

基于作战指挥规则图谱的辅助决策方法

田 鹏¹, 李定主^{1*}, 陈 勇¹, 李天宇², 莫瑞峰¹, 乔沛昊¹

(1. 北方自动控制技术研究所, 太原 030006; 2. 解放军 63850 部队, 吉林 白城 137000)

摘 要: 作战指挥是保证作战胜利的关键, 基于规则的作战指挥研究一直是研究的热点。通过构建作战指挥规则领域知识图谱, 可以进一步解决当前基于规则的作战指挥辅助决策方法没有考虑规则关联性、可视化等问题。研究建立了作战指挥规则图谱的图数据模型, 设计实现了相应的辅助决策路径搜索生成算法, 并验证了其可行性, 可以为基于规则的作战指挥提供参考。

关键词: 作战指挥, 规则, 知识图谱, 图数据模型, 辅助决策

中图分类号: TP391.4; TJ01

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1002-0640.2022.03.017

引用格式: 田鹏, 李定主, 陈勇, 等. 基于作战指挥规则图谱的辅助决策方法[J]. 火力与指挥控制, 2022, 47(3): 105-110.

Research on Assistant Decision Making Method Based on Knowledge Graph of Operational Command Rules

TIAN Peng¹, LI Ding-zhu^{1*}, CHEN Yong¹, LI Tian-yu², MO Rui-feng¹, QIAO Pei-hao¹

(1. North Automatic Control Technology Institute, Taiyuan 030006, China; 2. Unit 63850 of PLA, Baicheng 137000, China)

Abstract: The battle command is the key to ensure the victory of the battle, and the research on the battle command based on rules has always been a hot spot. By constructing the domain knowledge map of operational command rules, the problem that the current decision-making method of operational command based on rules does not consider the association and visualization of rules, etc, can be further solved. Therefore, the graph data model of operational command rule graph is studied and established, and the corresponding algorithm of path search generation for assistant decision-making is designed and implemented. The feasibility of the study is verified by experiments, which can provide reference for operational command based on rules.

Key words: battle command, rules, knowledge graph, graph data model, assistant decision making

Citation format: TIAN P, LI D Z, CHEN Y, et al. Research on assistant decision making method based on knowledge graph of operational command rules [J]. Fire Control & Command Control, 2022, 47(3): 105-110.

0 引言

在国防建设持续推进的过程中, 将新兴技术应用于军事作战一直是研究热点。作战指挥作为作战行动的组织领导活动, 是否正确地进行指挥, 关系到最终作战目标的达成。现有的基于规则的指挥方法, 存在缺失关联性, 不能高效可视化和高效搜索多条辅助决策路径等问题, 而知识图谱图相关理论

技术就能解决这些问题。知识图谱技术在越来越多专业领域应用, 并取得了显著的效果。因此, 本文研究如何基于知识图谱技术, 构建作战指挥规则知识图谱, 达到作战指挥辅助决策的目的。

1 研究现状分析

1.1 领域知识图谱研究

知识图谱本质上是一种描述实体关系的语义

收稿日期: 2020-12-05

修回日期: 2021-02-07

作者简介: 田 鹏(1997-), 男, 湖南龙山人, 硕士研究生。研究方向: 军用软件。

* 通信作者: 李定主(1965-), 男, 河南光山人, 正高级工程师。研究方向: 电子信息技术和指挥控制系统。

网络图,包含实体、概念及其之间的各种语义关系。随着知识图谱相关理论、技术的发展,知识图谱技术已经广泛应用于数据分析、智能搜索、个性化推荐和决策支持领域。知识图谱分为通用知识图谱和领域知识图谱,研究由通用转向特定专业领域。其构建分为两种方式:自上而下的构建和自下而上的构建,领域知识图谱采取的是前者。即通过先确定数据模型层,然后添加实体数据到知识库。很多学者将其应用于各个领域,并取得了很好的效果。如:水利信息知识图谱实现了水利信息的智能检索与推荐^[1];软件知识图谱帮助了软件开发人员进行软件知识的检索与应用^[2];专家知识图谱构建研究扩大了专家的影响力^[3]。在军事上,针对如何将知识图谱应用于该领域,相关技术也得到了具体分析^[4]。同时,领域知识图谱中图数据模型完成了标准化定义^[5]。这些研究都说明了领域知识图谱的可行性。

