先级的高低都可降级系统中所有的 VBR 业务，而新用户连接请求时只能降级系统中新用户的 VBR 业务，所以在算法 3 的情况下切换用户的掉线率比算法 2 有了进一步的降低。

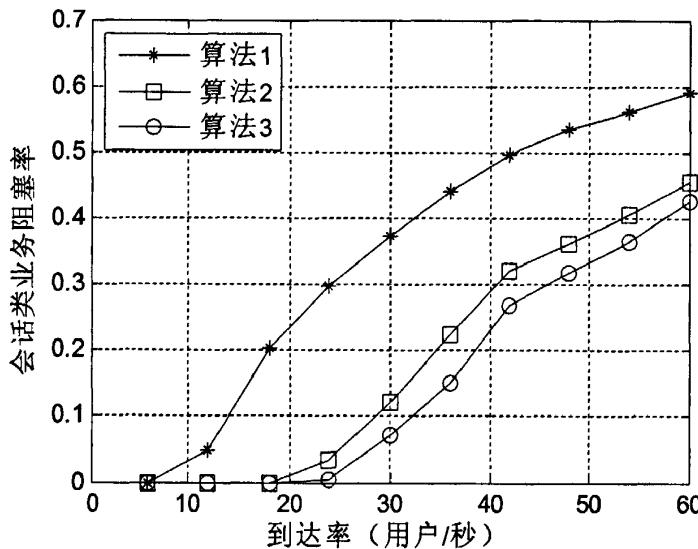


图 5-6 会话类业务阻塞率与到达率的关系

图 5-6 给出了会话类业务在三种算法下阻塞率与到达率之间的关系。从图中可以看出，本章提出的算法 3 比算法 1、算法 2 的阻塞率都低。这是因为算法 1 为基本的 RAC 算法，只按照最大速率进行接入，算法 2 是采用完全公平的算法，系统中的资源被所有用户共享，而在算法 3 即本章所提的 RAC 算法中，会话类业务的优先级最高，在资源不足时，不仅可以通过降级系统中低优先级业务获得更多的带宽，而且还可以进入等待队列，因此其阻塞率最低。

