

# 多服务 WiMAX 系统的调度与资源分配策略

王 讚, 崔利梅, 禹 可, 张 琳

(北京邮电大学信息与通信工程学院, 北京 100876)

**摘 要:** 基于 IEEE802.16 标准的 WiMAX 技术已成为宽带无线接入的主要技术, IEEE802.16 标准没有规定调度和资源分配策略, 网络运营商可以自行选择。根据用户需求并考虑信道条件的影响, 提出基于 NS2 的扩展 WiMAX 系统级仿真平台, 给出一种公平有效的调度与资源分配策略。仿真结果证明该策略可以满足多种服务流的 QoS 需求并最大化系统吞吐量。

**关键词:** WiMAX 系统; 系统级; NS2 仿真平台; 调度; 资源分配

## Schedule and Resource Allocation Scheme for Multiservice WiMAX System

WANG Xuan, CUI Li-mei, YU Ke, ZHANG Lin

(School of Information and Communication Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876)

**【Abstract】** WiMAX technology which based on IEEE802.16 standard has become the dominant technique in broadband wireless access. IEEE802.16 standard leaves the choice of schedule and resource allocation schemes to the network operator. According to the users' requirements and considering the channel conditions, this paper proposes an expanded WiMAX system-level simulation platform based on NS2 and gives a fair efficient schedule and resource allocation scheme. Simulation results prove that the scheme can meet the QoS requirements of different types of service flow and maximize the system through-output.

**【Key words】** WiMAX system; system-level; NS2 simulation platform; schedule; resource allocation

### 1 概述

近年来, 人们对 WiMAX 进行了大量研究, 包括动态信道分配、OFDM 性能研究、调度及资源分配、QoS 保证以及跨层优化等。与其他接入技术相比, WiMAX 的媒体接入控制层可以提供更好的 QoS 保证。它能支持多种服务类型, 包括固定速率的实时服务 UGS(Unsolicited Grant Service)、可变速率的实时服务 rtPS(real-time Polling Service)、可容忍时延的非实时服务 nrtPS(non-real-time Polling Service)和尽力而为服务(best effort, BE)。调度和资源分配对 QoS 保证与系统性能优化具有关键作用。

目前已有许多关于 WiMAX 系统无线资源管理的文献。文献[1]提出一种用于下行传输的 QoS 机制, 包括调度和资源分配 2 个部分。调度部分考虑了用户优先级、子信道条件和连接优先级, 资源分配部分用于确保最低 QoS 需求并使 WiMAX 系统吞吐量最大化。文献[2]提出先确保最低 QoS 需求再分配剩余时隙的 QoS 策略, 该策略无法有效利用资源, 且没有考虑用户的信道情况。文献[3]比较了随机接入和轮询带宽请求机制, 但没有考虑服务流优先级。本文结合不同服务流的不同 QoS 需求和信道情况, 提出一种改进的调度和资源分配策略。

### 2 调度与资源分配策略

#### 2.1 相关研究

文献[2]提出一种基于 WiMAX 基站(Base Station, BS)的调度算法, 该策略可以基于 QoS 需求、带宽请求大小和 WiMAX 网络参数进行时隙分配。其目的是确保所有 WiMAX 服务的 QoS 需求, 并公平使用空闲资源。该调度算法包括 2 个主要部分:

(1)分配最少时隙。BS 在此阶段计算确保基本 QoS 需求时, 每个连接所需要的最少时隙数。

(2)分配剩余时隙。在此阶段, BS 为一些连接分配剩余时隙, 以避免资源空闲。

在上述算法中, BS 端采用先进先出的调度策略。

该算法存在以下问题:

(1)先进先出调度。例如, 如果存在一个信道状态很差的, 总是第 1 个请求资源, 为满足其最低的 QoS 需求, BS 必须为其分配足够时隙, 将导致系统最大吞吐量变小, 且存在不公平问题。

(2)为 rtPS 分配最少时隙。资源分配必须满足 rtPS 服务的实时性需求, 但只为 rtPS 分配最少时隙数并不能满足其实时性需求。

(3)分配剩余时隙时的不足。分配剩余时隙时, 文献[2]算法仅考虑了服务类型。但当最高优先级的服务拥有比其他服务差的信道条件时, 该解决方案对系统吞吐量的提高无效。

