

Research on Combat Flow Design and Verification Technology of New Weapon Equipment

Luwei Huang¹, Jifeng Yang², Shuyuan Li³, Xin Jin⁴

¹Unit 96901 of PLA, Beijing

²Naval Submarine Academy, Qingdao Shandong

³Military Representative Office of the Rocket Force in Beijing, Beijing

⁴Unit 66072 of PLA, Beijing

Email: 570553734@qq.com

Received: Jun. 6th, 2019; accepted: Jun. 20th, 2019; published: Jun. 28th, 2019

Abstract

The combat flow design is an important part of the combat application research of new weapon equipment. Based on the realization of combat flow design process of scientific and credible design results, the idea of closed loop design and verification is put forward. It includes combat mission profile analysis, combat flow modeling, combat flow quantitative analysis and combat flow deduction verification. The implementation methods, models, algorithms and platform architecture are given. It provides methods and means for the design and verification to the new weapon equipment combat flow.

Keywords

Flow Design, Flow Modeling, Quantitative Analysis, Deduction Verification

新型武器装备作战流程设计与验证技术研究

黄路炜¹, 杨继峰², 李淑媛³, 金鑫⁴

¹解放军96901部队, 北京

²海军潜艇学院, 山东 青岛

³火箭军驻北京地区军事代表局, 北京

⁴解放军66072部队, 北京

Email: 570553734@qq.com

收稿日期: 2019年6月6日; 录用日期: 2019年6月20日; 发布日期: 2019年6月28日

摘 要

作战流程设计是新型武器装备作战运用研究工作的重要内容。立足于实现作战流程设计过程科学、结果可信,提出了包含作战使用任务剖面分析、作战流程建模、作战流程量化分析和作战流程推演验证的闭环设计验证思路,给出了具体的实现方法、模型算法和平台架构,为武器装备作战流程设计和验证提供了方法手段。

关键词

流程设计, 流程建模, 量化分析, 推演验证

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

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

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



Open Access

1. 引言

新型武器装备作战运用研究重在针对该型武器未来担负的使命任务,开展作战构想设计、作战流程设计和战法训法设计,深化作战概念创新和战法样式创新,牵引武器装备作战效能评估。作战流程设计是其中关键一环,既是作战构想设计成果的验证手段,也是战法训法设计开展的基本指导。

随着装备技术的不断发展,新型武器装备作战流程呈现出“基于信息驱动、强调精准控制”的特点,这对作战流程设计成果的科学性、可用性提出了更高要求。当前,新型武器装备作战流程的提出大多基于领域专家、作战部队和研制部门的集成研讨,设计性不足;主要针对各作战阶段工作内容进行定性分析,科学性不够;论证提出的流程主要依托定型试验和部队适用进行调整,先期验证不足。为此,本文聚焦新型武器装备作战流程的设计与验证工作,提出一种闭环论证思路,依托实验平台和试验环境,以新型武器装备作战使用为主线,综合运用剖面分析、流程建模、量化计算、推演验证等手段,实现作战流程的一体化设计、分析、推演、验证和优化。

2. 新型武器装备作战流程设计技术路线

行为科学和人工智能创始人之一的 Simon 在“人工科学”[1]一书中指出:“凡是将现存情形改变为目标而构想行动方案的人都是在搞设计”,他主张建立创造人工物的设计科学。在作战领域,基于赛蒙的设计科学理念,国内有关文献提出了局部战争作战设计的概念[2],指出“作战设计过程的产品应以部分形式化的、部分经验性的和可解释的方式说明达到战争战略目标所需进行的系列战役、重大战略性作战等的作战目标、行动方案、所需资源及相互逻辑协调关系等”;国外关于作战设计相关研究主要体现在战役方案拟制方法学,主要包括联合作战的基于效果方法(Effects-Based Approach to Joint Operations) [3]和系统战役设计方法(Systemic Operational Design) [4]。作战流程设计属于战役或战术层面的作战设计。本文主要聚焦新型武器装备作战流程的设计,力图实现设计过程的科学性和设计结果的可验证。

新型武器装备作战流程设计可按照“作战使用任务剖面分析→作战流程建模→作战流程量化分析→作战流程推演验证”的闭环思路,依据新型武器装备作战运用初步构想,结合典型作战过程,综合运用流程建模、量化分析和推演评估等技术手段开展流程的设计与验证工作。总体技术路线如图 1 所示。