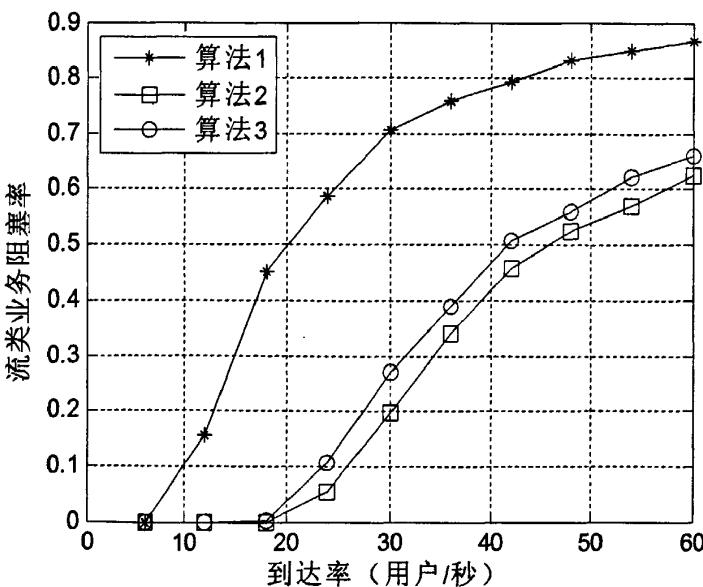


图 5-7 流类业务阻塞率与到达率的关系

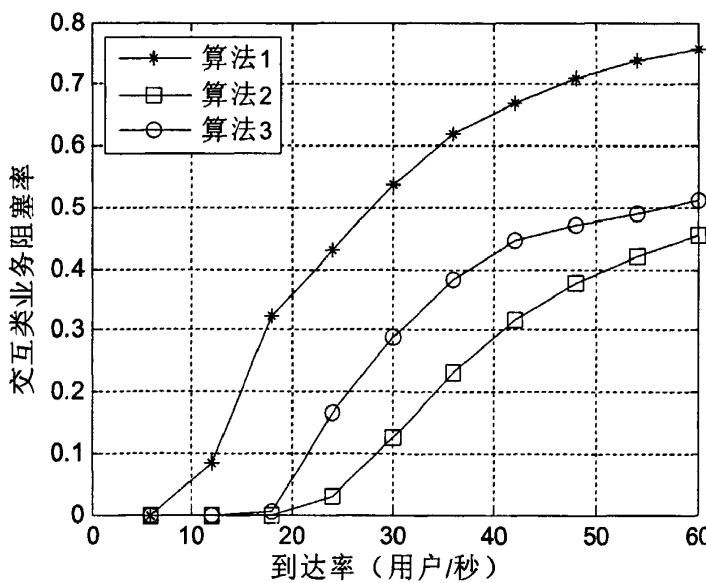


图 5-8 交互类业务的阻塞率与到达率的关系

图 5-7、5-8 分别给出了流类、交互类业务在三种算法下阻塞率与到达率之间的关系。从图中可以看出，算法 2 与算法 3 的阻塞率都比算法 1 的低，这是因为算法 2 与算法 3 都采用了业务降级的机制。而算法 3 比算法 2 的阻塞率稍高，这是因为算法 2 中所有的业务都可以降级系统中的 VBR 业务，而算法 3 即本章提出的 RAC 算法为了降低切换用户的掉线率，限定了新用户的降级范围，所以其阻塞率比算法 2 高。同时可以看出算法 3 的阻塞率并没有较大幅度的上升，而是同算法 2 差别不大，这是因为算法 3 在资源不足时将用户加入了等待队列，在队列中的用户服从先到先服务的原则，一定程度上降低了低优先级业务的阻塞率。

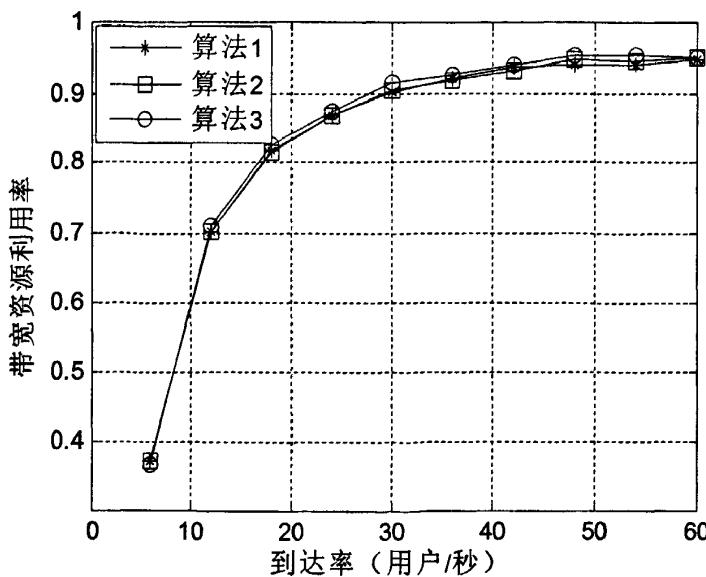


图 5-9 带宽利用率与到达率的关系

图 5-9 给出了带宽利用率与到达率的关系。从图中可以看出，三种算法的资源利用率差别不大，这是因为三种算法都是所有的业务共享系统中的带宽资源，没有进行预留资源，因此三种算法的带宽利用率都比较高。同时可以看出算法 3 的带宽利用率稍高，因为算法 3 即本章提出的 RAC 算法，在通过优先级与业务降级后仍不能满足用户的需求时，加入了等待队列机制，在仿真过程中，带宽资源的占用是动态的，一旦有业务服务完成释放带宽系统就会立刻检测等待队列中的业务，从而占用了空闲的带宽资源，提高了带宽利用率。

值得一提的是，在本文的仿真中各类业务的等待队列长度都取的是固定值，而在实际当中，等待队列长度取决于人们愿意等待的时间，具有可变性。人们等待的时间越长，其接入系统中的概率就越大，即被阻塞的概率就越小。

综上所述，本章所提的基于公平性的 RAC 策略在保证高优先级业务接入成功率的同时兼顾了低优先级业务，因此具有一定的公平性。由于加入了延迟等待队列，其带宽利用率也有一定的提高。

