

硕士学位论文

基于 SDN/NFV 的天基信息网络虚拟化方法

Virtualization Methods for Space-Based Information

Networks Based on SDN/NFV

Central South University

专业学位类别

工程硕士

专 业 领 域

电子信息

作 者 姓 名

李启茂

指 导 教 师

费洪晓

2025 年 4 月



中图分类号 TP391  
UDC 004.9

学校代码 10533  
学位类别 专业学位

## 硕士学位论文

# 基于 SDN/NFV 的天基信息网络虚拟化方法 Virtualization Methods for Space-Based Information Networks Based on SDN/NFV Central South University

作 者 姓 名	李启茂
专业学位类别	工程硕士
专 业 领 域	电子信息
研 究 方 向	计算机技术
二级培养单位	计算机学院
指 导 教 师	费洪晓
副 指 导 教 师	

论文答辩日期\_\_\_\_\_ 答辩委员会主席\_\_\_\_\_

中 南 大 学  
2025 年 4 月



## 学位论文原创性声明

本人郑重声明，所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。尽我所知，除了论文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得中南大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我共同工作的同志对本研究所作的贡献均已在论文中作了明确的说明。

申请学位论文与资料若有不实之处，本人承担一切相关责任。

学位论文作者签名：\_\_\_\_\_ 日期：\_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_ 月 \_\_\_\_ 日

## 学位论文版权使用授权书

本学位论文作者和指导教师完全了解中南大学有关保留、使用学位论文的规定：即学校有权保留并向国家有关部门或机构送交学位论文的复印件和电子版，允许本学位论文被查阅和借阅。本人授权中南大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索和公开传播，可以采用复印、缩印或其它手段保存和汇编学位论文。本人同意按《中国优秀博硕士学位论文全文数据库出版章程》规定享受相关权益。本人保证：毕业后以学位论文内容发表的论文作者单位注明中南大学；学位论文电子文档的内容和纸质学位论文的内容相一致。

延缓公开论文延缓到期后适用本授权书，涉密论文在解密后适用本授权书。

本学位论文属于：(请在以下相应方框内打“√”)

☐ 公开

☐ 延缓公开，延缓期限（\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_ 月 \_\_\_\_ 日至 \_\_\_\_ 年 \_\_\_\_ 月 \_\_\_\_ 日）

学位论文作者签名：\_\_\_\_\_ 指导教师签名：\_\_\_\_\_

日期：\_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_ 月 \_\_\_\_ 日 日期：\_\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_ 月 \_\_\_\_ 日

（填写阿拉伯数字）



## 基于 SDN/NFV 的天基信息网络虚拟化方法

**摘要:** 【研究意义及难点痛点: 天基资源监测和虚拟化是空天地一体化中资源统筹管理和综合应用的重要基础, 但目前缺乏有效的资源监测方法和统一的资源表达方式】, 【研究思路对策: 论文将 SDN、NFV 分别应用于天基资源监测和虚拟化中】, 【具体研究工作: 基于 SDN 研究监测子网划分和控制器部署策略, 实现根据当前卫星位置和通信情况(口语)调整监测网络, (少了一句)基于 NFV 实现天基资源虚拟化, 通过软件定义网络的灵活性和虚拟网络功能的可编程性, 实现天基资源的虚拟化】, 【研究成果: 进而实现了一个基于智能体的面向对地观测任务的天基资源管理系统】, 【应用效果: 能够高效整合天基资源, 协同天基信息网络中各航天器资源执行卫星观测任务】。论文主要的贡献如下:

(1) 基于 SDN 的天基资源监测。【针对问题: 为实现天基信息网络监测信息的稳定传输, 减少卫星间信息传输延迟】, 【思路方法: 论文提出了天基信息网络监测子网划分和控制器部署策略以及天基信息网络测量架构】, 【研究成果: 实现了对全局资源信息监测, 保证了信息传输的稳定性、准确性和实时性】。【研究具体过程: 在基于 SDN 构建的天基信息网络中, 采用 k-means 算法将天基信息网络划分为不同的子网, 在此基础上使用遗传算法确定各个子网中控制器的数量和位置, 采用结合主动和被动测量方法的天基信息网络测量架构, 【实现结果: 达到提高资源监测的全面性和准确性, 降低监测对系统性能影响的目的】, 【效果证明: 实验表明……】。

(2) 基于 NFV 的天基资源虚拟化。【针对问题: 针对天基信息网络中资源的异构性以及网络的高度动态性的问题, 【思路方法: 论文通过软件定义网络的灵活性和虚拟网络功能的可编程性, 实现对天基资源的虚拟化, 【研究成果: 实现了对异构资源的整合和虚拟网络的生成】。【研究具体过程: 论文通过 NFV 实现虚拟网络功能的生成, 对虚拟网络功能进行编排以生成虚拟网络, 【实现结果: 提高了天基信息网络的弹性、可扩展性和资源利用率。】。【效果证明: 实验表明……】。

(3) 面向对地观测任务的天基资源管理系统。【针对问题: 为实现高效的对地观测】, 【运用理论成果: 论文利用基于 SDN 的天基资源监测和基于 NFV 的天基资源虚拟化】, 【研制系统: 研制了面向对地

观测任务的天基资源管理系统】【系统实现过程: 实现了可以实时监测资源和高效整合天基信息网络资源的系统】,【应用情况: 并应用于实际的的对地观测场景当中, 解决传统系统资源信息反馈不及时、整体资源利用率低的问题】。

图 5 幅, 表 1 个, 参考文献 0 篇

**关键词:** 天基信息网络; SDN; VNF; 资源监测; 资源虚拟化  
**分类号:** TP391



# **Virtualization Methods for Space-Based Information Networks Based on SDN/NFV Central South University**

**Abstract:** LaTeX can be compiled into a pdf of uniform format using the set template. At present, most domestic publishers and universities still use word. Because of its powerful function and flexibility, when faced with fixed-form papers by novices, simple matters such as typesetting, numbering, and reference documents will bring many difficulties and troubles. For some problems that need to be modified throughout, to achieve the efficiency of LaTeX, it requires a high level of skill for word users.

In order to focus on the writing of papers, many international journals and universities support the writing and submission of LaTeX. Novices don't need to care about formatting issues. They only need to use a few symbolic labels step by step to get the documents that meet the requirements. And when you need to modify the entire format, you can directly recompile the template file by replacing or modifying the template file. This is incredible for the word novice to use the word.

The purpose of this project is to create a TeX template that meets the specifications of the graduate degree thesis (PhD) of Central South University, and to address the pain points of format adjustment during the dissertation writing.

**Keywords:** CSU; LaTeX; Template

**Classification:** TP391

# 目 录

摘要 .....	I
ABSTRACT .....	III
目录 .....	IV
插图索引 .....	V
表格索引 .....	VI
符号说明 .....	VII
第 1 章 绪论 .....	1
1.1 研究背景与意义 .....	1
1.2 主要研究工作 .....	2
1.3 论文组织结构 .....	2
第 2 章 图像布局 .....	3
2.1 单图布局 .....	3
2.2 横排布局 .....	3
2.3 竖排布局 .....	3
2.3.1 竖排多图横排布局 .....	3
2.3.2 横排多图竖排布局 .....	4
2.4 本章小结 .....	4
第 3 章 表格插入示例 .....	5
第 4 章 算法示例 .....	6
第 5 章 公式、定理、证明插入示例 .....	7
第 6 章 参考文献插入示例 .....	9
第 7 章 总结与展望 .....	10
7.1 工作展望 .....	10
参考文献 .....	11
附录 A（附录名称）（三号黑体，加粗）（必要时） .....	12