1.2 基于规则的作战辅助决策方法研究

作战指挥本身是作战指挥活动,其通过总结作战的实践经验、基本规律,达到指导战争胜利的目的。随着科学技术发展,如何结合高新技术来提高作战指挥的能力和水平是研究的热点。在指挥辅助决策研究中,有一大部分学者都将作战指挥过程抽象为规则,进行指挥辅助决策研究。如:空情预警作战指挥系统军事规则设计,为相关系统提供了参考^[6];更有学者进一步将案例推理与作战指挥规则结合进行建模,实现了作战指挥实体的自主决策和实时决策^[7];也有通过设定预定规则来实现指挥辅助决策的方法^[8];在应用上,有利用面向对象技术,实现了基于作战指挥规则的军事指挥专家系统^[9]。

1.3 现有方法的缺点分析

通过上述的研究发现,目前基于指挥规则的辅助决策方法,大多都是基于是一种线性逻辑结构。当条件满足,触发对应的规则节点,然后,特定的作战部队去执行对应的军事作战行动。如图 1 所示。



图 1 基于规则指挥逻辑结构

事实上,条件、规则与作战部队,它们的关系为相互关联的网状关系。这样的逻辑结构,作出的指挥决策没有考虑各种关系因素。而利用图数据模型来存储作战指挥规则,其除了符合规则相互关联网状的关系外,还可以找出所有关联因素来更加科学

地辅助决策。同时,知识图谱图数据库相关技术,可以支持高效地查询关联数据,并清晰地展示关联关系。这有利于更快速地搜索出合适的辅助指挥决策路径,更加高效地进行作战指挥辅助决策。

2 知识图谱数据模型构建

2.1 图数据模型定义

属性图数据模型,是一种管理知识图谱数据时常用的一种数据模型。它对于节点属性和边属性具备内在的支持,被图数据库业界广泛使用。图数据库 Neo4j 使用的就是该数据模型。由图数据管理领域学术界和工业界成员共同组成的关联数据基准委员会 (Linked Data Benchmark Council, 简称 LD-BC), 以属性图为基础对图数据模型和图查询语言进行了标准化。它的形式化定义如下:

属性图 G 是 5 元组 $(V, E, \rho, \lambda, \sigma)$, 其中: 1) V 是顶点的有限集合; 2) E 是边的有限集合且 $V \cap E = \emptyset$; 3) 函数 $\rho: E \rightarrow (V \times V)$ 将边关联到顶点对, 如 $\rho(e) = (v_1, v_2)$ 表示 e 是从顶点 v_1 到顶点 v_2 的有向边; 4) 设 Lab 是标签集合, 函数 $\lambda: (V \cup E) \rightarrow Lab$ 为顶点或边赋予标签, 如 $v \in V$ (或 $e \in E$) 且 $\lambda(v) = l$ (或 $\lambda(e) = l$), 则 l 为顶点 v (或边 e) 的标签; 5) 设 $prop$ 是属性集合, Val 是值集合, 函数 $\sigma(v, p) = val$ 为顶点或边关联属性, 如 $v \in V$ (或 $e \in E$)、 $\sigma(v, p) = val$ (或 $\sigma(e, p) = val$), 则顶点 v (或边 e) 上属性 p 的值为 val 。

2.2 作战指挥规则图数据模型构建

该知识图谱数据模型构建如下页图 2 所示: 每一个顶点和边都有唯一的 id (如顶点 v_1 , 边 e_1)。实体节点建立如下: v_1 为作战指挥的规则实体, 该节点规则表示了作战指挥的状态和活动节点, 对应的属性有作战规则名称, 对应的作战活动描述。实例如指挥所“目标分配, 指对敌目标进行任务分配等活动”, 火力连对敌进行“火力打击, 火力连进行火力打击等活动”, 规则实体对于作战部队来说对应着作战行动。 v_2 为条件实体, 条件实体为对应的多条规则触发的触发条件, 属性为触发条件内容, 包括敌方目标类型、战场的态势、环境和该条件的具体描述。 v_3 为作战样式实体, 其属性即具体的作战样式类别, 如坦克战、电子对抗战、网络战和精准打击战等; 其属性主要是样式对应名称, 样式的具体描述, 对应的兵种类别。 v_4 为作战部队实体, 即对应具体的作战单元, 属性为具体部队简称, 部队编号、装备武器、弹药、部队状态、部队级别以及其他详细信息。具体实例如“火箭炮 3 连, 231xx, 122 mm 火箭炮 9 门, 杀伤爆破弹 400 发, 士兵 120 人, 部队一等好状