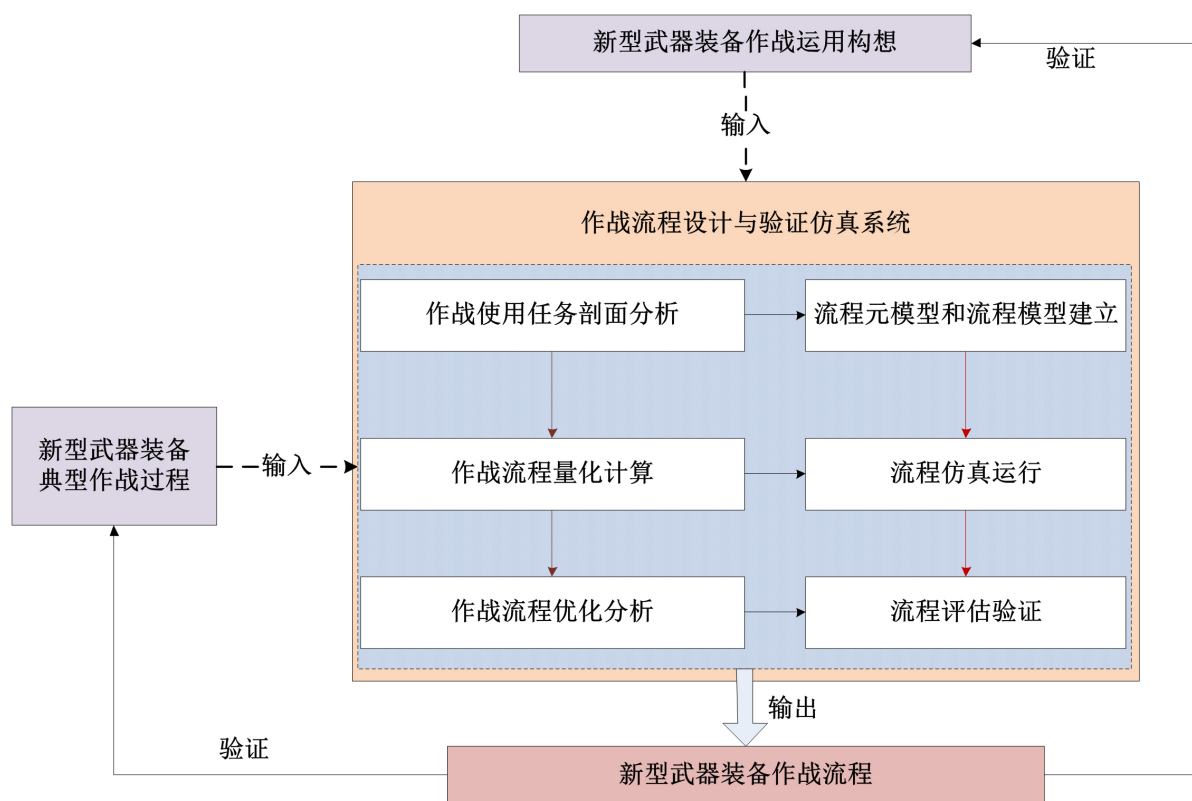


Figure 1. Overall technical route to combat flow design and verification technology of new weapon equipment
图 1. 新型武器装备作战流程设计与验证总体技术路线

3. 新型武器装备作战流程设计与验证

3.1. 新型武器装备作战流程设计与验证

武器装备作战使用任务剖面[5] [6] [7] [8]可理解为该型武器装备在遂行典型作战任务全过程中经历的所有作战使用环节(或称作战事件)与相应环境条件的时序描述。其中,作战使用环节是指武器装备在作战过程中需完成的典型的、大块的工作项目,相应环境条件包括自然环境、电磁环境、气象环境、阵地环境等。作战使用任务剖面分析要基于体系运用思想、面向作战全过程、紧贴武器装备使用。

具体分析方法为:按照“任务阶段划分→阶段任务分析→任务要求细化→任务剖面生成”的思路,首先依据作战阶段划分完成某型武器具体任务阶段的细化分解;然后针对每个任务阶段,分析武器装备的所经历的主要作战事件(或完成的主要作战活动)、任务要求(包括使用要求、保障要求和环境条件等)采用定量指标+定性描述的方式;最后,在梳理任务触发条件和任务消耗情况(主要用于后续流程分析)基础上,采用规范表格或时序图的方式,综合形成作战使用任务剖面。技术路线如图2所示。

