

南京信息工程大学

本科生毕业论文 (设计)



题 目 公共交通调度策略的最优化方法
 ——以南京信息工程大学校园为例

学生姓名 陈冰

学 号 201933070085

学 院 应用技术学院

专 业 软件工程

指导教师 马杰良

二〇二三年二月一日

声 明

本人郑重声明：

- 1、 以“求实、创新”的科学精神从事科学研究工作。
- 2、 本论文中除引文外，所有测试、数据和相关材料均为真实有效的。
- 3、 本论文是我个人在指导教师的指导下进行的研究工作和取得的研究成果，请勿用于非法用途。
- 4、 本论文中除引文和致谢的内容外，并未抄袭其他人或其他机构已经发表或撰写过的研究成果。
- 5、 关于其他同志对本研究所做的贡献均已在论文中作了声明并表示了谢意。

作者签名：

日期： 年 月 日

目 录

1 绪言.....	1
1.1 研究背景和意义	1
1.2 研究现状.....	1
1.3 研究内容.....	3
1.4 论文组织结构	3
参考文献.....	3

南京信息工程大学本科生毕业论文 L^AT_EX 模板 V2021.6¹

Bruce Y.P. Lee²、LiR³、John D⁴、B. Shen⁵

南京信息工程大学 L^AT_EX 学院，江苏 南京 210044

摘要：这是一份南京信息工程大学本科生毕业论文 L^AT_EX 模板。友善提醒：本文档是非官方版，属个人兴趣产物。

关键词：模板；南信大；毕业论文；

¹本模板制作时间：2014 年 5 月，最后修订于 2021 年 6 月

²E-mail: yupenglee119@gmail.com

³第二版修改者，E-mail: stuliren@outlook.com

⁴2021.6 版修改者，E-mail: mailto:work.temp.place@outlook.com

⁵2022 版修改者，E-mail: nj_bwshen@outlook.com

L^AT_EX Template for Undergraduate Thesis of Nanjing University of Information Science and Technology

Bruce Y.P. Lee、LiR、John D、B. Shen

School of L^AT_EX, NUIST, Nanjing 210044, China

Abstract: This is a L^AT_EX template for the Undergraduate thesis of Nanjing University of Information Science and Technology. Caution: due to personal interest, not an official template.

Key words: template; NUIST; thesis;

1 绪言

1.1 研究背景和意义

公共交通，泛指所有向大众开放、并提供运输服务的运输系统，该系统通常按照固定的时刻表进行资源调度管理，在既定的线路上运行，每次向乘客收取一定的费用。广义而言，公共交通包括民航、铁路、公路、水运等交通方式。公交系统作为城市公交网络的重要组成部分，其发展水平直接影响了市民出行的便捷性和幸福感，对建设和谐社会及和谐城市有着重大意义。公交系统与居民的日常出行息息相关，是居民日常出行的主要选择。以南京市公共交通系统为例，2022 年第一季度，全市营业性客车达 6353 辆，客位 279619 座，全市客运班车总数达 879 辆、45428 客位，旅游及包车 5474 辆、240286 客位。普通干线公路日均交通量 29.52 万辆^[1]。但是城市人口的快速增长造成了交通拥堵，同时交通拥堵也阻碍了城市经济的发展。根据高德地图发布的《2022 年度中国主要城市交通分析报告^[2]》，2019 至 2022 年度大中型城市的整体候车时长同比呈上升趋势，尤其是受发车频率影响的候车时长上升明显；主要城市高峰平均交通拥堵指数达到 1.704（在通行一小时的行程中实际花费为 1.704 小时）。根据百度地图发布的《2022 年度中国城市交通报告^[3]》，我国主要城市公交候车时间为 8.97~17.34 分钟，且候车时间越长的城市受发车频率和交通扰动影响也越大。倡导公交出行是解决交通拥堵的一个主流方案，城市公交系统对节能减排，建设绿色城市也有着重要意义，公交系统依赖城市道路网络，且大多为电力驱动，更多的载客量下产生的碳排放更少，且良好的站点设置与调度方式可以让公交系统与共享单车、轨道交通等其他出行方式结合产生完美的绿色出行生态系统。如何构建一个高效稳定的交通系统，提高乘客的出行满意度，以吸引更多乘客选择公共交通出行，对推动绿色出行和社会发展有着重大意义。

