开题报告

一、课题背景和研究意义、国内外现状

1.1课题背景

随着航天技术的发展，实现全球信息共享，特别是天地网络融合的天地一体化卫星网络（Space-ground Integrated Network，SGIN）已经引起全球的广泛关注。作为新一代航空航天领域研究与发展核心，天地一体化卫星网络在传统卫星通信网络互通的基础上，综合利用空、天、地信息技术的各自优势，对从空、天、地以及海采集到的多维信息进行传输和处理，同时对资源进行汇聚并分发，实现具备一体化的时空复杂网络的最大有效利用。

随着虚拟技术的不断发展，云计算技术早已成为了IT技术领域最热门的技术之一，目前云计算平台主要分为两种，一种是模拟硬件实现虚拟化屏蔽底层硬件资源的差异，进而实现对基础设施资源的统一管理的传统云计算平台。主要代表VMware、Openstack的经典云计算架构。另一种是通过以Docker为代表的容器虚拟化技术实现的容器平台。OpenStack自2010年问世以来，经过了长时间的技术积累和市场培养后，其已经成为了开源云计算IaaS（Infrastructure as a Service）的事实标准，并且仍处在不断的发展当中。

1.2研究意义

天地一体化信息网络，是科技创新2030重大项目中首个启动的重大工程项目，被列入国家“十三五”规划纲要。空间网络覆盖面广、组网灵活，不受地理环境限制，相较地面网络拥有独特的优势，两者形成互利互补，实现天地一体化信息共享是未来一体化网络发展的目标。实现地面与空间网络融合，不仅符合未来发展的趋势，也是各国重大的战略需求。作为具有战略意义的国家信息基础设施，天地一体化信息网络的建设，对维护国家利益，促进经济发展，为国民提供便利有效的通信手段具有重大意义。

作为国家重大基础设施，天地一体化卫星网络区别于传统的地面网络，具有节点高度暴露、时空跨度大、高延时、拓扑实时变化、高误码、上下行链路带宽差异等特性。天地一体化信息网络的目标是建设一个安全性高、可集成、可重构的空对地信息应用系统，支持统一规划和管理。在实际部署之前，天地一体化网络拓扑结构、网间互联安全网关及终端接入鉴权等必须经过严格的评估和验证。天地一体化卫星网络规模庞大、结构复杂、高度动态，技术体制多样，解决大量技术难点耗时耗资巨大，因此，有必要建立天地一体化信息网络仿真实验平台，对各类新技术与安全防御策略进行试验验证。

1.3国内外现状

目前国内外对于卫星网络仿真的相关研究，主要有四个方面的主流技术：面向卫星网络的数学理论模型、基于离散事件模拟的卫星网络数字仿真、基于实物测试床的卫星网络仿真以及基于虚拟化技术的卫星网络仿真：

1）卫星网络的数学理论模型

文献[1] 中，Yi Zhuo等提出基于复杂网络理论的服务质量感知动态演化模型，在该模型中，节点异质性和服务质量感知策略能够提高天地一体化卫星网络的抗攻击性和整体服务质量。文献[2]依据数学仿真分析方法提出位置与姿态耦合动力学模型，并利用 STK（System Tools Kit，系统仿真工具包）与 MATLAB-Simulink 仿真卫星交会对接场景。文献[3]基于 STK 仿真分析铱星通信系统的可见卫星数目以及衡量定位精度的几何精度因子（Geometric Dilution Precision，GDOP），证明铱星卫星系统在两极具有很好的覆盖优势。文献[4]张倩等提出一种卫星星座的空域覆盖性能计算模型，基于最小覆盖重复周期简化了仿真过程，计算验证空域覆盖性能仿真策略，分析了空域覆盖的评价角度和基本特征。上述这些卫星网络的理论模型为高性能卫星网络仿真提供了理论基础，但是缺少高性能卫星网络仿真平台的安全仿真验证，且无法支撑天地一体化网络协议与应用的验证与评估。文献[5]王亮等研究了卫星链路计算数学模型，分析了星间链路空间几何特性、星地链路延时与误码率的动态变化规律，为卫星链路仿真提供了理论基础。面向卫星网络的数学模型以及卫星工具包STK可为卫星链路、卫星网络的部分特性参数提供理论分析依据，但缺乏形成体系化的天地一体化信息网络仿真场景的能力。