5.4 本章小结

本章主要从不同业务之间的公平性出发，对新用户与切换用户分别采用了不同的接入标准。对于新用户发起的连接请求，根据用户的日常习惯加入了延迟等待队列。在资源不足时将其放入等待队列，当系统中有其他用户释放资源，就立刻接入队列中的用户，并且队列中的用户服从先到先服务的原则，从而在一定程度上增加了低优先级业务的接入机会，降低了低优先级业务的阻塞率，有效的实现了新用户之间具有一定的公平性。对于切换用户发起的连接请求，在资源不足时采用相同权限的业务降级，保证了切换用户之间的公平性。最后通过仿真，验证了本章提出的基于公平性的 RAC 算法可以在保证高优先级业务接入成功率的同时，有效降低低优先级业务的阻塞率与掉线率，具有一定的公平性。同时因为引入了等待队列系统的资源利用率也可以得到一定的提高。

结 论

随着无线通信技术的迅猛发展，各种新的业务相继出现，不同类型的业务在速率、时延等方面有着不同的要求，同时人们希望随时随地都能接入到网络并且得到优质的服务。LTE 系统将支持多种业务类型，同时为用户提供更高的传输速率与更好的服务质量。由于无线网络受到有限资源、小区干扰等因素的制约，所以为不同的业务提供不同的 QoS 保障显得更加重要。无线接纳控制作为保障 QoS 的一个重要环节，越来越受到人们的重视。

本文通过研究 LTE 系统的特点，在分析以往移动通信系统中具有普遍意义的接纳控制基础上，提出了两种适用于 LTE 系统的接纳控制策略。一种是基于优先级与业务降级的接纳控制策略，该策略适用于优先保证高优先级业务的情况；另一种是基于公平性的接纳控制策略，该策略比较适用于保证高优先级业务的同时兼顾一定低优先级业务的情况。下面对本文的主要研究内容进行简要的总结。

首先本文概述了论文的研究背景、意义及无线接纳控制算法的研究现状，同时研究了已有的典型接纳控制算法。

其次对 LTE 系统做了简要的分析，包括其系统架构与采用的关键技术，及其无线资源管理，并且研究了 LTE 系统中基于剩余资源的接纳控制。

然后提出了两种适用于 LTE 系统的无线接纳控制策略，第一种策略是基于优先级与业务降级的接纳控制算法，该算法根据业务之间的差别以及优先级的不同，在同时接到连接请求的时候，给予高优先级业务更多的优先接入权，有效的保证了高优先级业务的接入成功率。第二种策略是基于公平性的算法。根据用户的日常习惯加入了等待队列，在系统资源紧张的情况下，不是直接拒绝用户的请求，而是将其放入相应的队列，队列中的用户采用先到先服务的原则，有效的保证了不同优先级业务之间的公平性，由于同时采用了优先级与业务降级的机制，所以该算法可以在保证高优先级业务接入成功率的同时兼顾低优先级业务，实现了一定的公平性。

最后利用仿真对本文所提的两种接纳控制策略的性能进行了考察，分别验证了两种策略下各种类型用户在接入系统时的优势。仿真结果表明，第四章提出的基于优先级与业务降级的 RAC 策略较其它策略具有显著的性能改善；而第五章提出的基于公平性的 RAC 策略可以有效的保证高优先级业务的同时兼顾低优先级业务，具有较好的性能。

由于个人知识水平与能力的局限性，有些问题还没有进行充分的研究，文中仍存在很多的缺点与不足，有待今后进一步的完善与研究，现进行总结如下：

1、本文假设各类业务的到达都服从泊松分布，服务时间服从指数分布，并且各

类业务在小区中均匀出现，因此非均匀条件下的接纳控制还有待继续研究。

2、为了简化仿真，所有的工作都是在理想条件下进行的，没有考虑各小区之间的干扰情况，也没有考虑用户在小区中分布的位置影响以及自身的路径损耗等，这些在现实网络中都是客观存在的，需要进一步的研究。

3、本文的研究只是从用户发起连接的角度出发，仅考虑了新用户的阻塞率与切换用户的掉线率，而没有考虑已接入系统中用户的服务质量与业务的时延情况。如何考虑一种与分组调度相结合的跨层自适应接纳控制算法还有待下一步的继续研究。

