

联合投送的优化建模和关键路径分析研究

向光栋, 毛自森*, 周华任, 姚佳

陆军工程大学基础部, 江苏 南京

Email: *maozisen@126.com

收稿日期: 2021年5月22日; 录用日期: 2021年6月6日; 发布日期: 2021年6月21日

摘要

联合投送是现代军事物流运输的重要模式之一, 是提高运输效率的综合方法。本文总结分析了国内外学者研究联合投送问题的体系架构、路径优化问题模型及算法, 详细地分类并阐述了各种模型和算法的应用情况及优缺点, 并指出关键路径可能成为未来联合投送问题的重要研究对象。

关键词

联合投送, 路径优化, 关键路径

Research on Optimal Modeling and Critical Path Analysis of Joint Delivery

Guangdong Xiang, Zisen Mao*, Huaren Zhou, Jia Yao

Department of Basic Courses, The Army Engineering University of PLA, Nanjing Jiangsu

Email: *maozisen@126.com

Received: May 22nd, 2021; accepted: Jun. 6th, 2021; published: Jun. 21st, 2021

Abstract

Joint delivery is one of the important modes of modern military logistics transportation, and it is a comprehensive method to improve transportation efficiency. This article summarizes and analyzes the system architecture, path optimization problem models and algorithms of domestic and foreign scholars studying the joint delivery problem, classifies and expounds the application situation, advantages and disadvantages of various models and algorithms in detail, and points out that the critical path may become the future joint investment problem.

*通讯作者。

Keywords

Joint Delivery, Path Optimization, Critical Path

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

《军语》将联合投送定义为军队单位同时或梯次运用国家、总部和军兵种两种以上运输力量将人员、装备物资快速运达任务地区的军事行动[1]。正所谓“兵马未动，粮草先行”，为了抢占制胜先机，赢得战争主动，各方学者专家对这种具有多源点、多路径、多批次、多目的地和不同的时间节点需求的复杂问题从多种角度进行了大量的理论分析和实验研究，并取得了很大进展。

2. 联合投送的体系架构

联合投送是一种处在战时环境下的复杂的军事运输。就如何建立扎实有效的联合投送体系框架，从根本上提高联合投送效率，各方学者进行了许多研究。彭富兵等[2]认为首先应构建完备的联合投送法规制度体系；王敏等[3]从战略层次和战役层次提出要建立联合投送训练体制；汪欣等[4]使用 SWOT 分析方法明确我军联合投送的优势、劣势、机会和威胁。投送环境方面，刘培刚等[5]提出联合投送要构设在遭敌侦察监视、火力打击、兵力攻击以及线路被毁的实战化环境下，充分考虑投送过程中可能出现的情况，并建立相应的应对措施。就如何提高联合投送效率，刘宁[6]提出“效能投送”这一创新理念和基于“适时、适地、适量、适物”的“精准投送”概念，从“联合投送效益”、“联合投送质量”、“联合投送效率”三个方面建立了联合投送系统效能的体系架构；李鹏等[7]认为要建立“基本投送单元”，并分别编制铁路、公路、水路、航空投送方案模块，形成“兵力联合投送方案池”。胡龙等[8]利用“霍尔三维结构”将如何形成联合投送方案的过程系统工程化。

3. 联合投送中的优化问题

联合投送中的优化问题是提高运输效率的关键。大多数可根据内容分为运输方式组合优化和运输路径优化。对于运输方式组合优化，由于联合投送是利用铁路，公路，水路，航空等多种途径进行物资或者兵力转移的一种综合运输方式，因此它不是几种运输方式的简单叠加，而是要综合运用和衔接各种运输方式的多式联运。一些学者考虑不同约束建立模型，如 Ozdemir 等[9]提出了混合隐马尔科夫模型(HMM)；李珺等[10]研究了在不确定因素下的多式联运路径优化模型；于雪峤[11]等建立模糊需求的多式联运路径优化模型；刘畅[12]等考虑货物的时间成本价值建立多式联运路径选择优化模型；吴晓东等[13]从分担运量出发提出的运量分担模型。这些模型大多考虑单一影响因素，且现实意义不强。

对于运输路径优化，综合来看大多数学者的研究思路可分为以下三步(图 1)：



Figure 1. Research process of joint delivery problem

图 1. 联合投送问题研究流程

3.1. 数据收集

收集数据是一切工作的必要条件和前提基础。该阶段主要是根据实际战争或者战场情况，快速统计汇总联合投送运输任务的相关数据。其需要收集的数据主要有投送方式、出发地和目的地分布、批次和梯队数、敌情分布、所有道路的里程、路况、通行能力、通行速度、保障能力、节点的装卸载能力等。