2）基于离散事件模拟的卫星网络数字仿真

基于离散事件模拟的数字仿真被广泛应用于新型卫星网络技术评测与验证中。文献[6]基于NS2模拟了卫星链路，并用于Abis接口的性能评估。文献[7]基于OPNET 模拟了MPLS卫星网络，并用于评测服务质量。文献[8]对天地一体化信息网络中的星地链路进行了建模，并基于OMNet++软件进行了特性仿真；文献[9]基于离散事件模拟技术仿真了星地混合网络，并应用于分析吞吐量、延迟与误码率等方面的性能。文献[10]通过在 NS-3 仿真软件上搭建卫星链路仿真场景，结合 linux 内核，对卫星链路的 TCP 拥塞控制算法进行仿真。文献[11]使用网络仿真技术软件包 OPNET 来仿真多层卫星网络，以验证多层卫星网络的合理性及改进该网络 QoS（Quality of Service，服务质量）的可行性。文献[12]通过在 NS-2 仿真 Walker 星座卫星网络，分别在铱星网络及 Walker 星座仿真平台上，模拟基于Agent 的分布式路由算法。文献[13]利用 STK 与Matlab 进行动态链路数据交互的联合仿真，模拟高逼真星地卫星链路的雨衰模型及大气衰减模型，可支撑深空卫星等复杂链路计算。

上述这些基于网络模拟器（NS2,NS3,OPNET,STK等）的数字仿真，可以构建复杂的卫星网络场景，能够准确分析复杂网络的性能和行为，且具有成本低、可扩展性高的优点，但数字仿真并不具备加载真实业务系统流量的能力，在仿真逼真性上存在一定的局限性。

3）基于实物测试床的卫星网络仿真

文献[14]中Beuran等人提出了一种基于名为QOMB的通用无线网络仿真测试的延时容忍网络(DTN，Delay Tolerant Networks)应用和协议的网络测试平台。QOMB中的实验是在近乎现实的情况下进行的，但QOMB具有高维护和低灵活性的缺点，此外很难支持大规模网络，因为在模拟大规模网络时会浪费许多硬件资源。

4）基于虚拟化技术的卫星网络仿真

基于虚拟化技术的卫星网络仿真技术，是伴随着云计算、虚拟化、软件定义网络（Software Defined Network，SDN）等技术而发展的，已成为当前卫星网络仿真的主流技术[15]。基于虚拟化的卫星网络仿真的代表性学术作品，主要有：文献[16]李海峰等采用轻量级虚拟化技术仿真小规模卫星网络，使用 linux 中的流量控制工具（Traffic Control，TC）模块对星地链路的延时、通断及丢包率进行仿真分析，但其延时仿真的逼真度不高。文献[17]基于 Openstack 开发分布式同步仿真模块，使EmuStack仿真平台能够实现同步、动态、精确和实时的卫星网络仿真。同时，使用 Docker 容器技术使 EmuStack能够支持大规模拓扑网络仿真。此外，EmuStack 将Linux 流量控制 TC 工具与 OpenStack 集成在一起，用于管理和仿真虚拟卫星链路。文献[18]基于SDN和虚拟化技术提出了一种大规模可重构的灵活的网络仿真平台，该平台能够仿真卫星节点的物理特性和两个卫星节点之间的链路特征。文献[19]设计了一种名为TUNIE的用来评价DTN的测试平台，使用虚拟化技术和SDN来实现一个真实可靠的DTN环境，通过控制数据传输实现了时变比特率，错误率和传输延时。文献[20]采用全虚拟化技术仿真 GSO 卫星节点、MEO 卫星节点和地面站节点，采用轻量级虚拟化技术仿真 LEO 卫星节点，同样利用 linux 内核中的流量控制工具 TC 实现卫星链路延时及丢包率动态切换。

