北京邮电大学

硕士研究生学位论文开题报告

学 号: 2020110855

姓 名: 齐智鹏

学 院: 计算机学院（国家示范性软件学院）

专业(领域): 软件工程

研究方向: 物联网与智能系统

导师姓名: 费爱国

攻 读 学 位:学术硕士

2021年10月27日

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 论文题目 | 基于深度学习和强化学习的应急场景流量调度算法研究 | | |
| 选题来源 | 重点研发 | 论文类型 |  |
| 开题日期 | 2021-11 | 开题地点 |  |
| **一、立题依据（包括研究目的、意义、国内外研究现状和发展趋势，需结合科学研究发展趋势来论述科学意义；或结合国民经济和社会发展中迫切需要解决的关键科技问题来论述其应用前景。附主要参考文献目录）（不少于800字）**  1、研究的目的与意义  我国地大物博，自然资源丰富，与此相对应的，中国是世界上自然灾害影响和威胁最严重的国家之一。2020年，我国全年各种自然灾害共造成1.38亿人次受灾，591人因灾死亡失踪，589.1万人次紧急转移安置；10万间房屋倒塌，30.3万间严重损坏，145.7万间一般损坏；农作物受灾面积19957.7千公顷，其中绝收2706.1千公顷；直接经济损失3701.5亿元。可见自然灾害对我国人民的生命财产安全造成了极大的威胁。  中共中央政治局11月29日下午就我国应急管理体系和能力建设进行第十九次集体学习。中共中央总书记习近平在主持学习时强调，应急管理是国家治理体系和治理能力的重要组成部分，承担防范化解重大安全风险、及时应对处置各类灾害事故的重要职责，担负保护人民群众生命财产安全和维护社会稳定的重要使命。要发挥我国应急管理体系的特色和优势，借鉴国外应急管理有益做法，积极推进我国应急管理体系和能力现代化。  在应急管理响应中，山地茂密林区及其所处的高寒、高温、高湿等恶劣环境，均对通导信号传播产生影响，存在通信不稳定、通道效率低、指挥响应慢等问题，给救援、抢险任务造成了极大的困难。  在应急救援过程中，时间就是生命，应急业务的及时响应速率十分重要。在本项目，《国家重点研发：山地茂密林区等恶劣环境的应急指挥通信网络及终端装备》，所搭建的无人机应急救援网络条件下，无人机通信节点和通信链路状态存在着很大的不稳定性，如：无人机结点掉线、链路带宽减小、通信时延增加等。因此，如何在此应急组网场景下，及时且高质量地完成应急业务是一个亟需解决的问题。  网络流量分类技术在国内外工业界和学术界均有广泛关注和研究。模式匹配、数据挖掘、硬件加速等多种技术逐渐融合到传统的网络流量识别技术中，衍生出众多技术交叉点，进一步提升了网络流量识别技术的准确性、效率与性能。在近些年的国际顶级学术会议上，不断出现关于网络流量识别方向的研究成果。结合机器学习的分类方法，使得流量分类的准确度大幅提高且应用领域更加丰富。将流量分类多样的分类方式应用于应急救援场景下，可以对应急业务流量进行准确的分类，并以分类结果为参考，进行进一步的数据包传输优化。  网络流量传输调度现多用于数据中心的负载均衡和性能优化等方面，其目标通常是保障每类服务中流量之间的公平性，使带宽需求流量的吞吐量最大化，并且使延迟敏感流的完成时间最小化等。随着互联网和云计算技术的快速发展，网络数据量急剧增多，用户需求不断提高，基于流量特征的流量传输调度算法不断提出，并获得了积极的实验结果。流量调度综合考量了节点稳定性、链路状态以及网络流量特征，可以与应急救援场景相结合，在流量分类的结果集上，对传输链路选择进行优化，提升应急业务响应速率和完成率。  2、国内外研究现状  1）流量分类  网络流量分类技术作为增强网络可控性的基础技术之一，可以帮助研究人员了解网络上的流量分布，允许网络运营商（internet service provider，ISP）优先一些重要的传输，并且阻止网络犯罪行为的发生[1]。传统的流量分类方法有基于端口号的分类方法、基于有效负载的分类方法，但是这两种方法由于各自不可突破的局限性，已经被研究者们弃用。随着机器学习热度的提升，将机器学习和深度学习的方法应用于网络流量分类的方法取得了不错的实验结果。  机器学习技术相较于传统分类方法更加自动化和智能化，可以根据流的统计特征分类，避免了流量加密带来的影响。在此类方法中，研究者大多使用<源IP地址，源端口号，目的IP地址，目的端口号、协议号>五元组来标识一条流[2]，并基于流的统计特征来分类，如流内包的大小、包时间间隔均值、方差等。2016 年 Taylor等[3]提出基于突发数据流进行分类，考虑数据流传输的两个方向（源、目的地址互换），使用18 个统计特征，使用支持向量回归算法和随机森林算法取得了 99%的分类准确率。  基于机器学习的方法需要专家认为提取特征，于是可以通过训练自主学习特征的基于深度学习的分类方法成为一种理想的解决方案。Li 等[4]将循环神经网络（RNN）引入网络流量分类中，设计了一种新的神经网络——字节段神经网络（BSNN， 直接将数据包作为模型输入，实验结果表明，在对 5 个协议分类的过程中，BSNN 的总体准确率平均值约为95.82%。Shapira 等[5]提出根据单向数据流的包大小、包到达时间将数据流转换成图片，然后通过 CNN模型做分类，最终分类准确率可以达到 99.7%。  2）流量传输调度  近年来互联网和云计算技术的快速发展，网络数据量急剧增多，用户需求不断提高。网络流调度技术成为研究热点，即设计一个合理的流调度规则，以避免网络拥塞，提高网络资源利用率，满足用户需求。