最终形成的作战使用任务剖面规范表格示例如表1所示。

3.2. 作战流程模型建立

依据作战使用任务剖面中的作战实体和作战活动描述,采用有色赋时 Petri 网技术[9]构建作战流程模型。针对新型导弹武器作战流程“信息驱动、自动执行、精准控制、复杂度高”的特点,采用“自底向上、从元模型到流程模型”的思路,通过信息建模解决信息实时驱动问题,采用元模型拓展和作战活动时间精确定义解决流程精确控制问题,运用分层建模解决流程复杂性问题。建模思路如图3所示。

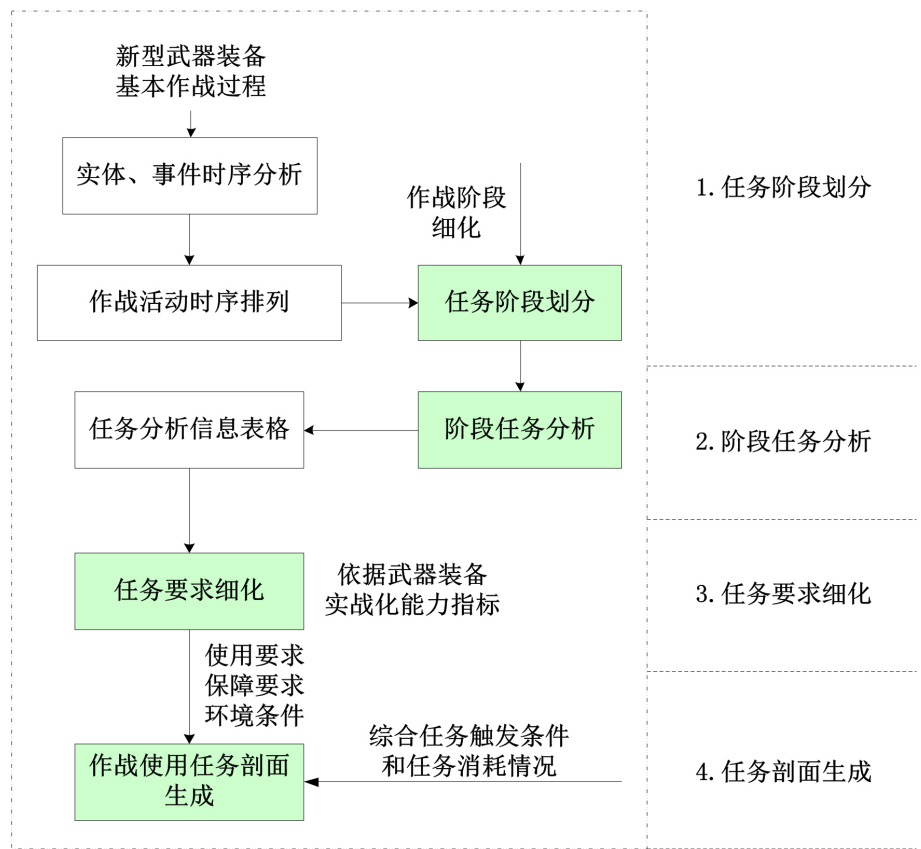


Figure 2. Technical route of combat mission profile analysis
图 2. 作战使用任务剖面分析技术路线

Table 1. Specification table example of combat mission profile analysis
表 1. 作战使用任务剖面规范表格示例

作战阶段	作战任务	实体、活动描述	任务要求			任务触发条件	资源消耗情况
			使用要求	保障要求	环境条件		
作战阶段 1	作战值班任务	值班武器数量为××	1.值班轮换机制为××	1.气象保障要求为××	1.阵地环境条件为××	自动 ☐	1.任务执行时间为××
		值班武器状态为××	2.状态监控程序为××	2.应急处置要求为××	2.指挥通信条件为××	人工 ☒	2.阵地占用工位为××
		值班阵地位于××	.....	.....	.....	消息 ☐	3.保障资源占用为××
		值班周期为××	.....	.....	.....	时间 ☐	.....
.....	××						
.....	任务	.....	.....	.....	.....	.....	.....