为了解决以上 3 个问题, 本文采用轮询调度算法来改进公平性, 提出为确保 rtPS 服务最低 QoS 需求的资源分配策略, 为了使系统吞吐量最大化, 本文考虑了信道状态, 并做了相应优化。

#### 2.2 基站的调度与资源分配策略改进

##### 2.2.1 确保最低 QoS 需求

WiMAX 系统支持 UGS, rtPS, nrtPS, BE 等服务流, QoS

**作者简介:** 王 讚(1986 -), 男, 硕士研究生, 主研方向: 信号与信息处理; 崔利梅, 硕士研究生; 禹 可, 讲师; 张 琳, 副教授

**收稿日期:** 2009-07-21 **E-mail:** mythjill@gmail.com

需求从 UGS 到 BE 逐渐降低, BS 应该根据服务类型的 QoS 需求决定调度的先后顺序, 例如, 首先是 UGS, 其次 rtPS, 然后 nrtPS, 最后是 BE。

针对同种服务类型的公平性, 在同种服务类型的条件下, 采用轮询调度机制<sup>[4]</sup>。此时, 如果不能满足最低 QoS 需求, 那么接入控制就会拒绝该服务请求, 因此, 假定资源足够, 且不考虑信道条件。决定了调度算法后, 开始关注资源分配算法。

对 UGS 根据其服务流特性, 为其分配请求带宽。对 rtPS, 首先应考虑时延。如上所述, 为其分配能满足最低传输速率要求的资源会引入较大传输时延, 不能满足 rtPS 的实时性需求。而在较小时延的情况下, rtPS 服务流的传输速率可以看作平均速率。因此, 定义满足平均传输速率所需资源为平均传输速率与帧持续时间的乘积, 为 rtPS 分配的资源量为请求资源与满足平均传输速率所需资源中的最小值, 表示如下:

$$B_{allocate} = \min(B_{average}, B_{request}) \quad (1)$$

$$B_{average} = R_{average} \times T_{frame} \quad (2)$$

其中,  $B_{allocate}$  表示给连接分配的带宽资源;  $B_{request}$  表示连接的请求带宽资源;  $R_{average}$  是连接的平均传输速率;  $T_{frame}$  是帧持续时间;  $B_{average}$  表示基于平均速率计算得的满足平均传输速率所需的资源。

对 nrtPS 而言, 由于它是可容忍时延的, 因此 BS 只要确保其传输速率大于其最小传输速率即可。因此, 定义满足最小传输速率所需资源大小为最小传输速率与帧持续时间的乘积, 则为 rtPS 分配的资源量为请求资源与满足最小传输速率所需资源中的最小值, 表示如下:

$$B_{allocate} = \min(B_{min}, B_{request}) \quad (3)$$

$$B_{min} = R_{min} \times T_{frame} \quad (4)$$

其中,  $R_{min}$  是连接的最小传输速率;  $B_{min}$  表示基于最小传输速率计算得的满足最小传输速率所需的资源; 其他参数的意义与式(1)、式(2)相同。

由于 BE 没有最低 QoS 需求, 因此在此步骤中可以忽略。

### 2.2.2 吞吐量最大化

完成上述步骤后, 已经满足每个连接的最低 QoS 需求, 此时要使系统吞吐量最大化。

如上所述, 信道条件会影响 WiMAX 系统的吞吐量, 因此, 在此阶段中, 假设连接的信道条件良好, 在假设的前提下采用轮询调度机制, 以提供公平性。该部分的资源分配策略不同于为确保最低 QoS 需求的资源分配。

由于 UGS 在得到能保证最低 QoS 需求的资源之后不再需要额外资源, 因此此步骤忽略 UGS。其他服务类型均使用以下算法。定义满足最大传输速率所需资源为最大传输速率与帧持续时间的乘积, 针对每个连接, 分配资源大小为请求资源与满足最大传输速率所需资源中的最小值, 表示如下:

$$B_{allocate} = \min(B_{max}, B_{request}) \quad (5)$$

$$B_{max} = R_{max} \times T_{frame} \quad (6)$$

其中,  $R_{max}$  表示连接的最大传输速率;  $B_{max}$  表示基于最大传输速率计算得的带宽资源; 其余参数与式(1)、式(2)相同。

## 3 基于 NS2 的 CNL-WiMAX 模块结构

结合文献[5]的模块和 NIST<sup>[6]</sup>模块, 已完成一个动态的系统级仿真平台, 命名为 CNL-WiMAX。已存在的基于 NS2 的 WiMAX 系统级仿真模块均不够完整, 没有 ARQ 模块且没有