3.2. 建立模型

建立模型首先要确定目标函数。在单目标问题中，大多将运输总时间或运输总成本作为目标函数。对于多目标问题，一般会有以下四类处理方法：

① 化多目标为单目标。这类方法包含主要目标法、层次分析法、平方和加权法、线性加权法、理想点法等；② 分层序列法。该方法是根据目标的重要程度依次求解，所得的高一级目标的最优解集作为下一级的搜索区间；③ 逐次法。该方法是在每次的求解过程中，决策者主动对结果进行选择，直到其满意为止；④ 最优解法或非劣解法。在处理某些多目标问题时，由于目标之间存在互相联系或约束，且重要性不易判断，在实际中只能选择非劣解作为最优解或解集。

其次是要构建合适的模型。在路径优化模型上，最常用是由 Dantzig 在 1959 年提出的车辆路径问题 (Vehicle Routing Problems, VRP)，其依据不同的需求有不同的分类。一般来说，车辆路径问题可依据时间窗约束分为无时间窗问题、硬时间窗问题和软时间窗问题；依据车辆类型可分为单车型问题和多车型问题；依据仓库数量可分为单仓储问题和多仓储问题；依据任务特点可分为纯送(取)货问题和装卸混合问题。表 1 列举了常见分类。此外还可以依据车辆装载情况、车辆对车场的隶属关系、已知信息的确定性等多种标准进行分类。

Table 1. Common classifications of vehicle routing problems

表 1. 车辆路径问题常见分类

分类依据	类别 1	类别 2	类别 3
有无时间约束	无时间窗	硬时间窗	软时间窗
车辆类型	单车型	多车型	
仓储数量	单仓储	多仓储	
任务特征	纯送(取)货	装卸混合	
信息确定性	静态路径	动态路径	

因此，基本的车辆路线问题在学术研究和实际应用上产生了许多不同的变化形态，包括考虑到能力约束的 CVRP (Capacitated Vehicle Routing Problem, CVRP)、有时间窗限制的 VRPTW (Vehicle Routing Problems with Time Windows, VRPTW)、有优先约束的 VRP-PC (Vehicle Routing Problem with Precedence Constraints, VRP-PC)、带回程的 VRPB (VRP with Backhauls, VRPB)、多仓储的 MDVRP (Multiple Depot VRP)、多车辆车型 VRP-HF (VRP with Heterogeneous Fleet)、开放回路 OVRP (Open VRP)、具有动态路径的 DVRP (Dynamic VRP) 以及随机需求车辆路线问题 (vehicle routing problem with stochastic demand, VRPSD) 等。

3.3. 算法求解

关于模型的求解方法，一般可分为以下两类(表 2)：

1) 精确算法(Exact Algorithm)：主要包括分支切割法、分支界限法、集合涵盖法、割平面法、动态规

划法和网络流算法等。这类算法能够在短时间内有效地找到小规模问题的最优解，但运算时间受数据量影响很大。

2) 启发式算法(Heuristics): 主要包括神经网络、遗传算法、蚁群算法、节约法、模拟退火法、确定性退火法、禁忌搜寻法等; 这类算法能够应用于复杂的计算, 但是比较依赖于人们的经验和直觉, 缺乏严谨的逻辑证明, 并且有时只能给出近似解。

Table 2. Classification of commonly used algorithms

表 2. 常用算法分类

分类	优点	缺点	算法
精确算法	一定是最优解	运算速度慢	分支切割法、分支界限法、集合涵盖法、割平面法、动态规划法、网络流算法
启发式算法	运算速度快	逻辑不严谨; 不一定是最优解	神经网络、遗传算法、蚁群算法、节约法、模拟退火法、确定性退火法、禁忌搜寻法

4. 关于关键路径的研究

所谓关键路径, 我们认为是指在突发情况下, 其一旦损毁从而使得全局运输能力受到较大影响的路段。这些路段在正常情况下不会体现出其重要性, 但一旦遇到突发自然灾害或者在战场环境中受到敌军火力打击, 它们便会削弱甚至瘫痪全局的运输能力。目前对于关键路径的描述尚未出现较为规范的定义, 相关研究工作相对较少。

4.1. 自然灾害中的关键路径

郭翔[14]研究了在汶川地震中道路中断情况下的铁路军事运输路径优化, 他提到设计运输路线时, 要从风险角度考虑到突发事件的需求, 如对灾害发生的地点、强度的预判, 以尽可能避免危险的发生, 并且将可能造成的损害降至最低。这在一定程度上说明了研究关键路径的重要性和必要性。

4.2. 战场环境中的关键路径

战场环境不同于一般的军事运输, 其包含强烈的对抗因素和博弈思想。由于敌军有目的性火力打击将对我军运输线路关键部位造成损坏, 因此对于战场环境中关键路径的研究就显得尤为重要。尹旭日[15]研究了公路军事运输线路中断情况下的时间优化问题, 他提出基于线路完全或部分中断的情况, 车队可采取迂回、修复、倒运或直接通行的措施。其较为科学地给出了损坏路径的评估及处理方法, 但没有考虑到战场中敌我双方的博弈心理。