1) 元模型建立

作战流程元模型用于描述作战实体在不同作战阶段的状态、离散作战活动或事件、占用作战资源、活动执行条件、执行活动时间以及命令等作战信息。主要包括库所模型(作战实体)、变迁模型(作战活动)、状态模型(作战实体状态与作战活动执行的映射关系)、任务触发模型、任务资源模型、执行时间模型等。

2) 流程模型建立

在底层元模型建立基础上，分析元模型之间的关联关系，依据武器装备作战基本流程，连接各元模

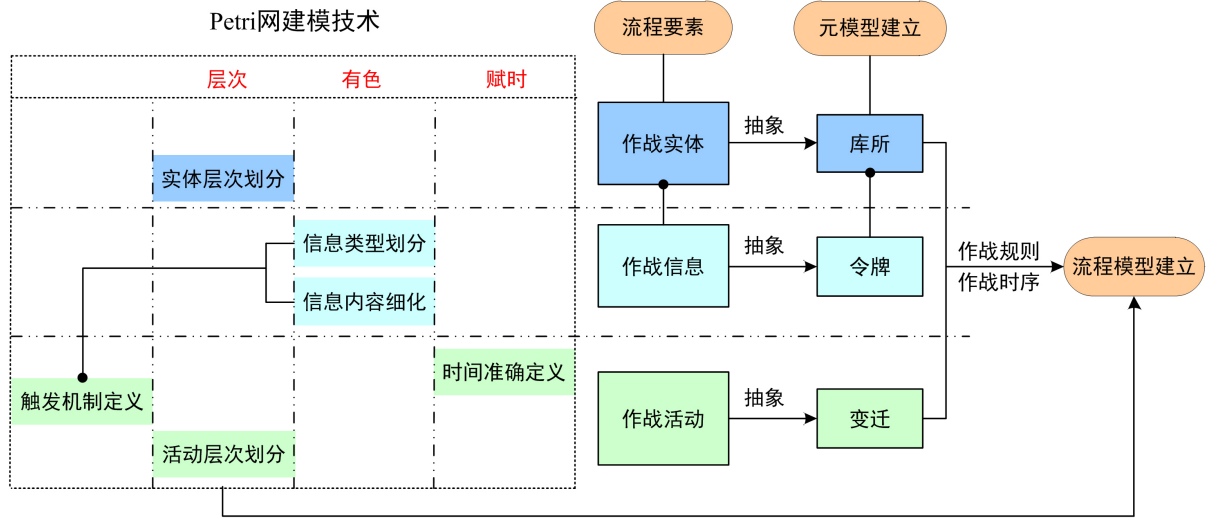


Figure 3. Modeling of new weapon equipment combat flow based on colored timed Petri net

图 3. 基于有色赋时 Petri 网技术的新型武器装备作战流程模型建立

型生成作战流程模型。流程模型由多个库所和变迁并联、串联或条件选择分支连接起来，每个流程定义一个初始库所和一个结束库所，并制定运行规则，即可完成一个流程模型的构建。

3.3. 作战流程量化分析

完成作战流程建模后，首先要对流程进行量化分析，验证流程的可行性，包括流程可达性判定、流程关键路径计算、流程非关键路径上作战活动对流程的影响程度分析等。

1) 作战流程可达性判定

以 petri 网的关联矩阵为基础开展作战流程可达性分析[10]，具体思路为：

建立某典型作战流程有色赋时 Petri 网模型为 $\Sigma = (P, T; F, K, K_s, K_c, w, M_0)$ 。其中，含有 m 个作战实体 P (库所)和 n 个作战活动 T (变迁)， M_0 为作战流程的初始状态， M_n 为作战流程的终止状态。那么，所有作战实体初始状态组成的列向量 B_0 描述为：

$$B_0 = (M_0(P_1), M_0(P_2), M_0(P_3), \dots, M_0(P_m))^T \quad (1)$$

令 $A_1, A_2, \dots, A_n$ 表示关联矩阵的列向量，可根据变迁类模型中定义的触发条件和触发机制判断变迁 T_i 是否具有发生权：若不具有发生权，则该流程模型没有 M_0 的后继状态，目标状态不可达，如具有发生权，则变迁 T_i 发生后，得到的后继状态 M_1 ，对应的列向量 B_1 为：

$$\begin{aligned} B_1 &= \begin{pmatrix} M_1(P_1) \\ M_1(P_2) \\ \vdots \\ M_1(P_m) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_0(P_1) + w(T_1, P_1) - w(P_1, T_1) \\ M_0(P_2) + w(T_1, P_2) - w(P_2, T_1) \\ \vdots \\ M_0(P_m) + w(T_1, P_m) - w(P_m, T_1) \end{pmatrix} \\ &= B_0 + \begin{pmatrix} w(T_1, P_1) - w(P_1, T_1) \\ w(T_1, P_2) - w(P_2, T_1) \\ \vdots \\ w(T_1, P_m) - w(P_m, T_1) \end{pmatrix} = B_0 + A_1 \end{aligned} \quad (2)$$