致 谢

三年的研究生学习生活即将告一段落，在本论文完成之际，谨向所有在学习与生活中关心及帮助过我的老师、同学、亲人和朋友表示衷心地感谢。

感谢我的导师严余松教授，在研究生学习期间，严老师为我们创造了良好的学习生活环境，在学习中给予我悉心的指导与教诲，在生活中给予我无私的关怀。本文是在严老师的指导下完成的，在遇到困难时，严老师及时的给予我指导并分析解决问题的思路，使我的研究工作得以顺利的进行。严老师渊博的知识、严谨治学的态度与勤奋拼搏的工作作风深深的影响着我，是我以后工作与学习的榜样，在此向严老师表示崇高的敬意与衷心的感谢。

感谢我的父母及亲人，感谢他们一直以来对我无微不至的关爱和鼓励，没有他们的支持我无法全身心的投入到学习中来。正是他们对我学业的大力支持，才使我能够专注于学业并且顺利完成毕业论文，在此祝愿他们永远幸福健康。

感谢实验室的同学与生活中的朋友，感谢他们在学习与生活上给予我的帮助。

最后再一次感谢所有关心和帮助过我的人们。

参考文献

- [1] 温小军. LTE 系统中接纳控制的研究.北京邮电大学硕士学位论文[D]. 2010:39-43
- [2] 沈嘉, 索士强, 全海洋等. 3GPP 长期演进 (LTE) 技术原理与系统设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2008.11
- [3] 赵文静. LTE 准入控制算法.西安电子科技大学硕士学位论文[D]. 2009
- [4] 黄建辉, 钱德沛, 王胜灵, 刘轶. 基于动态带宽预留和带宽降级的呼叫准入控制算法[J]. 西安交通大学学报, 2007.6
- [5] Yue Wu, Aiqun Hu, Guangguo Bi. A Dynamic Connection Admission Control Scheme For Wireless Multimedia Communication Networks[C]. Communication Technology Proceedings, 2003. International Conference on
- [6] 卢辉斌, 周新建, 李娜. 田澈.3G 动态预留呼叫接纳控制算法研究 [J]. 通信技术. 2008,41(12)
- [7] S.Malarkkan,Dr.Ravichandran. Performance Analysis of Mobility Based Predictive Call Admission Control with Resource Reservation in WCDMA Cellular Systems[C]. Asia-Pacific Conference on Communications. 2005, 154-158
- [8] 伍仁勇, 朱光喜. 无线网络中一种新的基于实测的呼叫接入控制算法 [J]. 小型微型计算机系统,2007.4
- [9] 吴越, 毕光国. 无线多媒体网络中一种基于测量网络状态的动态呼叫接纳控制算法 [J]. 计算机学报, 2005. 11
- [10] Anjlica Malla,Mona EI-Kadi,Stephan Olariu,Petia Todorova. A Fair Resource Allocation Protocol for Multimedia Wireless Networks [J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems,2003
- [11] Ramesh Babu, H.S.; Gowrishankar; Satyanarayana, P.S. Call Admission Control Mechanism for Optimal QoS in Next Generation Wireless Networks [C]. Intelligent Systems. Modelling and Simulation, International Conference on,2010, pp: 350 - 355
- [12] Geetam S. Tomar; Shekhar Verma.New. Call Admission Control and Handoff Techniques for 3-G Mobile Networks[C]. Advanced Computer Control, International Conference on, 2009,697 - 701
- [13] M. Sanabani, S. Shamala, M. Othman and J. Desa. Adaptive Call Admission Control for Prioritized Adaptive services in Wireless/Mobile multimedia Cellular Networks[J]. International Journal of Computer Science and Network Security, March 2006
- [14] Anas M, Rosa, C, Calabrese F.D, Michaelsen P.H, Pedersen, K.I, Mogensen P.E,