考虑确保 QoS 的调度和资源分配。图 1 给出了 CNL-WiMAX 模块结构, 并描述了 WiMAX 系统数据包经过的基站和用户站的主要功能单元。

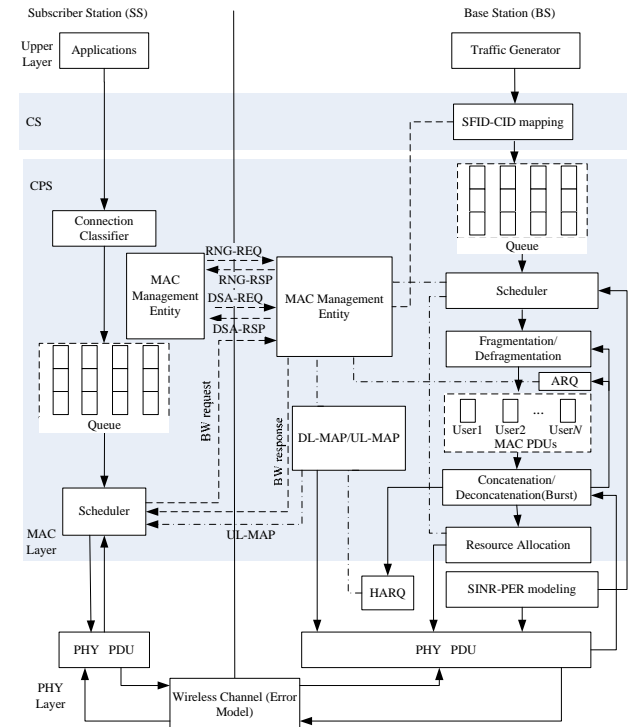


图 1 CNL-WiMAX 模块结构

整个 WiMAX 系统包括媒体接入控制层 MAC 和物理层 PHY。媒体接入控制层由汇聚子层、公共部分子层、安全子层构成, 其中, 安全子层是可选部分, 本文不予考虑。

汇聚子层负责分配高层协议数据单元, 分配连接标识, 并完成连接标识符与服务流标识的映射。

公共部分子层是媒体接入控制子层的核心, 主要功能包括系统接入、资源分配、建立并保持连接等。公共部分子层负责物理层上传输数据的 QoS 控制和调度。

由于 NS2 是基于分组的网络仿真器, 不适用于物理层仿真, 因此 CNL-WiMAX 模块中只实现 SNR 部分以表示信道条件。物理层采用简单的 OFDM 来计算影响有效资源的参数。

为了使用户支持多种服务流, 本文改进了媒体接入控制管理, 扩展了动态服务流管理, 如动态服务建立部分。当出现一个新的服务流, 用户将其与连接列表比较, 如果没有相关连接, 则用户给基站发送动态服务请求信息 DSA-REQ 以获得连接标识符。基站先检查服务流列表、系统资源, 以决定是否分配有效连接标识符给该服务流, 然后给用户发送携带成功或失败信息的动态服务建立响应信息 DSA-RSP。如果携带有建立成功的信息, 则同时包含一个服务流标识符和一个连接标识符, 基站记录这 2 个标识符及其与 QoS 之间的对应关系。用户给基站发送一个动态服务建立确认信息 DSA-ACK 并开始请求带宽。基站和用户可以通过动态服务修改信息或删除信息来修改或删除服务流。

扩展的 ARQ 部分包括停等、回退 N 和选择重传 ARQ 机制, 并完成对每种 ARQ 机制引入的传输时延的分析和比较。

为了分析 ARQ 性能, 本文扩展了无线信道部分, 采用类似 NS2 中有线差错模型的虚拟仿真信道, 包括二进制对称信道模型和二状态 GE(Gilbert-Elliott)信道模型。

