

华南理工大学硕士学位论文

面向协同边缘计算的资源联合任务调度系统研究

梁华倩

指导教师：杨磊 教授

华南理工大学

2026 年 3 月 1 日

摘 要

协同边缘计算作为一种新兴范式，通过利用地理分布且异构的边缘节点资源，为自动驾驶、工业互联网等低延迟、高可靠应用提供了技术支撑。然而，边缘环境的异构性、计算与网络资源的紧密耦合性，以及分布式智能应用（如分布式训练）所呈现的复杂网络依赖拓扑，使得传统的任务调度机制在资源效率和系统性能上面临严峻挑战。当前研究主要存在两大局限：其一，主流基于有向无环图的任务依赖模型难以有效刻画可能具有环状等复杂通信特征的分布式智能任务；其二，现有调度方案普遍将计算资源与网络资源进行独立管理与调度，忽略了二者间的内在权衡关系，容易导致资源竞争与性能瓶颈。为解决上述问题，本文在协同边缘计算环境下设计了一种高效的计算与网络资源联合调度方案，主要工作如下：

本文设计并实现了协同边缘调度系统 SCES (Collaborative Edge Scheduler)，首次将任务到节点的映射与网络带宽分配进行联合管理。其次，构建了一个计算与网络资源的联合优化模型，该模型能够精确描述分布式训练等任务的通信拓扑与资源需求，并弹性适应动态环境。我们进一步提出了一种基于深度强化学习的智能调度算法，采用双分支演员-评论家架构，并融入启发式奖励函数，使系统能够在动态环境中自主学习全局最优的联合调度策略，从而实现系统负载均衡与用户带宽满足度等整体性能的优化。仿真实验和系统实验结果表明，该算法在整体性能上显著优于现有基准方法。

此外，为应对多分布式学习作业并发的场景，本文在 CES 基础上进一步提出了 CES-Multi 算法。该算法以提升资源利用均衡度、保障作业带宽需求满足度及降低作业平均等待时间为目标，在边缘节点多资源约束下，融合滚动窗口机制、资源感知贪心排序与动态饥饿保护策略。该算法通过滚动窗口动态选择候选作业，依据资源适配度、业务优先级和等待时间进行综合评分与排序，并调用既有单作业调度器执行资源分配；同时通过优先级动态提升与最小资源预留等机制，避免低优先级作业饥饿。实验表明，CES-Multi 在资源利用率、作业等待时间与带宽满足度方面的综合表现优于现有方法，有效增强了 CES 系统在多作业调度场景中的适用性与综合性能。

关键词：边缘计算；任务调度；多目标优化；深度强化学习；分布式训练

Abstract

Keywords: Edge Computing; Task Scheduling; Multi-objective Optimization; Deep Reinforcement Learning; Distributed Training

目 录

摘 要	I
Abstract	II
插图目录	V
表格目录	VI
第一章 绪论	1
1.1 研究背景和意义	1
1.2 研究现状与分析	1
1.3 本文研究工作及创新点	1
1.4 本文组织结构	1
第二章 相关技术基础概述	2
2.1 协同边缘计算	2
2.2 分布式训练	2
2.3 任务调度	2
2.4 深度强化学习	2
2.5 本章小结	2
第三章 协同边缘计算任务调度系统 CES 设计	3
3.1 系统设计目标	3
3.2 系统架构设计	3
3.3 任务调度流程	3
3.4 本章小结	3
第四章 基于深度强化学习的联合任务调度算法	4
4.1 问题建模	4
4.2 算法设计	4
4.3 实验结果与分析	4
第五章 多任务队列调度算法	5
5.1 问题建模	5
5.2 算法设计	5
5.3 实验结果与分析	5

总结与展望	6
参考文献	7
攻读博士/硕士学位期间取得的研究成果	8
致 谢	9

插图目录

表格目录

第一章 绪论

1.1 研究背景和意义

1.2 研究现状与分析

1.3 本文研究工作及创新点

1.4 本文组织结构

关于 \LaTeX 以及基于 \LaTeX 写作的好处不再赘述。 \LaTeX 的入门资料推荐文献 [1] 以及文献 [2]。

第二章 相关技术基础概述

2.1 协同边缘计算

2.2 分布式训练

2.3 任务调度

2.4 深度强化学习

2.5 本章小结

第三章 协同边缘计算任务调度系统 CES 设计

3.1 系统设计目标

3.2 系统架构设计

3.3 任务调度流程

3.4 本章小结

第四章 基于深度强化学习的联合任务调度算法

4.1 问题建模

4.2 算法设计

4.3 实验结果与分析

第五章 多任务队列调度算法

5.1 问题建模

5.2 算法设计

5.3 实验结果与分析

总结与展望

参考文献

- [1] CTAN: Package Lshort-Zh-Cn[EB/OL]. <https://ctan.org/pkg/lshort-zh-cn>.
- [2] 一份其实很短的 LaTeX 入门文档[EB/OL]. 始终. <https://liam.page/2014/09/08/latex-introduction/index.html>.

攻读博士/硕士学位期间取得的研究成果

一、已发表（包括已接受待发表）的论文，以及已投稿、或已成文打算投稿、或拟成文投稿的论文情况(只填写与学位论文内容相关的部分):

序号	作者（全体作者，按顺序排列）	题目	发表或投稿刊物名称、级别	发表的卷期、年月、页码	与学位论文哪一部分（章、节）相关	被索引收录情况
1						
2						

注：在“发表的卷期、年月、页码”栏：

1. 如果论文已发表，请填写发表的卷期、年月、页码；
2. 如果论文已被接受，填写将要发表的卷期、年月；
3. 以上都不是，请据实填写“已投稿”，“拟投稿”。

不够请另加页。

二、与学位内容相关的其它成果（包括专利、著作、获奖项目等）

致 谢

这次你离开了没有像以前那样说再见, 再见也他妈的只是再见
我们之间从来没有想象的那么接近, 只是两棵树的距离
你是否还记得山阴路我八楼的房间, 房间里唱歌的日日夜夜
那么热的夏天你看着外面, 看着你在消逝的容颜
我多么想念你走在我身边的样子, 想起来我的爱就不能停止
南京的雨不停地下不停地下, 就像你沉默的委屈
一转眼, 我们的城市又到了夏天, 对面走来的人都眯着眼
人们不敢说话不敢停下脚步, 因为心动常常带来危险
我多么想念你走在我身边的样子, 想起来我的爱就不能停止
南京的雨不停地下不停地下, 有些人却注定要相遇
你是一片光荣的叶子, 落在我卑贱的心
像往常一样我为自己生气并且歌唱
那么乏力, 爱也吹不动的叶子

作者姓名

2020 年 7 月 10 日

于华南理工大学