交通调度优化是一项十分复杂的系统性工程，多种因素相互合作用影响着整个系统。随着大数据技术的发展，各行各业每天产生海量的数据，越来越多的特征被加入模型中，海量数据的支持让机器学习在各行各业崭露头角。使用机器学习与数据挖掘算法，通过对道路、天气、乘客等数据的挖掘分析，可以更准确的建立乘客出行模式的模型。在建立了乘客出行模式的模型后，可以对客流量进行更好的预测。传统的运筹学方法对公交调度这类有约束资源分配问题下有良好的表现，但是在大数据时代难以发挥作用，将机器学习与运筹学结合，使用机器学习算法更好的对不同场景下的乘客出行喜好进行分析、对客流量进行预测。通过所得的数据建立相应问题的规划模型并求解，更好的解决相应交通规划问题。

本文以南信大校园公交系统为例，探究在大数据时代下，如何结合传统运筹优化算法与机器学习的优势，对公交系统进行优化。现有运营方案下，校园公交人流量高峰时期常采用多车次连续发车的方法，由于公交线路站点大多均匀坐落在校园主干道上，高峰时期车辆行进速度也会受到主干道交通环境影响，导致部分站点排队时间较长；非高峰时期，为考虑运营成本，公交采用固定弹性时刻表方式进行调度，现有的调度策略存在滞后性。通过对客流大数据进行挖掘分析，运用机器学习算法对客流量模式进行识别，通过该模式建立数学模型，使用运筹学方法从成本、效益、乘客舒适度等多个角度出发，对公交站定址、调度策略等进行优化，最终解决现有策略下校园公共交通系统中的缺陷。

1.2 研究现状

排队理论中常用分布函数来描述客流，近年来基于深度学习的客流预测方法受到了广泛的关注，2022 年，Wenhua Jiang 等人提出一种基于深度学习的短期 OD（始发地-目的地）客

流预测方法^[4]，短期 OD 流量预测的一个关键挑战是由于出行没有在一定的时间间隔内完成，OD 流量信息的部分可观测性。该方法开发了一种用于城市轨道交通系统 OD 流量预测的新型深度学习架构，并研究了数据表示和处理部分信息的各种机制。深度学习框架由三个主要部分组成，包括多个 LSTM 网络，该网络具有捕获短期/长期时间依赖性的注意机制，用于时空相关性的时间移位图矩阵，以及用于部分 OD 流观测的重建机制。结果表明，所提出的模型具有较高的精度和鲁棒性，以及 OD 流量信息的局部观测对提高预测性能的重要性。在数据表示方面，预测 OD 流量偏差的效果始终优于直接预测 OD 流量。

2017 年提出的基于 self-attention 机制的 Transformer 模型^[5]最开始在自然语言处理任务中有着不俗的表现，该模型的思想后被广泛应用于机器学习的各个任务分支中，最近的一些研究表明，在对于能源、交通、天气预测等时序预测任务中，Transformer 同样有着优于 LSTM 和 RNN 的表现。针对基于时空 Transformer 模型的交通流量预测模型性能不高的问题，提出了一种基于编解码器的改进的时空 Transformer 模型 (improvedspatio-temporal Transformermodel, ISTTM)^[6]

常规情况下，公共交通调度采用有规则定期时刻表的方式进行调度，该方法下会产生一个非线性混合整数模型。2004 年，Alessandro Chierici 等人扩展了此种普遍被采用方法^[7]，新方法考虑时间表的质量与交通系统对其他可替代的运输方式吸引的乘客之间的相互影响。在放宽完整性约束后，所得的非线性混合整数模型仍然是非凸的。通过基于外部近似的分支定界算法和利用两个子模型的分解和相互更新的启发式算法来解决它。随着机器学习近十年的飞速发展带动了各行各业对于数据驱动的研究热潮，运筹学也不例外，2020 年 Google 与 Deepmind 提出一种基于深度神经网络提升传统混合整数规划方法的性能^[8]。传统的混合整数规划中通常是基于分支定界法 (branch and bound)，通过不断求解连续凸松弛问题找出最优解，但是理论上需要求解的松弛问题个数随着整数变量维度上升呈指数倍数增长。因此，实际中会添加许多加速方法去减少需要求解的松弛问题数量，其中有很多加速方法的效果取决于混合整数规划的问题结构或是当前分支定界已有的信息，但是很多时候由于模型过于复杂，可能无法直接提取出这类信息，而这正好是深度学习方法的优点，它能基于充足的数据通过黑盒优化提供一个预测模型，捕捉一些难以解释的有效信息。核心是使用神经网络提升传统混合整数规划中两种常见的启发式方法的性能：下潜 (Diving) 搜索和分支 (Branching) 选取，其主要思想还是利用神经网络基于数据的预测能力对某一类特定问题求解实现加速。