本文在扩展模块上实现了调度和资源分配策略，并分析了其性能。

## 4 仿真与结果分析

### 4.1 仿真环境

仿真结果基于 CNL-WiMAX 模块，采用 NS-2.31 实现了 WiMAX 的动态系统级仿真，仿真系统参数设置如表 1 所示，服务流参数设置如表 2 所示。

表 1 仿真系统参数

| 参数           | 值     |
|--------------|-------|
| 系统频率/Hz      | 3.5   |
| 系统带宽/MB      | 11    |
| 帧长/s         | 0.004 |
| OFDM 点数      | 256   |
| DL/UL 率      | 3:7   |
| 数据子载波数       | 200   |
| 数据有效时隙数/上行子帧 | 21    |

表 2 传输参数

| 服务类型  | 数据包大小/Byte | 带宽/(bit·s <sup>-1</sup> ) |           |
|-------|------------|---------------------------|-----------|
|       |            | 最大值                       | 最小值       |
| UGS   | 60         | 64 000                    | 64 000    |
| rtPS  | 1 020      | 400 000                   | 1 200 000 |
| nrtPS | 1 500      | 600 000                   | 2 000 000 |
| BE    | 1 000      | -                         | 900 000   |

图 2 给出了仿真环境的网络拓扑，网络包括一个基站，一个接入节点和多个用户。在同一个仿真方案下，用户可能采用相同或不同类型的服务流连接。

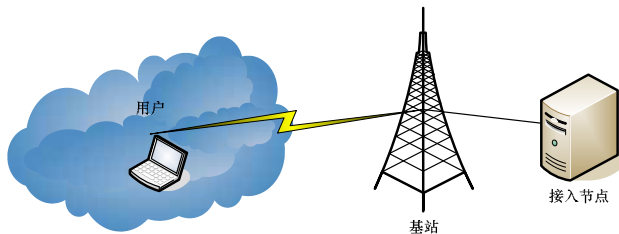


图 2 仿真情景

### 4.2 性能评估分析

#### 4.2.1 方案 1

方案 1 描述如下：用户 1~用户 8 均为 BE 流，用户 1、用户 2 的信道条件差，因此，调制解调方式采用 16-QAM 1/2，用户 3~用户 8 的信道条件良好，采用 64-QAM 3/4 的调制解调方式。假设先请求建立服务流的用户先请求资源。该方案的目的是证明本文提出的策略是公平的，且在极端环境下能达到较高吞吐量。

图 3 给出了文献[2]策略的结果，图 4 给出了本文所提策略的结果。如图 3 所示，先给用户 1、用户 2 分配资源，而用户 1、用户 2 的信道条件均较差，因此，减少了可分配给其他信道条件较好的用户的资源，导致用户 6、用户 7 的传输速率较低。但如图 4 所示，信道条件较差的用户 1、用户 2 的传输速率均较低，可以看出用户 1、用户 2 没有影响其他