- QoS-Aware Single Cell Admission Control for UTRAN LTE Uplink[C].Vehicular Technology Conference, 2008, 2487 - 2491
- [15] Dusit Niyato, Ekram Hossain. Call Admission Control for QoS Provisioning in 4G Wireless Networks:Issues and Approaches[C]. Network, IEEE, 2005,5-11
- [16] Raymond Kwan,Rob Arnott,Mitsuhiro Kubota. On Radio Admission Control for LTE Systems[C]. Vehicular Technology Conference Fall, 2010,1 - 5
- [17] Sueng Jae Bae, Bum-Gon Choi, Min Young Chung, Jin Ju Lee, Sungoh Kwon. A Resource-Estimated Call Admission Control Algorithm in 3GPP LTE System [C].ICCSA 2009, 250-260
- [18] Manli Qian, Yi Huang, Jinglin Shi, Yao Yuan, Lin Tian, Dutkiewicz E. A Novel Radio Admission Control Scheme for Multiclass Services in LTE. Systems[C].Global Telecommunications Conference, 2009,1-6
- [19] aipeng Lei, Mingliang Yu, Anjun Zhao, Yongyu Chang, Dacheng Yang. Adaptive Connection Admission Control Algorithm for LTE Systems[C]. Vehicular Technology Conference, 2008,2336 - 2340
- [20] Calabrese F.D, Rosa C, Anas M, Michaelsen P.H, Pedersen K.I, Mogensen P.E. Adaptive Transmission Bandwidth Based Packet Scheduling for LTE Uplink[C]. Vehicular Technology Conference, 2008.
- [21] Zhaoxin Lu, Hui Tian, Qiaoyun Sun, Bo Huang, Shuqin Zheng. An Admission Control Strategy for Soft Frequency Reuse Deployment of LTE Systems.Consumer Communications and Networking Conference, 2010,1 - 5
- [22] Sueng Jae Bae, Bum-Gon Choi, Min Young Chung, Jin Ju Lee, Sungoh Kwon. Delay-aware Call Admission Control Algorithm in 3GPP LTE System[C]. IEEE Region 10 Conference 2009, 1 - 6
- [23] Anas M, Rosa C, Calabrese F.D, Pedersen K.I, Mogensen P.E. Combined Admission Control and Scheduling for QoS Differentiation in LTE Uplink[C]. Vehicular Technology Conference, 2008, 1-5
- [24] 胡南, 牛凯, 贺志强, 吴伟陵. 宽带 OFDM 系统支持实时分组业务的接纳控制策略[J].北京邮电大学学报, 2007.10
- [25] 龚文斌, 甘仲民.多业务移动通信系统中的呼叫接入控制[J].通信学报, 2004.3
- [26] Ling Yu-tao, Yi Ben-sun, Qu Shao-cheng. An Optimization Strategy for QoS Provisioning in Multimedia Wireless Networks[C]. Modeling Identification and Control, The 2010 International Conference on, 294 - 297
- [27] Chiapin Wang, Hsin-Chi Lin, Hao-Kai Lo. Adaptive Admission Control Algorithm in

- IEEE 802.16e Broadband Wireless Access Networks[C]. Services (SERVICES-1), 6th World Congress on,2010,273 - 279
- [28] Dusit Niyato,Ekram Hossain. Connection Admission Control Algorithms for OFDM Wireless Networks[C].Global Telecommunications Conference, 2005.
- [29] Huan Chen, Chih-Chuan Cheng, Hsi-Hsun Yeh. Guard-Channel-Based Incremental and Dynamic Optimization on Call Admission Control for Next-Generation QoS-Aware Heterogeneous Systems[J]. Vehicular Technology, IEEE Transactions on,2008, 3064 – 3082
- [30] Enrique Stevens-Navarro, Vahid Shah-Mansouri, Vincent W. S. Wong. Handoff Management and Admission Control Using Virtual Partitioning With Preemption in 3G Cellular80216e Interworking[J]. Vehicular Technology, IEEE Transactions on Volume: 59 ,Issue: 1, 2010,431 – 445
- [31] Jianxin Yao, Jon W. Mark, Tung Chong Wong, Yong Huat Chew, Kin Mun Lye, Kee-Chaing Chua. Virtual Partitioning Resource Allocation for Multiclass Traffic in Cellular Systems With QoS Constraints [J]. Vehicular Technology, IEEE Transactions on,Volume:53 ,Issue:3, 2004, 847 – 864
- [32] Saddoud A, Fourati Chaari L, Kamoun L. Adaptive Algorithm for Admission Control in wireless networks[C]. Communications and Networking, 2010
- [33] 张欣, 卢军. 移动网络中一种呼叫接入控制方案及分析[J]. 电子科技大学学报, 2005, 34(1)
- [34] Xinbing Wang, Do Young Eun, Wenye Wang. A Dynamic TCP-Aware Call Admission Control Scheme for Generic Next Generation Packet-Switched Wireless Networks. Wireless Communications[J], IEEE Transactions on, Volume: 6 ,Issue: 9, 2007, 3344 - 3352
- [35] Sida Luo, Zhishu Li, Jian Hu, Tao Liu, Biao Cai. A Policy-based CAC Scheme for Fixed WiMAX System[C]. Communication Software and Networks,2009. International Conference on,376 – 379
- [36] 姜爱全, 赵阿群. 无线/移动网络中自适应的接纳控制算法及性能分析[J]. 通信学报, 2004, 25(6)
- [37] Chun-Ting Chou, Shin K.G. Analysis of Adaptive Bandwidth Allocation in Wireless Networks with Multilevel Degradable Quality of Service[J]. Mobile Computing, IEEE Transactions on, Volume: 3 ,Issue: 1, 2004, 5 – 17
- [38] Sharifa Al Khanjari, Bassel Arafeh, Khaled Day. An adaptive Call Admission Control Scheme with Complete Bandwidth Sharing for Multi-Class Traffic in Wireless