态,连级,详细信息为第 xx 集团军 x 旅火力营 3 连”。 v_5 即作战指挥机构实体,不同部队、指挥机构根据级别可分为师级、旅级和营级指挥所等。属性即自己的指挥所编号,级别,类别和其他详细信息,如某旅级下属“基本指挥所,旅级,配置轻型 6×6 通用指挥车”等。 v_6 为作战行动实体,作为作战部队的作战描述,表示对应的作战部队可以进行的作战行动。具体实例如“炮兵射击、坦克装甲攻击、部队撤离、电子对抗侦察、电子进攻、电子防御”等。实体对应关系边为: e_1 为触发关系,表示该条件可以触发对应的作战规则;该规则拥有触发次数属性,可以反应条件对不同的规则节点概率不同,即次数越高概率越大。 e_2 和 e_3 为属于关系,分别表示为触发条件和作战行动对应属于专门的作战样式。 e_4 为拥有关

系,表示为作战指挥所下所拥有的作战样式,即下属部队能够进行的作战形式。 e_5 为对应关系,表示为作战规则节点实体与作战行动实体的相应关系,即规则对应相应的作战行动。实例如电子对抗作战指挥规则实体对应的作战行动,就有“电子对抗侦察、电子进攻、电子防御”等。 e_6 、 e_7 和 e_8 都为执行关系,指挥机构和作战部队力量可以执行与自身对应的规则活动,而作战部队力量可以在指挥机构指挥下执行对应的作战行动。 e_9 为节点规则的连接关系,即表示作战规则活动的流程和时序。 e_{10} 为下属关系,表示为作战指挥所下所拥有的作战力量部队。 e_{11} 为指挥机构之间的指挥关系,如直接指挥和越级指挥。