用户的 QoS。通过图 3 和图 4 可以看出，本文提出的调度和资源分配策略可以改进 WiMAX 系统的吞吐量。

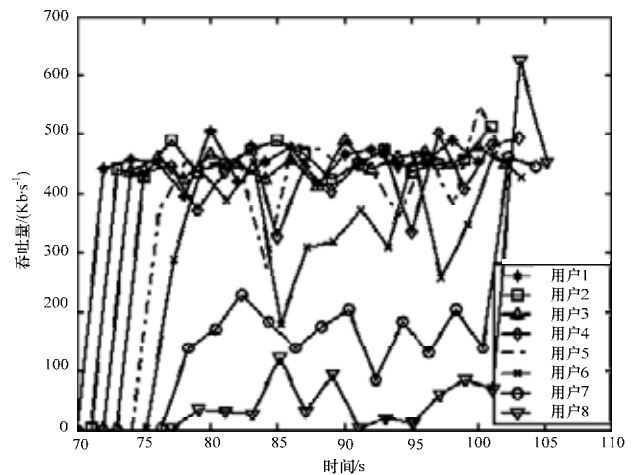


图 3 文献[2]策略的吞吐量

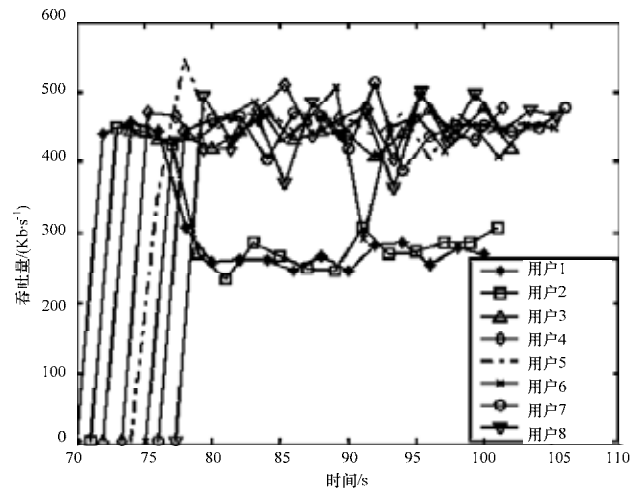


图 4 本文策略的吞吐量

#### 4.2.2 方案 2

方案 2 描述如下：用户 1~用户 6 均为 rtPS 服务流，所有用户都采用 64-QAM 3/4 调制解调方式。该方案的目的是证明本文提出的策略可以达到一个较好的时延性能。

图 5 显示了文献[2]策略的结果，其时延较大且很难确保 QoS 需求。图 6 显示了本文策略的仿真结果，其时延状况得到有效改进。

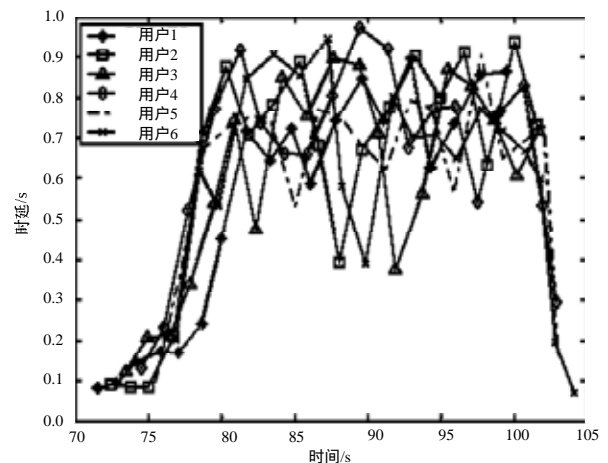


图 5 文献[2]策略的时延

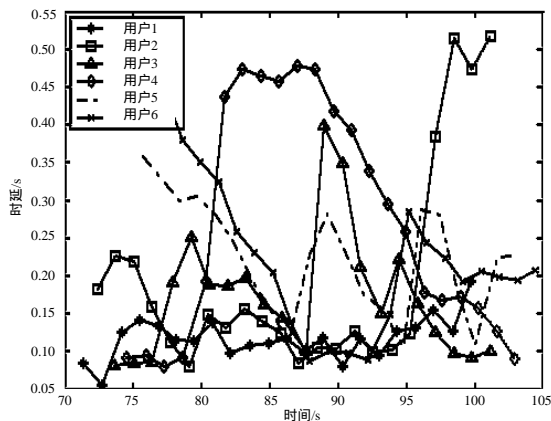


图6 本文策略的时延

#### 4.2.3 方案3

方案3描述如下：用户1、用户2为UGS服务流，用户3、用户4为rtPS服务流，用户5、用户6为nrtPS服务流，用户7、用户8为BE流。所有用户都采用64-QAM 3/4的调制解调方式。该方案的目的是证明本文提出的策略可以确保每种服务类型的QoS需求。

如图7所示，服务流为BE的用户7、用户8的吞吐量均为400Kb/s，可以说明其QoS得到保障。

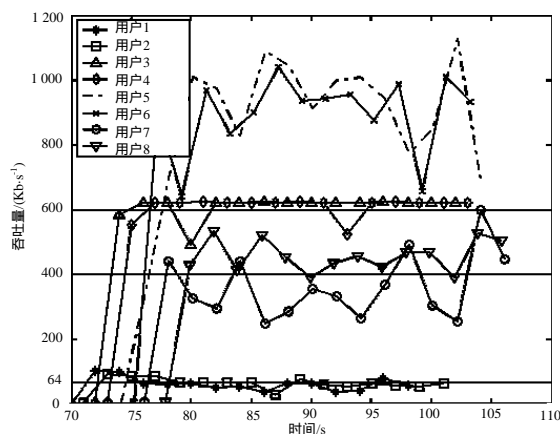


图7 吞吐量

(上接第82页)