- Networks[C]. Software Telecommunications and Computer Networks, 2010
- [39] Hongwei Liao, Xinbing Wang, Hsiao-Hwa Chen. Adaptive Call Admission Control for Multi-Class Services in Wireless Networks. Communications[C],2008, IEEE International Conference on, 2840 – 2844
- [40] Mostafa Zaman Chowdhury, Yeong Min Jang, and Zygmunt J. Haas. Call Admission Control based on adaptive bandwidth allocation for multi-class services in wireless networks[C]. Information and Communication Technology Convergence (ICTC), 2010 International Conference on, 358 – 361
- [41] 赵训威, 林辉, 张明, 姜怡华, 张鹏, 岳然, 李国荣. 3GPP 长期演进 (LTE) 系统架构与技术规范[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2010.1
- [42] 方旭明, 张丹丹. 无线通信网络呼叫接纳控制策略研究综述 [J]. 计算机应用, 2006.8
- [43] 查敦林, 郭晓东, 孙知信. LTE/SAE 的 QoS 研究 [J]. 计算机技术与发展, 2010. 11
- [44] Mogensen P, Wei Na, Kovacs I.Z, Frederiksen, F. Pokhariyal A, Pedersen, K.I, Kolding T, Hugl K, Kuusela M. LTE Capacity compared to the Shannon Bound[C]. Vehicular Technology Conference, 2007, 1234 - 1238
- [45] 郭雪莲. 宽带无线城域网中的接入控制技术研究[D]. 重庆大学硕士学位论文, 2009
- [46] 王兴建, 胡爱群, 关艳峰. 宽带无线网络的权重公平自适应接纳控制算法[J], 2006.7
- [47] Dusit Niyato, Ekram Hossain. Service Differentiation in Broadband Wireless Access Networks with Scheduling and Connection Admission Control: A Unified Analysis. Wireless Communications[J], IEEE Transactions on Volume: 6 ,Issue: 1 2007,293 – 301
- [48] Haitang Wang, Dharma P.Agrawal. A weight-based adaptive call admission control scheme for integrated multimedia traffic in mobile wireless networks[C]. International Conference on, Parallel Processing Workshops, 2004
- [49] 徐兴, 叶梧, 冯穗力. 基于多优先级时延预留的呼叫接入控制机制[J]. 北京邮电大学学报, 2007.2
- [50] Huey-Ing Liu, Chih-Wen Hsiao. QoS Enabled Delay Reservation for Multimedia Wireless Networks[C]. Information Technology: Research and Education, 2003,339 – 343
- [51] Takeshi Ikenaga, Kenji Kawahara, Tetsuya Takine, and Yuji Oie. Analysis of Delayed Reservation Scheme in Server-based QoS Management Network[C]. Advanced Information Networking and Applications, 2003, 140 - 145

攻读硕士学位期间发表的论文

- [1] 王曙光, 一种适用于 LTE 系统的接纳控制策略, 四川师范大学学报(自然科学版). 2011 (已录用)