目前国内外针对流量调度和传输调度相关的课题研究已有不少革新成果。针对网络数据流的流量特征，传输调度方案会动态选择传输链路，最大化链路利用率，降低传输时延。  流量调度在大型数据中心应用广泛。近年来，随着互联网和云计算技术的快速发展，数据中心应用更加多样化，网络数据量急剧增多，用户需求不断提高。数据中心网络虽然为数据传输提供了多条可用路径和可用带宽，但如何高效地使用这些网络资源，保障网络传输，优化网络性能并没有固定的方法[6]。基于软件定义网络（software de-fined network，SDN）的数据中心流调度方案获得了不错的成果。基于流量特征的调度策略主要有以下三种: 大象流的调度策略、老鼠流的调度策略和大象流与老鼠流的调度策略。  在物联网领域，无线通信中的流传输调度的对于性能的影响更为显著。近年来更多的研究者将目光投向了使用深度学习和强化学习的方法解决数据包的信道冲突、智能调度等问题。  由于各种无线应用的普及率迅速增加，物联网的低分组传输效率面临着频谱拥挤的问题，Zhu等人[7]提出了一种基于Q-learning的认知物联网（cognitive radio-based Internet of Things ，CIoT）传输调度机制，该机制利用深度学习来解决如何通过多个信道实现不同缓冲区的数据包传输策略，以最大限度地提高系统吞吐量的问题。虽然该方案的性能一般，但大大降低了算法复杂度且不需要先验信息，适用于实际场景。在认知物联网中，如何智能地调度系统中的数据包传输仍是一个关键的挑战，即如何设计一个智能代理来实现智能决策和有效的互操作。Yang等人[8]将系统状态转换建模为一个马尔可夫决策过程，并提出了一种基于模糊归一化径向基函数神经网络（AC-FNRBF）的Actor-Critic深度强化学习算法，有效解决了高维变量下认知物联网系统智能传输调度问题。  3、参考文献   1. [熊刚，孟姣，曹自刚，等．网络流量分类研究进展与展望[J]．集成技术，2012,1(1):32-42．](https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?dbcode=CJFD&filename=JCJI201201007&v=MzEzODF5N0JaN0c0SDlQTXJvOUZZNFFLREg4NHZSNFQ2ajU0TzN6cXFCdEdGckNVUjd1ZVp1WnNGeWpuVXJ6Qkw=&uid=WEEvREcwSlJHSldSdmVqM1BLVXBGNXlMY0pUUURDYno4NDQxbElxWmJIZz0=$9A4hF_YAuvQ5obgVAqNKPCYcEjKensW4IQMovwHtwkF4VYPoHbKxJw!!) 2. 顾玥,李丹,高凯辉.基于机器学习和深度学习的网络流量分类研究[J].电信科学,2021,37(03):105-113. 3. TAYLOR V F, SPOLAOR R, CONTI M, et al. Appscanner: automatic fingerprinting of smart phone apps from encrypted network traffic[C]//Proceedings of 2016 IEEE European Symposium on Security and Privacy (EuroS&P). Piscataway: IEEE Press, 2016: 439-454 4. LI R, XIAO X, NI S, et al. Byte segment neural network for network traffic classification[C]// Proceedings of 2018 IEEE/ ACM 26th International Symposium on Quality of Service (IWQoS). Piscataway: IEEE Press, 2018: 1-10 5. SHAPIRA T, SHAVITT Y. Flowpic: encrypted internet traffic classification is as easy as image recognition[C]//Proceedings of IEEE INFOCOM 2019-IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS). Piscataway: IEEE Press, 2019: 680-687. 6. 陈珂,刘亚志,王思晗.基于流量特征的流调度策略研究综述[J].计算机应用研究,2020,37(10):2889-2894. 7. Zhu J, Song Y, Jiang D, et al. A new deep-Q-learning-based transmission scheduling mechanism for the cognitive Internet of Things[J]. IEEE Internet of Things Journal, 2017, 5(4): 2375-2385. 8. Yang H, Xie X. An actor-critic deep reinforcement learning approach for transmission scheduling in cognitive internet of things systems[J]. IEEE Systems Journal, 2019, 14(1): 51-60. | | | |