该模型的构建,从图数据模型对应定义出发,

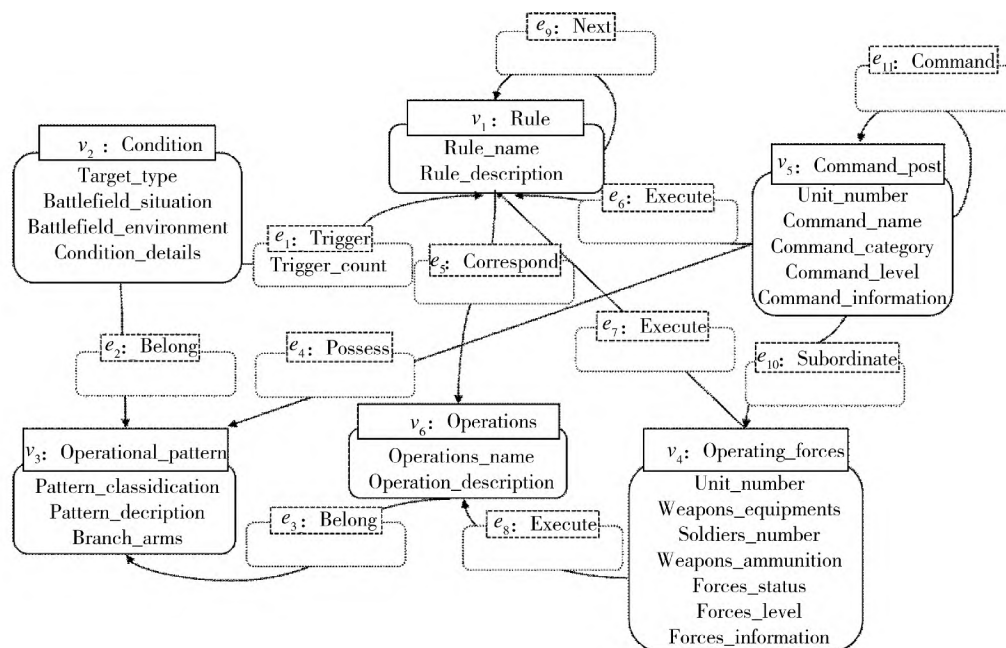


图2 作战指挥规则图谱数据模型

通过对现有基于作战指挥规则与实际部队的指挥进行研究分析,总结得到基于作战指挥规则的指挥活动考虑的指挥要素主要为:敌情态势环境,部队自身组成机构,部队作战力量,作战的样式和应采取作战行动等,由此构建出了作战指挥规则图谱数据模型。主要定义示例如下:

$V=\{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6\}$, $E=\{e_1, e_2, e_3, e_4, e_5, e_6, e_7, e_8\}$,
 $\rho(e_1)=(v_2, v_1)$, $\rho(e_2)=(v_2, v_3)$, $\rho(e_3)=(v_5, v_4)$, \dots ,
 $\rho(e_9)=(v_5, v_5)$
 $\lambda(v_1)=\text{Rule}$, $\lambda(v_2)=\text{Condition}$, \dots , $\lambda(v_6)=\text{Operations}$
 $\lambda(e_1)=\text{Trigger}$, $\lambda(e_2)=\text{Belong}$, \dots , $\lambda(e_5)=\text{Correspond}$
 $\lambda(e_6)=\text{Execute}$, $\lambda(e_9)=\text{Next}$, \dots , $\lambda(e_{11})=\text{Command}$
 $\sigma(v_1, \text{Rule_name})=\text{"火力打击"}$, $\sigma(v_2, \text{Target_type})=\text{"党政机关机构"}$, $\sigma(v_3, \text{Pattern_classification})=\text{"坦克战"}$, \dots , $\sigma(v_4, \text{Weapons_ammunition})=\text{"杀伤爆破弹$

400 发”, $\sigma(v_4, \text{Weapons_equipments})=\text{"122 mm 火箭炮 10 门"}$, \dots , $\sigma(v_5, \text{Command_level})=\text{"营级"}$, $\sigma(v_5, \text{Command_name})=\text{"火力 1 营指挥所"}$, \dots , $\sigma(v_6, \text{Operation_name})=\text{"炮兵射击"}$...

3 辅助决策路径搜索生成算法设计

在作战指挥中,对应的指挥所机构和触发条件,以及自身对应的规则状态是已经知道的。对于该触发条件的辅助决策规则路径,可以从所建立的作战指挥规则图谱中得到。根据已经建立的规则知识,即已经拥有的作战经验,给与辅助建议。通过从现在已知对应的条件出发,在该图谱中搜索可能的所有规则路径,并按优先级别排序,给予指挥所指挥员辅助建议。但是,简单的全遍历搜索,不能满足实际的需求。需要设计特定的搜索算法。这里先进

行了该算法总体设计分析,设计了合适的搜索选择策略函数,再给出算法总体工作流程伪代码。

3.1 算法总体设计分析

在已经知道所在指挥所机构和触发条件下,按优先级检索可能的作战指挥规则路径,推荐给作战指挥员。算法总体思路为采用深度优先搜索和回溯法来检索生成辅助决策路径。以图 3 遍历顺序所示,作战指挥规则优先选择规则节点 A 与规则 D 后,继续检索最优路径下的作战部队及该作战部队可以执行的作战行动,得到该路径相应的最优路径。后继续回溯进行包含规则 C 的路径搜索,得到次优的路径,最后回溯进行规则 B。而这里需要先设计搜索选择策略函数,包括:1) 已知触发条件下选择第 1 个触发规则节点;2) 规则节点下继续检索下一个规则节点;3) 检索到同类型作战部队时如何选择。最后得到路径搜索生成算法总体工作流程伪代码。