以此类推，可判断变迁 T_n 是否具有发生权，若发生，后继状态 M_n 对应的列向量 B_n 为：

$$B_n = B_0 + \sum_{i=1}^n A_i \quad (3)$$

令 M_N 为作战流程的目标状态, 则作战流程可达性判定规则可确立为:

$$\forall i \in \{0 < i \leq m\} : M_n(P_i) - M_N(P_i) \equiv 0 ? \text{可达} : \text{不可达} \quad (4)$$

2) 基于类 Dijkstra 算法的关键路径搜索

以 petri 网的关联矩阵为基础开展作战流程可达性分析[10], 具体思路为:

针对构建的作战流程 Petri 网模型, 在满足流程可达性的基础上, 考虑作战时间、作战资源等约束, 采用类 Dijkstra 算法完成作战流程关键路径搜索[11][12][13]。具体思路为: 选取作战流程的某一初始状态, 抽象 Petri 网模型为加权有向图, 构建流程运行的邻接矩阵, 以作战时间最短为主要考察因素设计矩阵修正算法, 根据修正结果逐步迭代生成有向图从起点到终点的键关键路径, 也即作战流程从开始活动状态到最终活动状态的关键路径。

3) 基于路径矩阵的非关键路径上作战活动影响程度分析

作战流程中关键路径上的任何作战活动都会影响整个流程的运行时间, 非关键路径上的作战活动不会对整个流程运行起决定性作用, 但超过一定限制或安全范围则可能会阻碍或延迟关键节点甚至整个流程的运行。针对非关键路径上作战活动, 适度改变其执行条件, 设计算法分析其对关键节点或整个流程的影响程度。在此主要从时间角度考虑非关键路径上作战活动(后续也称节点)对整体流程的影响。

具体思路为: 将非关键路径上作战活动执行时间的变化抽象为有向无环图中边的权值的改变。在关键路径搜索算法基础上, 将所有非关键路径上的活动状态及其执行情况(即有向边和权值)放入一个集合。遍历集合中的每一个活动执行情况(其他活动保持不变), 扫描关键路径算法构造的路径矩阵中包含该活动的行, 可计算出该活动不影响关键路径的允许最长时间 T_1 和不影响流程运行的允许最长时间 T_2 , 则对该作战活动的影响分析为: 若某活动执行时间 t 满足 $t < T_1$, 则该活动对流程运行没有影响; 若某活动执行时间 t 满足 $T_1 \leq t \leq T_2$, 则该活动会变化为关键路径上的活动, 直接影响流程运行; 若某活动执行时间 t 满足 $t > T_2$, 则该流程不能在规定时间内执行完成。以此类推, 分析所有非关键路径上作战活动对整个流程的影响程度。