|  |
| --- |
| **二、研究内容和目标（说明课题的具体研究内容，研究目标和效果，以及拟解决的关键科学问题。此部分为重点阐述内容）（不少于2500字）**  1、具体研究内容  本课题的具体研究内容主要分为以下三个部分，第一部分是研究面向业务的智能网络流量分类方法，第二部分则是研究基于业务分级与链路状态的智能流量调度策略。第三部分是设计合理详细的测试方案，模拟应急业务的应用场景，对前两个部分的算法进行仿真和进行性能测试，证明算法的有效性和对应急场景的适用性，验证研究的意义。  接下来将从这三个关键部分详细介绍具体研究内容。   1. 面向业务的智能网络流量分类方法   基于机器学习的流量分类方法的主要缺点是需要专家经验提取和筛选特征，因此这些方法既耗时又昂贵，而且容易出现人为错误。因此，本论文选择基于深度学习的分类方法实现网络流量分类，在目前的研究进展中，神经网络在网络流量分类中已经有了很多的应用，并取得了理想的分类准确率。基于深度学习的流量分类方法分为两类：基于数据包的原始字节特征和基于流内数据包序列特征。基于数据包的原始字节特征的方法指分类器的输入是数据包原始字节内容，基于流内数据包序列特征的方法指分类器的输入是流内数据包包大小、包时间间隔序列等特征。在本课题中，流量分类的结果要与应急业务相结合，由于不同的应急业务有不同的传输优先级和传输链路要求，因此需要在节点进行流量调度之前，根据不同的应急业务类型，对流量进行分类。这一部分的工作将作为研究基于业务分级与链路状态的智能流量调度策略的基础。   1. 基于业务分级与链路状态的智能流量调度策略   对于基于业务分级与链路状态的智能流量调度策略，需要考虑的有以下几个方面：   1. 结合研究点一中的流量分类结果   本研究点的流量传输调度，继承于研究点一的网络流量分类。在研究点一中，已经将流量特征与应急业务结合，对流量按照业务类型进行分类。进而，在进行流量传输调度和链路选择时，调度节点需要考虑不同业务类型流量的传输优先级、带宽以及传输时延等多方面的要求。   1. 应急场景下的无人机组网特性   依托于国家重点研发项目，本研究点的重点是在山地茂密林区的无人机应急组网场景下，设计并实现流量传输调度算法。目前流量传输调度在认知物联网、大型数据中心等流量密度大的场景下应用广泛，但在本课题所提出的应急组网场景及小规模组网下的相关研究和应用较少，因此本课题下，适用场景的改变是一个重要方面。无人机应急组网场景，与常规无线通信网络不同之处在于，其无人机节点和通信链路状态都存在着较大的不稳定性，如无人机节点可能会在某个时间帧宕机，致使节点失联，节点之间的连通性遭到破坏；链路状态的不稳定性则主要表现在链路的传输特征发生变化，如链路的可用带宽变化，传输时延变化等。因此，本研究点的第一个需要着重考虑的方面，是深入探究在无人机应急组网场景下，网络状态的动态变化对流量传输调度的影响，这对后面数据包链路选择算法的研究是十分必要的。   1. 传输调度算法的设计和实现   目前，关于无线通信网络中的传输调度算法已经有了比较多的研究实现，存在着多种分类方式，与时下热门的深度学习和强化学习联系密切。本论文中，拟在网络层设计实现调度算法，采用强化学习的方法，对网络中传输节点可能到达的状态和可能采取的动作建模，使每个节点都能够独立的针对当前链路状态做出判断，结合当前流量数据包的业务信息和链路状态，对数据包进行实时转发。在这个研究点中，需要设计仿真实验环境，验证算法的可行性，与其他现有的流量传输调度算法的性能进行比较并改进。   1. 设计详细的测试方案验证研究意义与成果   测试方案的设计使验证研究意义与研究成果的重点，研究意义在一定程度上有赖于测试方案设计的好坏。本课题希望从以下三个方面的测试结果来验证课题的研究意义。  一是通过本论文中的流量分类方法和现有的主流流量分类器的性能和分类准确率对比，验证本论文中的分类模型是否达到应急业务可用的标准。与此同时，考虑在已有的流量分类模型的基础上做修改，使其适用于本课题所提出的应急业务分类。  二是设计实验验证本论文中的流量传输调度算法在无人机组网节点和链路状态不稳定的状态下的可用性。验证过程可以根据算法设计过程逐步推进，从固定组网结构、固定链路状态的情况，进一步到固定组网结构、链路状态变化的情况，再进一步到传输节点随机掉线、链路状态稳定的情况，最后到贴近应急场景的组网节点不稳定、链路状态不稳定的情况。  三是对比本论文中的流量传输调度算法和理论最佳传输方案的性能指标。收集传输结果信息，验证数据包的完整性，对比传输时延、资源占用情况，衡量调度性能、实时性和资源占用之间的代价。  2、研究目标和效果  本课题的研究目标是设计实现一种基于强化学习的应急组网场景下流量传输调度算法。  早在2013年，就有研究者提出，将无线网络的优化问题建模为马尔可夫决策过程（MDP），以描述系统的状态转换。然而，由于MDP有很多变量，所以很难解决MDP问题。因此，可以引入强化学习方法来解决这一问题。强化学习是机器学习领域的一类学习问题，它与常见的有监督学习、无监督学习等的最大不同之处在于，它通过与环境之间的交互和反馈来学习。个体/智能体能够采取一系列行动并且期望获得较高收益或者达到某一目标。基于目前的研究结果可以知道，在认知物联网和大型数据中心等应用场景下，基于强化学习的方法在解决传输调度中的资源紧张、链路变化、流量突增等问题有显著的效果。但是在应急组网场景下的有效性还没有得到充分的实验验证。  因此本课题拟将强化学习的方法应用到应急组网场景下，以解决网络中传输节点不稳定和链路状态实时变化下的数据包传输速度慢、应急业务响应时间长等问题。并通过实验验证基于强化学习的调度方案在应急组网场景下的可行性。  3、拟解决的关键科学问题  如何在应急场景下实现网络快速部署和应急业务快速响应是本课题所依托的国家重点研发项目的重要研究内容之一。应急业务的响应速度在人员搜救、险情处理等过程中发挥着十分重要的作用。因此，如何通过调整节点转发数据包的调度策略，针对不同的应急业务，如语音传输、数据传输、视频传输等，选择适当的传输链路，以达到提高链路传输效率、缩短应急业务响应时间的效果，是本课题拟重点解决的关键科学问题。 |