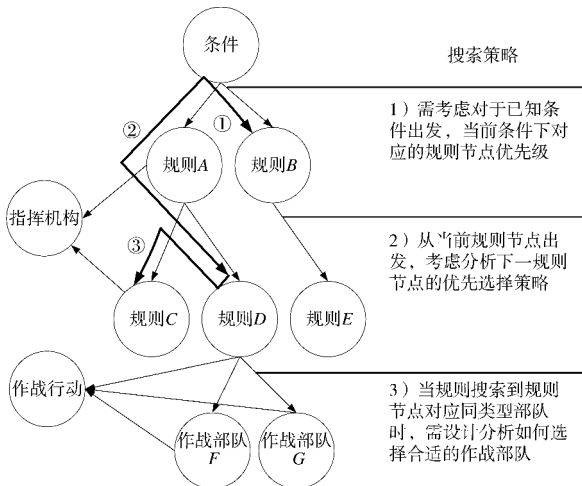


图 3 算法总体设计分析示意图

3.2 搜索策略函数设计

设 E 为去集合函数,当前的指挥所机构节点 v_{50} , 所处触发条件集合 $E_{v_5} = \{v_{21}, \dots, v_{2l}\}$ 已知。可以根据关系 e_9 搜索出现在所有的连接节点,为 $E_{v_1} = \{v_{11}, \dots, v_{1k}\}$, 其中, v_{1k} 为当前规则节点相连的第 k 个规则节点。则 v_{1k} 规则节点对应的部队节点为 v_{4k} , 对应的指挥所节点为 v_{5k} , 对应的作战部队节点为 v_{6k} 。而最后检索出的规则节点对应作战部队节点集合为 $E_{v_6} = \{v_{61}, \dots, v_{6n}\}$ 。同时,设函数 $t(\text{True})=1, t(\text{False})=-1$, 函数 $f(\text{集合 } A, \text{集合 } B)=\text{集合 } A \text{ 中元素在 } B \text{ 中元素的个数}$ 。以顶点 V 为头的弧的数目入度为 $ID(V)$, 以 V 为尾的弧的数目出度为 $OD(V)$, 则顶点 V 的度为 $TD(V)=ID(V)+OD(V)$ 。由总体设计思路出发,搜索策略函数设计主要为 3 个部分, 分别解决总体算法分析下对应的问题, 相应的 3 个主要的搜索函数部分设为 $\text{func1_condition}, \text{func2_rule}, \text{func3_forces}$ 详细的设计如下。

1) 从已知条件出发,需要考虑优先检索的规则节点,即需要对应的规则节点优先级。条件实体与对应的作战规则实体为概率关系,则条件实体与所关联的规则节点关系的属性触发次数 Trigger_count 与总数比值越大,表示其对应的概率越大,形式化定义如下:

$$\max_{1 \leq i \leq k} \left(\frac{\sum_{j=0}^l \sigma((v_{2j}, v_{1i}), \text{Trigger_count})}{\sum_{m=0}^k \sum_{j=0}^l \sigma((v_{2j}, v_{1m}), \text{Trigger_count})} \right)$$

2) 在搜索路径中,从一个已知规则节点得到下一个可能的作战指挥规则节点,主要考虑该图谱结构中的实际作战指挥逻辑规则和网络统计的结构。设计如下所示:

① 当前欲选择规则节点对应的部队与当前指挥节点为关系为 e_3 ;

$$(v_{50}, v_{4k}) \in E[e_3]$$

② 当前欲选择规则节点对应的指挥节点与当前指挥节点关系为 e_9 ;

$$(v_{50}, v_{5k}) \in E[e_9]$$

③ 下一规则节点与上一规则节点对应的触发条件更多;

$$\max_{1 \leq i \leq k} \left(\sum_{j=1, v_{1j} \in E_{v_2}}^l t[(v_{1j}, v_{1k}) \in (v_{1j}, v_{10})] \right)$$

④ 当前规则节点所有触发条件所属的作战样式节点,与下一规则节点对应指挥所、对应作战部队的作战行动的可执行作战样式节点匹配更多;

$$\max_{1 \leq i \leq k} \left(f \left(E[(v_{6k}, v_3)] \cup E[(v_{5k}, v_3)], E \left[\sum_{i=0, v_{2i} \in E_{v_2}}^l (v_{2i}, v_3) \right] \right) \right)$$