1. Yi Zhuo, Du Xuehui, Liao Ying, et al. A quality-of-service-aware dynamic evolution model for space–ground integrated net-work[J]. International Journal of Distributed Sensor Networks, 2017, 13(8):1-14.
2. Chen Binglong, Geng Yunhai. Simulation of rendezvous and docking between service spacecraft and non-cooperative target with MATLAB-Simulink and STK[C]//Proceeding of the 11th World Congress on Intelligent Control and Automation, Shen-yang, 2014:5727-5732.
3. Fan Shiyue, Zhao Lijun, Xiao Wenjun, et al. Per-formance anal-ysis and simulation of Iridium navigation satellite based on STK[C]//Earth Observation and Remote Sensing Applications (EORSA), 2012 Second International Workshop on Earth Ob-servation and Remote Sensing Applications, 2012: 291-295.
4. 张倩, 赵砚, 徐梅. 卫星星座的空域覆盖性能计算模型[J]. 飞行器测控学报, 2011, 30(1):6-10.
5. 王亮, 张乃通, 刘晓峰. 低轨卫星通信网络星间链路几何参数动态特性[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2003, 35(2): 184-187.
6. S.B. Musabekov, R.R. Ibraimov. NS-2 network performance evaluation of abis interface over DVB-S2 in the GSM over satellite network[C]//2009 First Asian Himalayas International Conference on Internet. IEEE, 2009: 1-5.
7. Fuxing Deng, Shuang Hu, Junxiang Zhang, Siyao Zhang, Jing Wu, Hao Jiang. Research on Simulation of Satellite MPLS Network in OPNET[C]//Applied Mechanics and Materials. Trans Tech Publications, 2014, 668: 1306-1309.
8. Beishan Wang, Qi Guo. Modeling of Satellite-Earth Link Channel and Simulating in Space-Ground Integrated Network. International Conference on Machine Learning and Intelligent Communications (MLICOM 2017), 2017: 364-372.
9. Shankar Kumar Ghosh, Palash Kundu, Bhaskar Sardar, Debashis Saha. An Extension of on-Board TCP (obTCP) for Satellite-Terrestrial Hybrid Networks[C]//2014 Fourth International Conference of Emerging Applications of Information Technology. IEEE, 2014: 146-151.
10. 余腾, 刘志敏. 基于 NS-3 的卫星链路 TCP 仿真研究[J]. 计算机工程与应用, 2015, 51(22):90-94.
11. Deng Fuxing, Hu Shuang, Zhang Junxiang, et al. Research on Simulation of Satellite MPLS Network in OPNET[C]//Applied Mechanics and Materials, 2014, 668-669:1306-1309.
12. 林萍, 王汝传, 徐小龙. 基于 NS2 的 Walker 星座卫星网仿真的研究[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(10):189-192.秦董洪, 陈智勇, 杨家海. 基于Emulab的网络仿真实验平台研究[J]. 实验室科学, 2013, 16(3):92-95.
13. 李博, 叶晖, 张宏伟, 等. 基于 STK/Matlab 接口的卫星通信链路研究[J]. 无线电通信技术, 2016 , 42(6):37-40.
14. Beuran R, Miwa S and Shinoda Y. Network emulation testbed for DTN applications and protocols. In: 2013 proceedings IEEE INFOCOM, 14–19 April 2013, pp.3441–3446. Turin, Italy: IEEE.
15. 陈鸣, 陶小妹, 胡超, 许博, 邢长友. 基于网络功能虚拟化的网络试验平台的设计与实现[J]. 计算机学报，2018,41(9): 2016-2028.
16. Li Haifeng, Zhou Huachun, Zhang Hongke, et al. EmuStack: An OpenStack-Based DTN Network Emulation Platform//2016 In-ternational Conference on Networking and Network Applica-tions, Hakodate City, Hokkaido, Japan, 2016: 387-392. Simulation[C]. Workshop on Principles of Advanced and Distributed Simulation. IEEE Computer Society, 2012:201-210.
17. Li Haifeng, Zhou Huachun, Zhang Hongke, et al. EmuStack: An Openstack-based DTN network emulation platform (extended version)[J]. Mobile Information Systems, 2016, (3):1-15.David M. Nicol, Dong Jin, Yuhao Zheng. S3F:the Scalable Simulation Framework revisited[C].Proceedings of IEEE Simulation Conference, 2012:3288-3299.
18. T. Lu,W. Zhang, X. Ni, C. Fan, K. Zhao,W. Li, and N. Zhang, “A scalable network emulation architecture for space internetworking,” in 2016 IEEE International Conference on Communication Systems (ICCS). IEEE,2016, pp. 1–5.
19. Y. Li, P. Hui, D. Jin, and S. Chen. Delay-tolerant network protocol testing and evaluation[J]. IEEE Communications Magazine Articles News & Events of Interest to Communications Engineers,2015:258-266.
20. 刘渊, 张浩, 叶海洋, 等. 面向天地一体化信息网络的卫星链路仿真研究[J]. 通信学报, 2018, 39(4):56-67.