|  |
| --- |
| **三、研究方案设计及可行性分析（包括：研究方法，技术路线，理论分析、计算、实验方法和步骤及其可行性等）（不少于800字）**  1.研究方法  1）阅读资料、查阅前沿文献  在本论文的研究过程中需要通过阅读大量的资料去学习深度学习和强化学习的相关知识和应用实现。同时，针对研究点二中的传输调度算法，还要查阅相关文献去了解最前沿的强化学习的方法创新，以及强化学习在不同应用场景下传输调度的建模思路的不同，反复研究和思考。此外，对于网络层的相关路由协议的源码也需要仔细研读，了解其特性和实现细节，为后面仿真实验做准备。  2）设计实现调度算法  对于研究点二中流量传输调度算法，在前期充分调研和学习理论和强化学习实践后，结合前沿的论文，着手进行系统的建模和算法的设计实现。  3）模拟实验与测试  在完成算法的设计实现后，学习使用Mininet或者NS3等仿真软件对算法进行仿真实验。实验过程中需要修改网络层的相关路由协议源码，通过对应急通信场景的不稳定特性进行仿真，获取实验结果，评估算法以及整个系统模型的性能。并针对不足之处进行改进，重复2）和3）的步骤，直至实验结果达到预期效果。  2.技术路线  1）首先要查阅文献，研究现有的基于强化学习的流量传输调度算法的系统建模方案，以及应急场景下无线网络传输的局限性，为接下来的系统设计和实验做积累。  2）确定系统设计建模方案，使用强化学习的建模方法，如Actor-critic算法，深度Q学习算法等。从系统建模中，将节点和网络结构抽象出来，将每一个传输节点看作一个代理（agent），设计节点的动作集合（action set），定义归纳节点的状态集合（status set）。系统建模过程中，可以考虑根据环境变化的复杂程度递增的顺序逐步完善算法和系统模型，例如从开始的节点稳定、链路状态稳定到最终节点不稳定、链路状态变化的情况逐步模拟应急组网场景。  3）设计仿真实验方案，在不同的场景中对比实验结果，进行不断迭代改进，最终得到满意的算法实现方案，撰写结题论文。  3.可行性分析  根据近几年国内外的学者的研究，强化学习在解决实时决策问题方面已经有了诸多的经验，并广泛应用于游戏AI、性能优化、系统实时控制等方面。在传输调度方面，也有基于深度Q学习方法和基于评论家-演奏者算法等诸多解决方案的深度强化学习算法实现，都得到了理想的实验结果。  本论文所提出的算法的不同之处主要在于应用场景的创新，应急网络下，节点和链路的不稳定性和动态特性是主要挑战。目前，国内外均有很多使用强化学习实现动态调度求解的文献资料，涉及多个不同的领域的不同方面，如针对分布式运维系统的资源调度、任务调度等。从这些实验的结果可以看出，基于强化学习的方法在求解动态调度问题方面，求解速度快，算法稳定性好。综上所述，使用强化学习的方法实现应急组网场景下的实时传输调度算法这一方案是可行的。 |