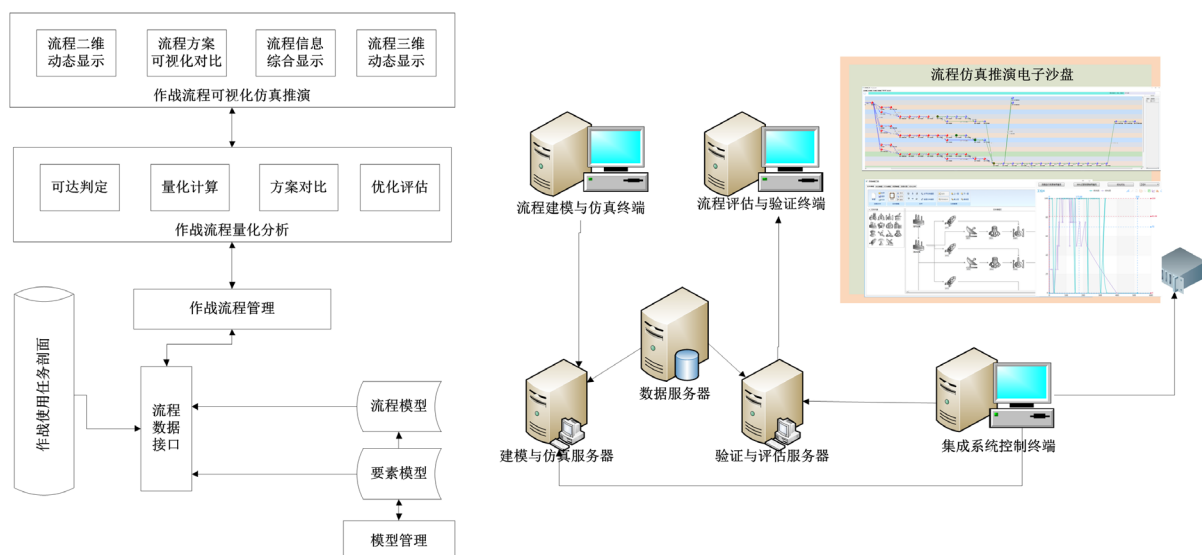


Figure 4. Combat flow simulation software and hardware architecture diagram

图 4. 作战流程仿真推演软硬件架构示意

3.4. 作战流程推演验证

作战流程的推演验证[14] [15]依托仿真系统搭建来开展,系统需要具备流程建模、流程量化分析、流程验证评估和流程动态显示等功能,系统架构包括任务剖面分析、流程建模、流程量化分析、仿真推演等,各层之间以数据接口形式提供服务,系统软硬件架构如图4所示。

4. 结论

本文就新型武器装备作战流程论证提出了一种闭环设计验证思路,对涉及的任务剖面分析技术、流程建模方法、流程量化算法和流程推演框架进行了分析和探讨,是开展作战流程科学设计的有益探索,可为其他武器装备作战流程论证提供可行的方法手段和技术支持。

参考文献

- [1] 司马贺. 人工科学: 复杂性面面观[M]. 武夷山, 译. 上海: 上海科技教育出版社, 2004.
- [2] 张最良, 等. 军事战略运筹分析方法[M]. 北京: 军事科学出版社, 2009.
- [3] Umstead, R.K. (2005) Effects-Based Decision Making in the War on Terror. AFIT/GOR/ENS/05-15.
- [4] McGlade, P.E. (2006) Effects-Based Operations Versus Systemic Operational Design: Is There a Difference? AFIT/IOA/ENS/06-06.
- [5] 陈霞. 面向体系结构的作战任务剖面建模仿真方法[J]. 中国舰船研究, 2017, 12(3): 135-141.
- [6] 孙健, 席亮亮, 尹文强. 基于试飞数据的高空长航时无人机任务剖面优化方法[J]. 飞行力学, 2019.
- [7] 吴溪, 郭广生, 王亮, 高振辉. 装备作战试验科目设计方法研究[J]. 火力与指挥控制, 2018, 43(11): 177-183+188.
- [8] 刘中恒, 王凯, 樊延平. 基于作战视图的新型坦克作战试验任务剖面设计[J]. 装甲兵工程学院学报, 2017, 31(6): 30-33+55.
- [9] 黄路炜, 张滨, 李淑媛, 郝磊, 李轶. 基于信息驱动机制的导弹作战流程建模问题[J]. 火力与指挥控制, 2018, 43(6): 66-70.
- [10] 詹悦, 王丽丽, 刘祥伟. 基于 Petri 网可达性的外卖流程建模优化分析[J]. 黑龙江工业学院学报(综合版), 2018, 18(1): 45-49.
- [11] 徐伟杰, 等. 基于改进 Dijkstra 算法的多源点最佳逃逸路线规划[J]. 通讯世界, 2019, 26(5): 241-243.
- [12] 王旭, 等. 基于改进 Dijkstra 算法的移动机器人路径规划[J]. 天津城建大学学报, 2018, 24(5): 378-381+386.
- [13] 王景存, 张晓彤, 陈彬, 陈和平. 一种基于 Dijkstra 算法的启发式最优路径搜索算法[J]. 北京科技大学学报, 2007, 29(3): 346-350.
- [14] 陈国栋, 等. 航空电子对抗作战推演系统研究[J]. 中国电子科学研究院学报, 2016, 11(6): 569-573.
- [15] 傅勉, 王世贵, 张晓杰. 装备作战需求方案质量评估推演系统设计[J]. 指挥控制与仿真, 2017, 39(4): 101-104.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2161-8801, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: csa@hanspub.org