4.3. 关键路径的建模与评估

联合投送需要综合考虑总任务完成时间、分组投送时间、投送距离和道路负荷等因素, 联合投送本质上就是在保证总投送任务的基础上, 实现分组投送时间均衡, 分组投送距离差异较小, 投送所需道路的负荷相对均衡, 这是一个带有约束条件的最优化问题, 而关键路径的定义恰恰基于这一模型各项参数的均衡性加以重点考察, 其本身是联合投送方案评估后的再优化, 是衡量一次联合投送方案的鲁棒性的重要指标, 对于军事斗争、商业竞争等具有非常重要的研究意义。

5. 总结和展望

综上所述, 目前国内外对于军事运输的研究较多, 从模型和算法上都趋于成熟和多样化, 但对于联合投送这种更为复杂的新兴综合运输方式来说, 相关研究较少。同时, 针对运输线路中往往都存在着的

关系到全局运输能力的关键路径,目前都还没有形成科学的理论研究体系和处理办法。可以预想到的是,围绕着关键路径的定义、评估、保护等一系列研究将使我军在一定程度上提升联合投送的安全性、稳定性和抗干扰性。

联合投送问题未来将围绕军队作战所需进行任务想定,通过公路、铁路实现由若干梯队构成的编组投送,并且模拟一定的规则,包括道路通行规则、连续投送规则、路段容量限制规则以及装卸载规则,用以限制投送方案的制定,使其更符合军事任务现实需要。一方面,需要综合考虑总任务完成所需要的时间,各个编组投送所需要的时间,总投送的里程数,以及投送任务对于道路所造成的负荷情况,设计相应的投送方案,建立相应的投送方案模型。从而按要求完成梯队以及各梯队投送的路线及出发时间,编组的投送分组等的方案设计。

另一方面,联合投送过程中可能还需要对于具体的总任务完成时间进行硬性规定,进一步要求重新设计部分路段的最大投送能力或者部分节点装、卸载梯队数,并且在此基础上对于预定的运输方案进行调整,得到新的道路及装卸载约束条件下的最优投送设计方案,使得能够按时完成投送任务,确保作战行动的顺利进行。最后,考虑实际作战环境下可能出现的关键道路堵塞或者交通要塞被毁的情况,原预定联合投送方案对于道路的承载力以及对于突发情况的应变力较差,对于作战任务的顺利完成将会造成威胁。于是分析最优运输方案中的关键路径,在关键路径发生故障的假设下,建立相应的备选投送调整方案,以确保作战任务能够有序稳定的完成将成为更有研究价值的课题。

基金项目

本文由陆军工程大学基础培育项目资助(KYJBJQZL1924)。

参考文献

- [1] 军事术语管理委员会. 军语[M]. 北京: 军事科学出版社, 2011: 20-35.
- [2] 彭富兵, 郭鹏飞, 崔腾龙, 等. 联合投送法规制度体系的构建[J]. 军事交通学院学报, 2016, 18(8): 1-5.
- [3] 王敏, 李曙东, 王常永. 我军特色兵力联合投送训练体制研究[J]. 军事交通学院学报, 2015, 17(6): 6-10.
- [4] 汪欣, 王广东. 基于 SWOT 分析的部队联合投送能力建设[J]. 军事交通学院学报, 2020, 22(6): 22-28.
- [5] 刘培刚, 梁勇, 孙勇, 等. 联合投送演练几种典型实战化环境构设[J]. 军事交通学院学报, 2020, 22(5): 67-71.
- [6] 刘宁. 联合投送效能综合评估[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2019.
- [7] 李鹏, 刘鑫宝, 孙浩. 联合作战兵力投送方案计划模块化编制[J]. 军事交通学院学报, 2020, 22(3): 1-4.
- [8] 胡龙, 徐博, 刘剑锋. 战区联合投送筹划工程化探析[J]. 军事交通学院学报, 2020(2): 8-12.
- [9] Ozdemir, E., Topcu, A.E. and Ozdemir, M.K. (2016) A Hybrid HMM Model for Travel Path Inference with Sparse GPS Samples. *Transportation*, **45**, 233-246.
- [10] 李珺, 杨斌, 朱小林. 混合不确定条件下绿色多式联运路径优化[J]. 交通运输系统工程与信息, 2019, 19(4): 13-19, 27.
- [11] 于雪娇, 郎茂祥, 王伟哲, 于潇. 考虑模糊需求的多式联运路径优化[J]. 北京交通大学学报, 2018, 42(3): 23-29, 36.
- [12] 刘畅, 关秀婷, 张金伟, 计明军. 考虑时间价值成本的中欧笔记本电脑多式联运路径优化研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2019, 16(9): 2352-2359.
- [13] 吴晓东, 张瑞鹏, 李超. 部队联合投送运输方式运量分担模型[J]. 军事交通学院学报, 2014, 16(1): 19-22.
- [14] 郭翔. 重大突发事件下铁路军事运输路径优化研究[D]. [硕士学位论文]. 兰州: 兰州交通大学, 2016.
- [15] 尹旭日, 吴更生. 公路军事运输线路中断下运输时间优化[J]. 交通与计算机, 2005, 23(6): 22-24.