二、研究目标、研究内容、关键科学技术问题

研究目标

结合STK和OpenStack云平台两者的优势，实现STK和OpenStack的无缝连接，从而实现对SGIN动态、精确、实时的网络仿真。

能够根据STK中拓扑的实时变化动态调整仿真网络的网络拓扑，同时能够实时监控STK中卫星姿态的变化并在仿真网络作出实时反馈。

在整合TC工具以及SDN技术的同时，实现对可变延时、BER、卫星之间不稳定的端到端路径的更加精确仿真。

综合考虑不同卫星的特点优化仿真平台中的资源分配方式。

研究内容

1. 研究天地一体化信息网络架构

研究天地一体化信息网络架构，分析各个节点功能以及物理资源需求；深入了解GEO、LEO、HEO等卫星星座的轨道特征；了解各种卫星轨道之间的链路特性以及链路特征计算方法。

1. 研究OpenStack云计算平台及Python SDK

研究OpenStack云计算平台的整体架构、各组件结构和调度原理，从而提出仿真网络中卫星链路特性仿真的优化方案。同时研究Python SDK，帮助完成编写Python的自动化插件，实现对OpenStack中的网络平台的管理。

1. 研究STK

研究STK工具和STKX模型，实现对STK中的模拟网络拓扑、卫星姿态、链路特性的实时监控和数据提取调用。

1. 研究当前优秀的虚拟化技术

研究两种虚拟化技术的原理和特征，结合网络仿真平台中各个节点的资源调用需求，从而提出一种合理的资源分配方式。

关键科学技术问题

研究OpenStack中的调度原理及网络架构，主要涉及到OpenStack的两大关键组件：Nova和Neutron。分析在端到端路径数据传输过程中出现的误差原因，从而提出解决方案以实现对链路特性更加精确的方针。

三、研究方案和技术路线

研究方案

1. 研究天地一体化网络架构

天地一体化信息网络架构在地理上分为空间和地面两个部分。空间部分主要是卫星网络，包括天基接入网和天基骨干网。地面部分主要是地面站和相关地面基础设施。需要深入了解各个卫星星座的轨道参数以及各种卫星轨道之间链路的特征和链路计算方法才能为网络仿真平台提供精确的数据来源。

1. 研究OpenStack云计算平台及Python SDK

OpenStack云计算平台是一种开源的IaaS服务层次的云操作系统，负责对数据中心的计算、存储和网络资源进行统一管理。OpenStack的研究主要通过书本学习和官放文档进行。

Python SDK作为OpenStack提供的一种Python API交互方式，用于编写和创建Python的自动化脚本，并在OpenStack中管理云资源。Python SDK的学习主要通过项目驱动进行，根据实际项目需求熟悉Python SDK的使用。

