

全国大学生数学建模竞赛论文模板

摘要

摘要

对于问题一,

对于问题二,

对于问题三,

对于问题四,

最后,

关键字: 关键词 关键词 关键词 关键词 关键词

目录

1	问题重述	4
1.1	问题背景	4
1.2	问题要求	4
1.3	我们的工作	5
2	模型假设	5
3	符号说明	5
4	问题一的模型的建立和求解	5
4.1	问题一的描述与分析	5
4.2	预备工作	5
4.3	模型建立	5
4.4	模型求解	5
4.5	求解结果	5
5	问题二的模型的建立和求解	5
5.1	问题二的描述与分析	5
5.2	预备工作	6
5.3	模型建立	6
5.3.1	决策变量	6
5.3.2	状态变量	6
5.3.3	传输性能模型	7
5.3.4	服务质量模型	7
5.3.5	优化目标	7
5.3.6	约束条件	8
5.4	模型求解	8
5.5	求解结果	8
6	问题三的模型的建立和求解	9
6.1	问题三的描述与分析	9
6.2	预备工作	9
6.3	模型建立	9
6.4	模型求解	9

6.5 求解结果	9
7 模型的分析与检验	9
7.1 灵敏度分析	9
7.2 误差分析	9
8 模型的评价	9
8.1 模型的优点	9
8.2 模型的缺点	9
A 附录 文件列表	10
B 附录 代码	10

1 问题重述

1.1 问题背景

随着移动通信需求的激增和物联网（IoT）的快速发展，网络架构正向异构化和虚拟化演进。异构蜂窝网络（HetNet）通过混合部署宏基站与微基站，有效提升了网络容量与覆盖。在此基础上，5G 网络切片技术利用网络功能虚拟化（NFV），将单一物理网络划分为多个逻辑切片，以满足超高可靠低时延（URLLC）、增强移动宽带（eMBB）和大规模机器通信（mMTC）等多样化服务需求。

无线资源的管理依赖于正交频分多址接入（OFDMA）技术，它将频谱划分为时频资源块（RB）进行灵活分配。因此，在异构网络与多切片共存的复杂场景下，如何设计高效的资源块和功率分配策略，以最大化用户服务质量并优化能耗，成为无线资源管理领域的核心挑战。

1.2 问题要求

本赛题旨在研究异构蜂窝网络中基于网络切片的无线资源管理问题。核心任务是设计一套优化方案，在满足不同用户多样化服务质量（QoS）需求的同时，实现系统资源的高效利用。具体来说，需要解决以下几个层层递进的问题：

- **问题一：**针对单个微基站和单一用户任务的场景，研究如何将有限的资源块在 URLLC、eMBB、mMTC 三类切片间进行静态分配，以实现用户服务质量的最大化。
- **问题二：**在动态场景下，考虑用户任务的随机到达和用户移动性，设计一个多周期的资源分配策略。该策略需要在 10 个决策点上对资源进行重新分配，不仅要服务新到达的任务，还要处理队列中积压的任务，目标是最大化整个时间窗口内的总体用户服务质量。
- **问题三：**将场景扩展到多个微基站，引入了基站间的同频干扰问题。要求在进行资源块分配的同时，对每个基站各切片的发射功率进行协同优化，以抑制干扰，最大化全系统的用户服务质量。
- **问题四：**构建一个包含宏基站和多个微基站的异构网络模型。在此模型中，需要为每个用户决策其接入基站（宏基站或微基站），并为所有基站进行切片划分和功率控制，以应对更大规模的用户需求和更复杂的网络环境，最终目标仍是最大化整体服务质量。
- **问题五：**在问题四的基础上，引入基站能耗模型，探讨在保证最大化用户服务质量的同时，如何通过优化资源分配策略来实现网络总能耗的最低化，从而在服务性能和绿色节能之间取得平衡。

1.3 我们的工作

2 模型假设

为简化问题，本文做出以下假设：

- 假设 1
- 假设 2
- 假设 3

3 符号说明

符号	说明	单位
m	质量	kg
V	体积	m^3

4 问题一的模型的建立和求解

4.1 问题一的描述与分析

4.2 预备工作

4.3 模型建立

4.4 模型求解

Step1:

Step2:

Step3:

4.5 求解结果

5 问题二的模型的建立和求解

5.1 问题二的描述与分析

问题二考虑现实中用户任务随机到达、用户移动性以及任务队列积压的动态场景。系统需要在 1000ms 时间窗口内进行 10 次资源分配决策（每 100ms 一次），目标是最大化整体用户服务质量。与问题一相比，问题二增加了以下复杂性：

- 用户任务以概率形式动态到达，需要建立随机到达过程模型

- 用户移动导致信道参数随时间变化，影响传输性能
- 未完成任务在队列中积压，产生排队时延
- 需要在多个决策周期间协调资源分配策略

5.2 预备工作

时间离散化：将 1000ms 时间窗口划分为 10 个决策周期，每个周期 $\Delta t = 100\text{ms}$ 。设决策时刻为 $t_k = k \cdot \Delta t$, $k = 0, 1, \dots, 9$ 。

用户任务到达建模：用户 i 在决策周期 k 的任务到达量 $A_{i,k}$ 为随机变量，服从以下分布：

$$A_{i,k} \sim \begin{cases} \text{Poisson}(\lambda_i), & \text{URLLC 用户} \\ \text{Uniform}(a_i, b_i), & \text{eMBB/mMTC 用户} \end{cases} \quad (1)$$