试序列。根据实验结果，T1和T2具有相同的缺陷检测率，但T1用到的测试序列更少，调用的方法数也更少。T3的变异分数相对T1、T2的变异分数稍低，但测试成本很低，因此，在选用测试方法时可适当地对某些关键方法进行优化。而T4虽然测试成本较低，但因其变异分数与前面3种有明显差距，所以不建议采用。

表1 变异测试结果

| 测试包 | 测试序列数目 | 方法总数 | 变异分数/(%) | 测试成本 |
|-----|--------|------|----------|------|
| T1  | 11     | 57   | 84       | 3.23 |
| T2  | 15     | 73   | 84       | 2.58 |
| T3  | 8      | 40   | 80       | 4.38 |
| T4  | 7      | 35   | 63       | 3.97 |

## 7 结束语

本文提出了一种针对类中属性值和方法特性生成UML状态图，并基于状态图应用W方法生成测试序列的方法。进一步的研究重点是应用UML中的其他模型检测面向对象的

由于传输时延不是常量，因此用户1、用户2的吞吐量不是一个常量，但均在64Kb/s左右，该吞吐量大小正好是所对应服务类型的传输速率。用户3、用户4的吞吐量均不大于平均传输速率，说明本文所提策略可以将传输近似为恒定速率且具有较小时延。用户5、用户6的吞吐量被限制在带宽请求范围内。

## 5 结束语

本文扩展了WiMAX系统级仿真模块，改进了动态服务流部分并增加了ARQ部分的CNL-WiMAX，该模块是基于NS-2.31的。下一步的工作重点是解决ARQ反馈中数据块大小对ARQ性能的影响问题，以及通过增加混合式自动重送请求，分析采用前向纠错的改进性能。

## 参考文献

- [1] Zhu Xinning, Huo Jiachuan. An Adaptive Resource Allocation Scheme in OFDMA Based Multiservice WiMAX Systems[C]//Proc. of the 10th International Conference on Advanced Communication Technology. Phoenix, USA: [s. n.], 2008: 593-597.
- [2] Sayenko A, Alanen O, Karhula J, et al. Ensuring the QoS Requirements in 802.16 Scheduling[C]//Proc. of International Workshop on Modeling Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems. Terromolinos, Spain: [s. n.], 2006.
- [3] Ni Qiang, Vinel A. Investigation of Bandwidth Request Mechanisms Under Point-to-multipoint Mode of WiMAX Networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2007, 45(5): 132-138.
- [4] Hahne E L. Round Robin Scheduling for Fair Flow Control in Data Communication Networks[C]//Proc. of IEEE International Conf. on Communications. Toronto, Canada: [s. n.], 1986.
- [5] Chen Jenhui, Wang Chih-Chieh, Tsai F C D, et al. The Design and Implementation of WiMAX Module for NS-2 Simulator[C]//Proceedings of the 2006 Workshop on NS-2: the IP Network Simulator. Pisa, Italy: [s. n.], 2006.
- [6] Rouil R. The Network Simulator NS-2 NIST Add-on IEEE 802.16 Model (MAC+PHY)[Z]. Maryland, USA: National Institute of Standards and Technology. 2007.

编辑 陈晖

继承性、多态性等特征。

## 参考文献

- [1] 张庆, 雷航. 一种基于UML状态图的面向对象类级测试模型[J]. 计算机工程, 2005, 31(21): 75-77.
- [2] Briand L C, Penta M D, Labiche Y. Assessing and Improving State-based Class Testing: A Series of Experiments[J]. IEEE Transactions on Software Engineering, 2004, 30(11): 770-783.
- [3] Ipate F, Leticaru R. State-based Testing Is Functional Testing[C]//Proc. of IEEE Testing Conference. [S. l.]: IEEE Press, 2007: 55-66.
- [4] Chow T S. Testing Software Design Modeled by Finite-state Machines[J]. IEEE Trans. on Software Engineering, 1978, 4(3): 178-187.
- [5] Ipate F. Class Testing from State Diagrams Using Stream X-machine Based Method[C]//Proc. of IEEE 2007 Software Engineering Conference. [S. l.]: IEEE Press, 2007: 245-254.

编辑 张正兴