⑤ 对于图谱本身的网络结构入度与出度,如规则节点的出入度越高,所对应的执行该规则节点对应活动的概率就越高。这里考虑对应指挥所、作战部队、对应作战行动以及该规则的活动概率,由设计的图数据模型得到:

$$\max_{1 \leq i \leq k} \left(\frac{ID(v_{1k})}{\sum_i TD(v_{1k})} + \frac{ID(v_{5k})}{\sum_i TD(v_{5i})} + \right)$$

$$\left. \frac{ID(v_{4k})}{\sum_i^k TD(v_{4i})} + \frac{OD(v_{6k})}{\sum_i^k TD(v_{6i})} \right)$$

3) 针对检索到最后作战节点有相同类型的作战部队,如相同的火箭炮 1 连与 2 连,这里根据实际作战指挥选择部队的经验,首先考虑部队状态,例如,部队一等好优于部队二等好,然后考虑部队武器装备,弹药数量与士兵数量。如下所示:

$$\max_{1 \leq i \leq n} \left(\begin{array}{l} \sigma(v_{6i}, Forces_status), \\ \sigma(v_{6i}, Weapons_equipments), \\ \sigma(v_{6i}, Weapons_ammunition), \\ \sigma(v_{6i}, Soldiers_number) \end{array} \right)$$

3.3 算法工作流程

算法函数名为 func_decision_support,一次完整的搜索路径为 Path,算法总体工作流程伪代码如表 1 所示。

4 实验分析

基于某合成营公开军事演习的作战指挥规则,将其作战过程中的作战指挥规则进行整理设计,存储于所设计的图数据模型中,得到了对应的作战指挥规则图谱,如下页图 4 所示。将其作为实验分析的数据。其中,数据平台是 Neo4j 图数据库。

通过 Neo4j 的 JAVA 嵌入式开发模式,使用 IDE Eclipse Mars 4.5,基于 JDK1.8,开发实现了设计的辅助决策路径搜索算法,并在上述图谱中得到应用。主要实验如下:1) 当输入发现敌方党政机关,距离约为 40 km 时;2) 当发现受到电子干扰时,运行算法搜索得到了结果。这里,对其生成的最优辅助决策路径进行展示,结果分别如图 5 和图 6 所示。其分别为更适合的火箭炮 1 连进行射击和电子对抗连进行电子对抗。其结果符合实际的决策方案。同时也说明了,基于本文图谱的辅助决策除了具有可以快速检索正确辅助决策路径外,还考虑了其相关联的网状关系,更加科学合理。另外,其还具有可以高效可视化的优点,证实了其有效性。

5 结论

本文通过对基于作战指挥规则的辅助决策研究现状进行分析,发现了目前基于作战指挥规则的辅助决策方法的不足。同时,分析了领域知识图谱技术的可行性。并且,利用领域知识图谱相关理论和方法构建了作战指挥规则图谱,通过该图谱来达

表 1 辅助决策路径搜索生成算法工作流程表

算法:辅助决策路径搜索生成算法
Input: 当前的指挥所机构节点 v_{50} 和触发条件集合 $E_{V_2}=\{v_{21}, \dots, v_{2l}\}$
Output: 按可能性大小有序输出所有可能的决策路径辅助决策,检索算法路径
Begin
1. func_decision_support($v_{50}, E_{V_2}=\{v_{21}, \dots, v_{2l}\}$)
2. IF E_{V_2} 为 Null
3. 直接输出 Printf 当前
4. Return 返回
5. 由触发条件 $E_{V_2}=\{v_{21}, \dots, v_{2l}\}$ 通过搜索函数 func1_condition 对初始规则排序 $E_{V_1}=\text{func1_condition}(E_{V_2})$
6. 初始规则节点集合 $E_{V_1}=\text{func1_condition}(E_{V_2})$
7. 根据结果排序, 将对应节点有序加入队列 queue_initial_rule.push(V_{1l})
8. While(!queue_initial_rule.empty())
9. 临时 v_1 节点 $v_{1l}=\text{queue_rule.pop}()$, 取出队列第 1 个元素
10. 将该元素节点 v_{1l} 加入 Path 中
11. 由当前规则节点 v_{1l} 检索出下一临时可选规则节点集合 E_{V_i}
12. If($E_{V_i}=\emptyset$)检索当前规则节点 v_{1l} 对应的作战部队与作战行动
13. func3_forces(v_{1l})
14. 得到对应作战行动与部队输出 printf 路径 path
15. Else
16. 利用 func2_rule 计算下一临时可选规则节点集合 E_{V_i} 顺序
17. 根据结果排序加入队列 queue_next_rule.push(v_{1l})
18. While(!queue_next_rule.empty())
19. 临时 v_1 节点 $v_{1l}=\text{queue_next_rule.pop}()$ 取出第 1 个元素
20. 对 v_{1l} 继续 Step10 处的操作
21. End While
22. 将 v_{1l} 从 Path 中退出
23. End While
End