攻读学位期间主要的研究成果 .....	13
致 谢 .....	14

插图索引

图 2-1 单图布局示例 ..... 3

图 2-2 横排布局示例 ..... 3

图 2-3 竖排布局示例 ..... 4

图 2-4 竖排多图横排布局 ..... 4

图 2-5 横排多图竖排布局，斜体 *emph A*，*A*，斜体 *text A* ..... 4

## 表格索引

表 3-1	表格为三线表斜体 <i>emph A</i> , <i>A</i> , 斜体 <i>text A</i> . . . . .	5
-------	--	---

符号说明

符号	意义	单位（量纲）
频率	赫 [兹]	Hz

# 第 1 章 绪论

## 1.1 研究背景与意义

目的是创建一个符合中南大学研究生学位论文（博士）撰写规范的 LaTeX 模板，解决学位论文撰写时格式调整的痛点。

已有珠玉在前，我们之所以还要重新造轮子，主要依据 2022 年 4 月 18 号学校下发的 [《中南大学研究生学位论文撰写规范》中大研字【2022】8 号] (<http://oa.its.csu.edu.cn/Home/ReleaseMainText/9CFE8926B13143009D5EB424333AAD6C>)，重新修改了页面布局、字体类型和大小、标题内容，以期做到与 Word 模板尽可能的相似。**学校要求：**2022 年起，申请博士、硕士学位的学位论文必须按新文件执行。主要修改如下：

- 按要求修订段落与各级标题间距；
- 按要求修订中英文段落间距，章节间距，附录标题段落间距，研究成果及致谢标题间距，参考文献间距等；
- 增加博士和硕士论文模板选项，只需要 `info.tex` 选择即可，方便使用；
- 按新版撰写规范修改主要格式如下：修订目录章节标题间距；修订中英文段落间距；修订图片与表格标题的段落间距；
- 按要求更新“学位论文版权使用授权书”；
- 依据 2022 最新撰写规范修订封面和扉页-“封面”及“扉页”关于学科专业的表头更新为：一级学科/专业学位类别，二级学科/专业领域；
- 依据专家意见修订定理和证明等环境，如“定理”使用小四黑体，编号随章节变化重新编号（如定理 4-1），定理内容使用小四宋体，且内容行距与正文一致；“证明”无需编号，且以黑色小方块结尾；
- 修订算法在每个章节重新编号问题；
- 增加符号说明页和附录页（如果不需要，请在 `.cls` 文件对应处注释掉即可）；
- 增加参考文献按国标 `gbt7714-2015` 要求，只核对了常用的图书、中英文期刊，会议格式，其余未常使用的未进行核对（如有问题请改回 `gbt7714-2005`）；
- 修订多个子图 `Caption` 居中问题；
- 依据专家意见调整成果与致谢部分间距，并增加目录中的点密度；
- 按照图书馆最新要求（2020 年 12 月份），去除目录中红色边框；
- 增加页眉信息：中南大学博士论文与右侧的章节名保持一致，以及无需号章节名保持一致；
- 增加中英文摘要至目录，并保持与章节名对其；

- 参考文献完全依照国标 gbt7714-2005，修正了部分 Bug，提供了新的引用命令；
- 按照最新版本要求，在声明扉页前后各增加一页空白页，保证装订单独成页；
- 章节标题居中，并改成‘第 1 章’样式；
- 目录中，将原章节标题换成‘第几章’样式，字体按要求加粗；
- 中文摘要到目录结束用罗马数字编写页码，小五号 Times New Roman, 居中；
- 增加插图索引和表格索引；
- 所有的章节题目和中英文摘要均按要求修改字体和间距；

## 1.2 主要研究工作

### 博士和硕士模板选择说明：

- 当前模板默认是博士，学术型。
- 如选择硕士模板，只需要将对应的 content/info.tex 文件中，选择 `\Doctor false` % 硕士学位论文，注释掉对应的博士模板就行。
- 学术型和专业型，盲审和正常版本，公开和涉密版本，均是同样操作；
- 其它模板，可以根据自己需要修改 CSUthesis.cls 文件。
  - (1) 提供图片插入示例。
  - (2) 提供表格插入示例。
  - (3) 提供公式插入示例。
  - (4) 提供参考文献插入示例。