1. 研究STK

STK作为一款在航天领域处于领先地位的商业分析软件，支持航天任务的全过程。研究将使用STK工具作为原始模拟数据的来源。通过实现STK和OpenStack的无缝连接完成网络仿真平台在实时性、动态精确仿真方面上的各项指标。STK提供了在多种环境嵌入STK功能的方法，包括C++、C#、html、Java、Matlab、MFC等。本研究课题将使用Matlab嵌入STK功能。STK中STKX模块负责STK和各种环境的集成。本研究课题将重点研究STKX中的connect模块，该模块提供了一种基于客户端-服务器模式的连接到STK的方法。STK及其模块的学习主要通过STK提供的官方帮助文档学习。

1. 研究当前优秀的虚拟化技术

通过研究当前使用广泛的虚拟化技术，研究各种虚拟化技术的原理和特点，设计一种针对不同特点卫星、地面站节点的资源分配方式，以提高仿真平台的资源利用率。主要通过大量研读相关论文进行研究。

技术路线

1. 分析现有论文和文献

阅读国内外相关文献，总结该研究方向的现状以及发展趋势，从中学习相关技术并吸取经验找出现有技术的不足之处，以找出研究的突破要点和研究方法。

1. 研究天地一体化网络架构

主要通过研读相关论文了解天地一体化信息网络架构以及各个节点的轨道和链路特征。

1. 研究OpenStack云计算平台和Python SDK

本研究课题需要对OpenStack云计算平台的调度原理和网络架构有深入的了解，才能完成对端到端路径的流量控制以及根据流量控制过程中出现的误差以实现链路特征控制的优化。

同时借由项目驱动，熟悉Python SDK的常用操作，积累编程经验和技巧，以为后续编写代码过程提供便利。

1. 研究STK

STK作为原始数据的来源，需要对STK的各个模块有深入了解，并具备搭建场景，编写代码的能力。同样借由项目驱动，积累相关的经验和技巧。

1. 研究当前优秀的虚拟化技术

根据天地一体化信息网络各个节点的资源需求，在仿真平台中为各个节点分配合适的资源配置方案，这需要研究当前优秀的虚拟化技术并对天地一体化信息网络中各个节点有深入了解。

四、创新点

(1) 实现对OpenStack和STK的无缝连接，实现对SGIN的实时、动态、精确仿真。

(2) 提高网络仿真平台端到端路径中链路特征的仿真精度。

(3) 结合多种虚拟化方法以优化仿真平台中资源分配方案。

五、课题研究计划

本研究课题的研究工作分为四个阶段：

1. 第一阶段，2020年3月－2020年8月

大量阅读国内外高质量和最新的相关文献，学习网络仿真关键技术基本概念和理论，包括天地一体化信息网络架构、OpenStack云计算平台、STK、虚拟化技术等。

1. 第二阶段，2020年8月－2021年1月

在现有技术的基础上，寻找新的创新点，搭建实验环境，实践创新点，并完成开题报告。

1. 第三阶段，2021年2月－2021年9月

在实验的结果与事实相符并有明显改进的基础之上，完成论文的撰写。

1. 第四阶段，2021年9月－2022年6月

对所做工作进行全面地总结，撰写毕业论文，准备答辩。

1. 存在的困难以及拟采取的措施
2. 平衡项目要求和研究进度

在项目推进过程中，其一要注意积累相关技术方法，认真完成笔记记录；其二，在完成项目的过程中积极寻找可借鉴和深入发觉的点子，以不断为本研究课题丰富内容。

1. 研究方法不正确导致研究进度缓慢

在研究学习的过程中，孤军奋战必然会导致方向的偏离，难以着手、思路瓶颈等问题，所以与导师、同学的交流，可能会带来提示，打破瓶颈，找到方向。

1. 研究过程中遇到技术难点难以突破

在研究过程中可能会遇到难以攻克的技术难点，原因大多是因为对相关技术的了解不够深入，需要继续深入了解相关技术并尝试使用多种方法解决该技术难点。如若仍然无法攻克该问题，应该换一种思路，寻求一种较好的替代方法进而实现同样的技术要求。

1. 实验结果未达到预想目标

应该重新梳理整个实验过程，寻找实验过程中的缺陷或者疏漏之处，进而修改实验或者相关代码。同时，善用控制变量以及单步调试等方法重复实验寻找出现问题的原因。