在求解需求为动态的一类运输问题时，常使用动态规划的方法来切结列车调度问题。2020 年，Renming Liu 等，针对一类时间依赖需求的地铁列车节能调度问题，提出了列车交通模型^[9]，包含列车车头时距、列车载客量和地铁沿线能耗演化的动态方程，制定了非线性动态规划 (DP) 问题以生成近似最优时间表，进而实现列车利用率、乘客等待时间、服务水平和能源消耗之间的协调。为了克服维度灾难问题，构建了一个近似动态规划 (ADP) 框架，引入了状态、策略、状态转换和奖励函数的概念。通过数值实验验证了所提模型和算法的有效性，并与遗传算法和差分进化算法进行了比较，该算法能够在较短的时间内收敛到一个较好的解。

近年来，运营商为缓解客流过饱和带来的不利影响做出了大量努力。一方面，一些运营商在基础设施、车队和人员方面进行了大量投资，以减发车的间隔，以便在高峰时段容纳更多的乘客。然而，在一些特大城市，出行需求的增长速度超过了容量供应的扩张，这进一步加剧了过度饱和的问题。事实上，在一些特大城市，高峰时段的发车间隔非常小，几乎没有空间通过增加车辆容量来缓解过度饱和。在实践中，运行效率不仅由列车时刻表决定，还受到客流装载方案 (如不同 OD 对的容量分配决策^[7]) 的影响。2023 年，Jinpeng Liang 等人设计了一种在线客流控制策略^[10]，对每个 OD (始发地-目的地) 对的客流进行管理，使研究区间内的乘客

总等待时间最小化。假设 OD 需求信息随时间顺序显示，将在线客流控制问题描述为随机动态规划 (DP)。设计一种有效的在线自适应策略来指导各个阶段的实时客流控制决策。结果表明，与先到先服务 (FCFS) 策略相比，该方法可以显著减少乘客的预期总等待时间，并缓解地铁车站的拥堵，利用列车容量的可重复使用特性，在高峰时段运送更多的乘客。

1.3 研究内容

1.4 论文组织结构

本文拟分为五章来对该课题进行研究：

第一章主要介绍研究背景、研究意义、国内外研究现状、主要研究内容和结构。

第二章对公交的刷卡数据、线路数据、天气数据等进行处理，通过大数据分析和机器学习算法对乘客的行为进行挖掘，本章将介绍设计的相关算法。通过数据挖掘，分析影响乘客行为模式的特征。

第三章介绍运筹优化中公交选址、班次调度的不同优化算法，对各个算法的效果和特点进行分析。第四章通过前文的分析结果建立数学模型，从成本、效益、乘客舒适度等多个角度出发进行数值仿真模拟，对比不同优化结果的有效性。

第五章总结本文工作、并且展望未来研究方向。

参考文献：

- [1] 南京市交通运输局. 2022 年一季度南京交通经济运行综合分析报告[EB/OL]. 2022[2022-06-10]. http://jtj.nanjing.gov.cn/njsjtysj/202206/t20220610_3442578.html.
- [2] 高德地图. 2022 年度中国主要城市交通分析报告[EB/OL]. 2023[2023-01-18]. <https://report.amap.com/share.do?id=a184b07685866c850185c2e9da200007>.
- [3] 百度地图. 2022 年度中国城市交通报告[EB/OL]. 2023[2023-03-01]. <https://jiaotong.baidu.com/cms/reports/traffic/2022/index.html>.
- [4] Jiang W, Ma Z, Koutsopoulos H N. Deep learning for short-term origin-destination passenger flow prediction under partial observability in urban railway systems[J]. Neural Computing and Applications, 2022, 34: 4813-4830.
- [5] Vaswani A, Shazeer N, Parmar N, et al. Attention is all you need[Z]. 2017. arXiv: 1706.03762.
- [6] 高榕, 万以亮, 邵雄凯, 等. 面向改进的时空 Transformer 的交通流量预测模型[EB/OL]. (2021-03-14)[2023-04-12]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2127.TP.20220618.1141.008.html>.
- [7] Chierici A, Cordone R, Maja R. The demand-dependent optimization of regular train timetables[J]. Electronic Notes in Discrete Mathematics, 2004, 17: 99-104.
- [8] Nair V, Bartunov S, Gimeno F, et al. Solving mixed integer programs using neural networks[Z]. 2021. arXiv: 2012.13349.

- [9] Liu R, Li S, Yang L, et al. Energy-efficient subway train scheduling design with time-dependent demand based on an approximate dynamic programming approach[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems, 2020, 50(7): 2475-2490.
- [10] Liang J, Zang G, Liu H, et al. Reducing passenger waiting time in oversaturated metro lines with passenger flow control policy[J]. Omega, 2023, 117: 0305-0483.