## 1.3 论文组织结构

全文内容共六章，具体内容组织如下：

第一章为绪论。

第二章为图片插入示例。

第三章为表格插入示例。

第四章为公式插入示例。

第五章为参考文献插入示例。

第六章总结与展望，总结了本文的主要工作，展望了下一阶段的研究方向。



## 第2章 图像布局

### 2.1 单图布局

单图布局如图2-1所示。



图 2-1 单图布局示例

### 2.2 横排布局

横排布局如图2-2所示。

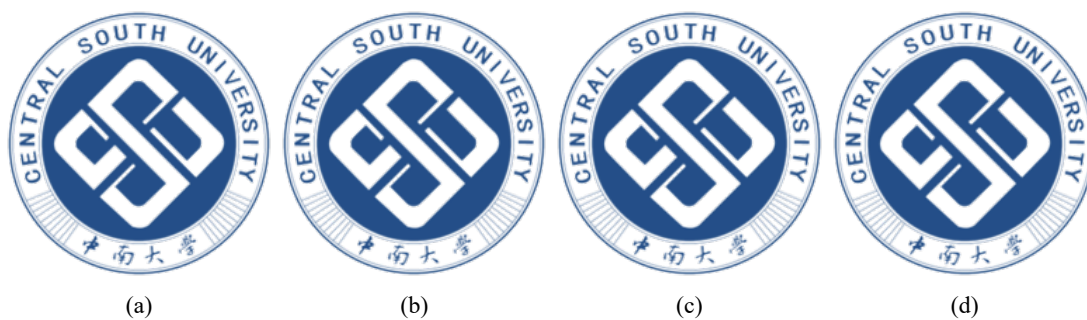


图 2-2 横排布局示例

### 2.3 竖排布局

竖排布局如图2-3所示。

#### 2.3.1 竖排多图横排布局

竖排多图横排布局如图2-4所示。注意看 (a)、(b) 编号与图关系。



(a)



(b)

图 2-3 竖排布局示例



(a)



(b)

图 2-4 竖排多图横排布局

### 2.3.2 横排多图竖排布局



(a)



(b)

图 2-5 横排多图竖排布局, 斜体 *emph A*, *A*, 斜体 *textit A*

横排多图竖排布局如图2-5所示。注意看 (a)、(b) 编号与图关系。

## 2.4 本章小结

本章示例图片布局。

### 第 3 章 表格插入示例

表 3-1 表格为三线表斜体 *emph A*, *A*, 斜体 *textit A*

	<i>AA A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>
1	212	414	4	23	fgw
2	212	414	v	23	fgw
3	212	414	vfwe	23	嗯
4	212	414	4fwe	23	嗯
5	af2	4vx	4	23	fgw
6	af2	4vx	4	23	fgw
7	212	414	4	23	fgw

表格如表3-1所示，**latex** 表格技巧很多，这里不再详细介绍。

## 第4章 算法示例

---

### 算法 4-1 Fourier-Mellin Based KCF

---

**Input:** Image  $I$

preprocessed kernelized template  $T_\kappa$

**Output:** scale  $\sigma$ , angle  $\theta$  relation between  $I$  and  $T$

- 1: fourier transform:  $F = \mathcal{F}(I)$
  - 2: high pass filter:  $F_h = \mathcal{H}(F)$   
 $\mathcal{H}(x, y) = (1.0 - \cos(\pi x)\cos(\pi y))(2.0 - \cos(\pi x)\cos(\pi y))$
  - 3: log-polar transform:  $F_{lp} = \mathcal{L}(F_h)$
  - 4: apply kernel function:  $F_\kappa = \mathcal{K}(F_{lp})$
  - 5: phase correlation:  $(\Delta x, \Delta y) = \mathcal{C}(F_\kappa, T_\kappa)$
  - 6: resolove scale and rotation:  
 $\theta = \alpha \Delta x, \sigma = \log(\Delta y)$   
 where  $\alpha$  is translation factor of pixel translation on fourier domain and polar angle on origin image
- 