|  |
| --- |
| **四、本研究课题可能的创新之处（不少于500字）**  本课题可能存在的创新之处在于：   1. 在研究点一中，基于已有的网络流量分类方法，对其分类模型进行简单改进，使其适用于应急业务，并考虑加入新的模型，提高流量分类的分类准确率。在网络传输节点上实现网络流量分类，通过实验验证其在新的数据流量下的可用性和分类准确率的可靠性。除此之外，可以考虑使用迁移学习的方法，将其他分类任务的模型迁移到当前的流量分类业务中，若能够得到较好的分类准确率，则可以验证应用迁移学习，能达到使用小规模流量数据训练得到理想结果。 2. 在研究点二中，所提出的应用场景是可能的创新之处。强化学习的方法在动态调度问题中有着广泛的应用，但是在应急动态组网场景下的动态链路选择策略方面研究较少。因此尝试将强化学习在解决动态调度问题中的优势移植到不稳定的应急组网场景中，可以算作是在应用场景角度做出创新。其次，在算法的设计和实现方面，对传统的强化学习方法或者深度强化学习方法做出修改和结合，进行系统建模实现并设计仿真实验验证其可行性和运行效率。   本课题可能存在的创新之处，均基于充分调研的情况，阅读当前已有的研究工作的论文，并对强化学习的应用场景和应急组网的特性做了调研，在此基础上总结思考研究方向及课题的创新之处。 |
| **五、研究基础与工作条件（1.与本项目相关的研究工作积累基础 2.包括已具备的实验条件，尚缺少的实验条件和拟解决途径）（不少于500字）**  1.与本课题相关的研究工作积累基础  本课题相关的研究工作基础主要包括充足的专业基础知识书籍、相关文献资料以及实验室研究基础。本人对于传输调度领域已经有了充足的调研分析，对国内外现状和发展趋势有深入的理解，对于本研究课题的研究意义论证的很充分，并且深刻的认识到关于传输调度这个领域中存在的挑战和面临的难题。对于拟研究的内容思路清晰，并且已经形成了成熟的技术方案。同时，本人也参与与本课题相关的若干项目的调研工作，对相关研究内容进行过深入的分析，并得到了导师认可。综上所述，本人有能力完成本课题所提出的研究内容。  2.已具备的实验条件  本课题依托北京邮电大学计算机学院（国家示范性软件学院）、高性能计算与组网实验室完成。依托单位具备了研究所需的基本的软件和硬件设备。并且该课题所使用的系统仿真软件和实验设备均为国际通用和认可，可满足实验需求。本实验室拥有GPU服务器（Intel Seon E5-2620 v4），处理器为2.1GHz八核，两块2080TI-11GGPU运算卡，可供算法仿真使用。  综上所述，本人对于该课题的研究有足够的前期研究基础和相关理论基础，在技术基础、软硬件设备以及试验平台等方面，本课题组及依托单位已具备了充分的技术支撑条件，能够满足本课题的基本需求，为实现本课题的预定目标奠定了良好的基础。 |

**学位论文工作计划**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 时间 | 研究内容 | 预期效果 |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 评  定  小  组  成  员 | 姓 名 | 职 称 | 单位名称 | 职务 |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
| 导师意见： | | | | |
|  | | | | |
| 导师（签名）：  日期： 年 月 日 | | | | |
| 开题报告小组意见： | | | | |
| 组长（签名）：  日期： 年 月 日 | | | | |
| 学院意见（签章）： | | | | |
| 负责人：  日期： 年 月 日 | | | | |