信道时变性：用户 i 在时刻 t_k 的信道参数为 $(\phi_{i,k}, h_{i,k})$ ，其中 $\phi_{i,k}$ 为大规模衰减， $h_{i,k}$ 为小规模瑞利衰减。

5.3 模型建立

5.3.1 决策变量

在每个决策时刻 t_k ，需要确定三类切片的资源块分配：

$$\mathbf{x}_k = (x_k^{\text{URLLC}}, x_k^{\text{eMBB}}, x_k^{\text{mMTC}}) \quad (2)$$

其中 $x_k^{(s)} \geq 0$ 表示在时刻 t_k 分配给切片 s 的资源块数。

5.3.2 状态变量

队列状态：用户 i 在时刻 t_k 的队列长度 $Q_{i,k}$ 和总任务量 $W_{i,k}$ ：

$$Q_{i,k+1} = Q_{i,k} + \mathbf{1}_{A_{i,k}>0} - \mathbf{1}_{\text{服务完成}} \quad (3)$$

$$W_{i,k+1} = W_{i,k} + A_{i,k} - C_{i,k} \quad (4)$$

其中 $C_{i,k}$ 为在决策周期 k 内完成的任务量。

等待时延：队列中任务 j 的等待时间 $D_{j,k}$ 随决策周期递增：

$$D_{j,k+1} = D_{j,k} + \Delta t \quad (5)$$

5.3.3 传输性能模型

信干噪比计算：

$$\gamma_{i,k} = \frac{P_{\text{tx}} \cdot \phi_{i,k} \cdot |h_{i,k}|^2}{N_0(\text{RB 数量})} \quad (6)$$

传输速率：

$$r_{i,k} = \text{RB 数量} \times 360 \times 10^3 \times \log_2(1 + \gamma_{i,k}) \quad (7)$$

传输时延：

$$T_{i,k} = \frac{W_{i,k} \times 10^6}{r_{i,k}} \quad (8)$$

总时延：

$$L_{i,k} = D_{i,k} + T_{i,k} \quad (9)$$

5.3.4 服务质量模型

URLLC 用户 QoS：

$$y_i^{\text{URLLC}}(k) = \begin{cases} \alpha^{L_{i,k} \times 1000}, & L_{i,k} \leq 5\text{ms} \\ -5, & L_{i,k} > 5\text{ms} \end{cases} \quad (10)$$

eMBB 用户 QoS：

$$y_i^{\text{eMBB}}(k) = \begin{cases} 1, & L_{i,k} \leq 100\text{ms} \wedge r_{i,k} \geq 50\text{Mbps} \\ \frac{r_{i,k}}{50 \times 10^6}, & L_{i,k} \leq 100\text{ms} \wedge r_{i,k} < 50\text{Mbps} \\ -3, & L_{i,k} > 100\text{ms} \end{cases} \quad (11)$$

mMTC 切片 QoS：

$$y^{\text{mMTC}}(k) = \begin{cases} \frac{\text{接入用户数}}{\text{请求用户数}}, & \text{无超时} \\ -1 \times \text{请求用户数}, & \text{存在超时} \end{cases} \quad (12)$$

5.3.5 优化目标

最大化整个时间窗口内的累积服务质量：

$$\max_{\{\mathbf{x}_k\}_{k=0}^9} \sum_{k=0}^9 \left[\sum_{i \in \mathcal{U}} y_i^{\text{URLLC}}(k) + \sum_{i \in \mathcal{E}} y_i^{\text{eMBB}}(k) + y^{\text{mMTC}}(k) \right] \quad (13)$$

5.3.6 约束条件

资源约束：

$$x_k^{\text{URLLC}} + x_k^{\text{eMBB}} + x_k^{\text{mMTC}} \leq 50, \quad \forall k \quad (14)$$

$$x_k^{(s)} \geq 0, \quad \forall s, k \quad (15)$$

资源块粒度约束：

$$x_k^{\text{URLLC}} \in \{0, 10, 20, \dots\} \quad (16)$$

$$x_k^{\text{eMBB}} \in \{0, 5, 10, \dots\} \quad (17)$$

$$x_k^{\text{mMTC}} \in \{0, 2, 4, \dots\} \quad (18)$$

队列演化约束：

$$Q_{i,k+1} = \max(0, Q_{i,k} + \mathbf{1}_{A_{i,k}>0} - \text{服务能力}) \quad (19)$$

$$W_{i,k+1} = \max(0, W_{i,k} + A_{i,k} - C_{i,k}) \quad (20)$$

5.4 模型求解

5.5 求解结果

6 问题三的模型的建立和求解

6.1 问题三的描述与分析

6.2 预备工作

6.3 模型建立

6.4 模型求解

Step1:

Step2:

Step3:

6.5 求解结果

7 模型的分析与检验

7.1 灵敏度分析

7.2 误差分析

8 模型的评价

8.1 模型的优点

- 优点 1
- 优点 2
- 优点 3

8.2 模型的缺点

- 缺点 1
- 缺点 2

附录 A 文件列表

文件名	功能描述
q1.m	问题一程序代码
q2.py	问题二程序代码
q3.c	问题三程序代码
q4.cpp	问题四程序代码

附录 B 代码

q1.m

```
1 disp("Hello World!")
```

q2.py

```
1 print("Hello World!")
```

q3.c

```
1 #include <stdio.h>
2
3 int main()
4 {
5     printf("Hello World!");
6     return 0;
7 }
```

q4.cpp

```
1 #include <bits/stdc++.h>
2 using namespace std;
3
4 int main()
5 {
6     cout << "Hello World!" << endl;
7     return 0;
8 }
```