---

### 算法 4-2 算法示例

---

**Input:** 相关输入。。。。

**Output:** 相关输出。。。

- 1: 算法描述
  - 2: **for**  $i \leftarrow 1 \cdots N$  **do**
  - 3:   算法描述
  - 4:   **for each**  $j \leftarrow 1 \cdots K$  **do**
  - 5:     算法描述
  - 6:   **end for**
  - 7: **end for**
  - 8: **repeat**
  - 9:   **repeat**
  - 10:     令  $\tau \leftarrow \tau + 1$
  - 11:   **until** 内循环迭代终止条件
  - 12:   。。。
  - 13: **until** 外循环迭代终止条件
- 

如算法4-1所示，**latex** 算法技巧很多。按需调整，这里不再详细介绍。

## 第 5 章 公式、定理、证明插入示例

$$\text{P1: } \min_{\eta, R_u > 0, R_d > 0} \{T_{\text{latency}}(\eta, R_u, R_d)\} \quad (5-1)$$

$$\text{s.t. } 0 \leq \eta \leq 1 \quad (5-2)$$

公式插入示例如公式 (5-3) 所示。

$$\gamma_x = \begin{cases} 0, & \text{if } |x| \leq \delta \\ x, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5-3)$$

$$\text{P1: } \max_{\substack{P_{m,i}, P_{n,i} \\ q_{m,i}, q_{n,i} \\ \forall n, m, i}} [R_{\text{sum}}(P_{m,i}, P_{n,i}, q_{m,i}, q_{n,i}, \forall n, m, i)], \quad (5-4)$$

$$\text{s.t. } q_{m,i} \in (0, 1), q_{n,i} \in (0, 1), \forall n, m, i, \quad (5-5)$$

$$0 \leq \sum_{i=1}^R q_{n,i} P_{n,i} \leq P_n^{\text{sum}}, \forall n, \quad (5-6)$$

$$0 \leq \sum_{i=1}^R q_{m,i} P_{m,i} \leq P_m^{\text{sum}}, \forall m, \quad (5-7)$$

$$\sum_{i=1}^R q_{n,i} \leq 1, \sum_{i=1}^R q_{m,i} \leq 1, \forall m, n, \quad (5-8)$$

$$\sum_{n=1}^N q_{n,i} \leq 1, \sum_{m=1}^M q_{m,i} \leq 1, \forall i, \quad (5-9)$$

$$C_{m,BS,i}(P_{m,i}, q_{m,i}) \geq \varepsilon_{m,i}, \forall m, \quad (5-10)$$

公式子编号示例：

$$\varphi_{n,t} \in \{0, 1\}, \forall n \in \mathcal{N}, t \in \mathcal{N}_t, \quad (5-11-a)$$

$$\varphi_{n,t} \in \{0, 1\}, \forall n \in \mathcal{N}, t \in \mathcal{N}_t, \quad (5-11-b)$$

$$\varphi_{n,t} \in \{0, 1\}, \forall n \in \mathcal{N}, t \in \mathcal{N}_t, \quad (5-11-c)$$

其中，公式5-11-a表示。


$$H_j = \text{Concat}(\text{GAP}(F_j), \text{GMP}(F_j)), \quad (5-12)$$

$$\tilde{H}_{j-1,j} = \text{Concat}(H_{j-1}, H_j), j = 5, \quad (5-13)$$

$$p_c^{(i)} = \text{Softmax}(\mathbf{P}_\theta(\tilde{H}_{j-1,j})), \quad (5-14)$$