到作战指挥的目的。设计了相应的图数据模型,辅助决策路径搜索生成算法。并通过具体的实验分析,证明了该方法的有效性,可为相关作战指挥研究提供参考。

参考文献:

- [1] 冯钧,徐新,陆佳民.水利信息知识图谱的构建与应用[J].计算机与现代化,2019,35(9):35-40.
- [2] 李文鹏,王建彬,林泽琦,等.面向开源软件项目的软件知识图谱构建方法[J].计算机科学与探索,2017,11(6):851-862.
- [3] 周湘超,詹磊,吴庆,等.专家知识图谱构建研究[J].电脑知识与技术,2016,12(7):195-197.

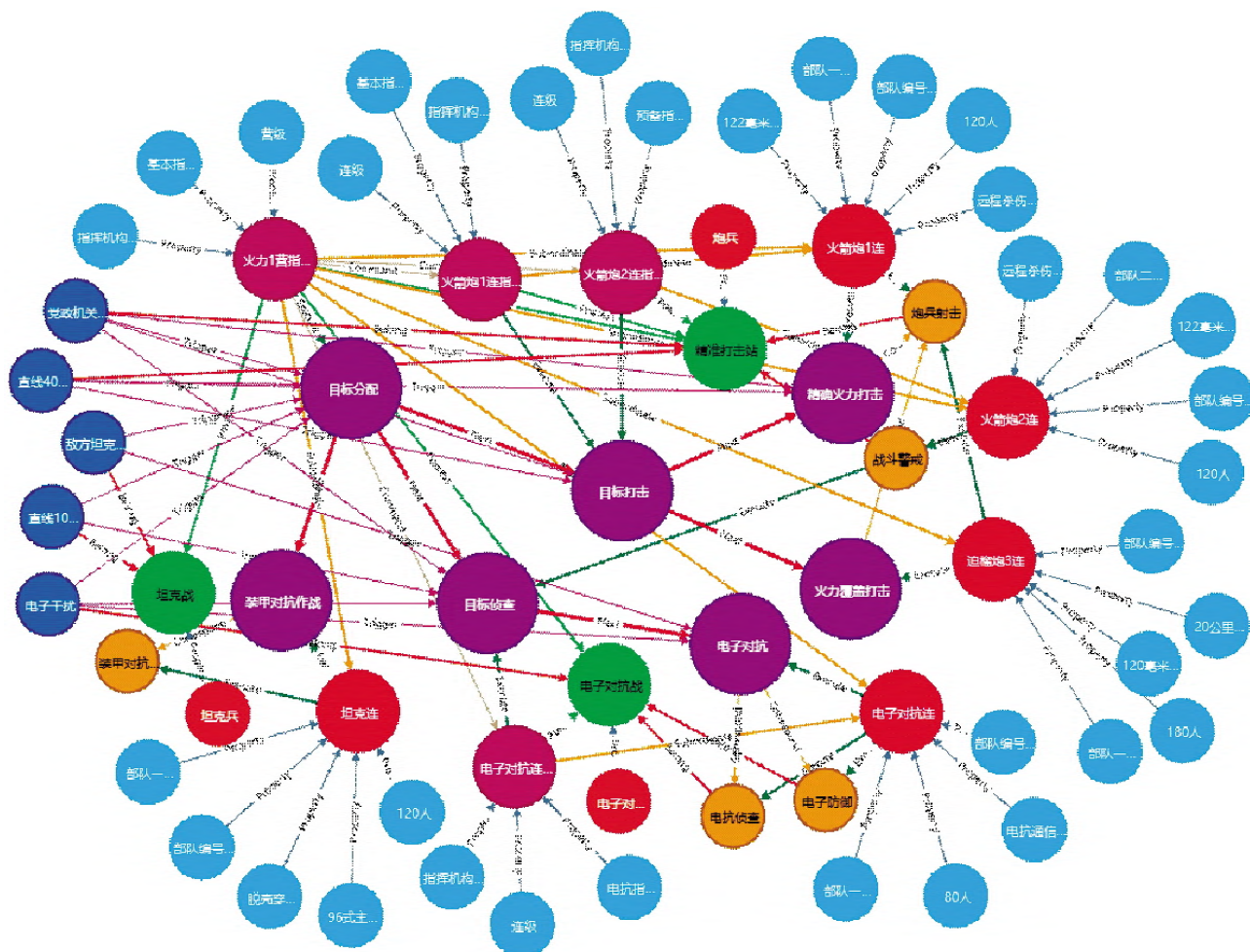


图4 某合成营作战指挥规则图谱

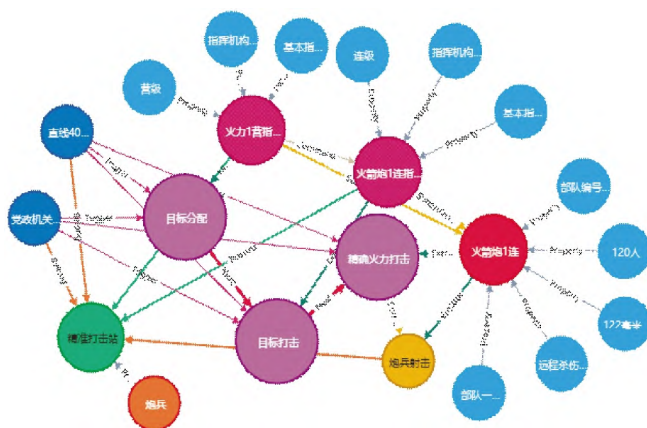


图5 火箭炮1连火力打击

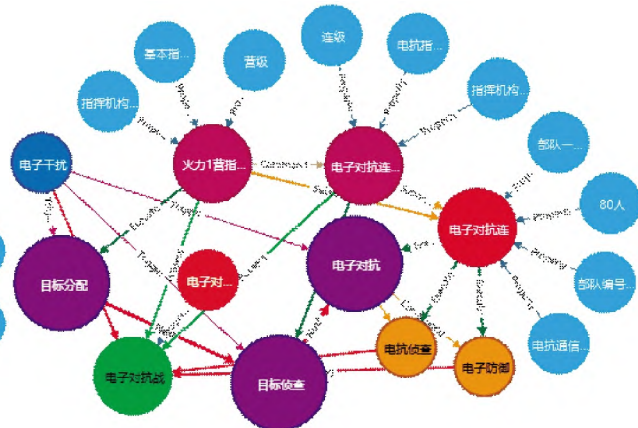


图6 电子对抗连进行对抗

- [4] 葛斌,谭真,张瑜,等.军事知识图谱构建技术[J].指挥与控制学报,2016,2(4):302-308.
- [5] ANGLES R,ARENAS M,BARCELO P,et al. A core for future graph query languages [C]//In:Gautam Das,ed. Proceedings of the 2018 International Conference on Management of Data. Houston:ACM,2018:1421-1432.
- [6] 王文元,郭宜忠,张伟.空情预警作战指挥系统军事规则设计[J].空军雷达学院学报,2012,26(1):32-35.
- [7] 樊延平,郭齐胜,穆歌.融合规则推理和案例推理的作战指挥决策建模[J].火力与指挥控制,2013,38(9):

108-111.

- [8] 谭亚新,王成,范锐,等.基于预定指挥规则的指挥决策模型研究[J].系统仿真学报,2008,20(14):3820-3824.
- [9] 钟诗胜,王高峰,何新贵,等.面向对象的军事指挥专家系统的总体设计[J].系统工程与电子技术,1995,17(12):10-16.
- [10] 王鑫,邹磊,王朝坤,等.知识图谱数据管理研究综述[J].软件学报,2019,30(7):2139-2174.
- [11] 陶玉桦,齐锋,丁鲲.基于模糊匹配的作战规则应用方法[J].电子信息对抗技术,2016,31(2):14-17,22.