定理和证明环境说明：如”定理”使用小四黑体，编号随章节变化重新编号（如定理 4-1），定理内容使用小四宋体，且内容行距与正文一致；”证明”无需编号，且以黑色小方块结尾。

**定理 5-1** 开始定理。。。

**证明** 开始证明。。。 

## 第 6 章 参考文献插入示例

LaTeX[?] 插入参考文献最方便的方式是使用 bibliography[?]，大多数出版商的论文页面都会有导出 bib 格式参考文献的链接，建议使用 Jabref 管理参考文献，把每个文献的 bib 放入 “thesis-references”，然后用 bibkey 即可插入参考文献。

中文文献 [?]，注意手动编辑 bibkey 为英文的即可。

可以将文献标注为右上角<sup>[?]</sup>，只需要在现有的 cite 后加 “ss” 即可。

英文会议 [?], [?].

英文期刊 [?], [?].

**特别强调：**从 Google 下载的 bib 也不一定全是对的，如发现有信息缺失，请下载原文核对。比如已发表的期刊，要包保证年、卷、标。

**注意：**如发现替换后的参考文献没有更新，请删除主文件夹下 xxx.bbl 文件，重新编译即可。

## 第7章 总结与展望

纯数字编号

1. XXXXXXXXXXXX
2. XXXXXXXXXXXX
3. XXXXXXXXXXXX

罗马编号

- (i) XXXXXXXXXXXX
- (ii) XXXXXXXXXXXX
- (iii) XXXXXXXXXXXX

括号编号

- (1) XXXXXXXXXXXX
- (2) XXXXXXXXXXXX
- (3) XXXXXXXXXXXX

半括号编号

- 1) XXXXXXXXXXXX
- 2) XXXXXXXXXXXX
- 3) XXXXXXXXXXXX

小字母编号

- a) XXXXXXXXXXXX
- b) XXXXXXXXXXXX
- c) XXXXXXXXXXXX

引用测试, 正如1、(i)、(1)、1)、a)所示

### 7.1 工作展望

手动编号

本课题针对 XX, 鉴于 XXX, 对 XX 进行了提高, 但是 XXX, 所以有如下 XX:

- (1) 目前 XX 虽然 XX, 但是 XX 仍然 XX, 所以 XX 仍然是一个值得 XX 的问题。
- (2) 随着 XX, XX 具有 XX 的问题, 仍值得进一步 XX。
- (3) 本课题在 XX 有了 XX, 但是 XX 的 XX 还存在 XX, 所以 XX。





## **附录 A （附录名称）（三号黑体，加粗）（必要时）**

附录正文……（格式参考正文）。换行示例。

## 攻读学位期间主要的研究成果

### 一、学术论文

[1] **Daxia Mou**, Director, Someone. CSU Latex Template[J]. CSU player: 1(1):1-10. **(SCI 检索, JCR 1 区)**

[2] Director, **Daxia Mou**, Someone, Someother. XXXXXX[J]. Transactions on Image Processing. **(SCI Under Review, JCR 1 区)**

[3] Director, **Daxia Mou**, Someone, Someother. XXXXXX[J]. Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. **(SCI Under Review, JCR 1 区)**

### 二、发明专利

[1] 某大侠, XXX, XXX. 一种用 Latex 写中南大学学位论文的方法. 申请号: CN20190415xxxx, 公开号: CNXXXXXXXXXA

### 三、主持和参与的科研项目

[1] 国家自然科学基金面上项目《XXXXXXXXXXXXX》,项目编号:XXXXXXXX, 参与.

### 四、个人获奖情况

[1] XX 金奖

[2] XX 奖学金

## 致 谢

作者对给予指导、各类资助和协完成研究工以及提供种论文有作者对给予指导、各类资助和协完成研究工以及提供种论文有利条件的单位及个人表示感谢。

致谢应实事求是，切忌浮夸与庸俗之词。