

# 作战计划生成方法研究现状与展望

程 恺 陈 刚 张 品 尹成祥

(解放军理工大学指挥信息系统学院 南京 210007)

**摘 要** 作战计划质量的高低事关战争的成败,而作战行动序列生成是计划制定的关键。目前作战计划生成面临着行动状态搜索空间大,无法有效处理战场不确定因素对计划执行效果的影响,不能满足现代战争非线性、不确定性需求等问题。为此,分别从经典计划生成和作战计划生成中的理论与应用两个方面分析了国内外的研究现状,特别是针对作战计划生成问题中传统的、基于效果作战的以及不确定性的作战行动序列生成方法进行了系统及深入的阐述,进而指出当前该领域的主要研究方向,这对于现代战争中作战计划的生成具有重要指导意义。

**关键词** 基于效果作战,不确定性推理,作战计划,适应性,鲁棒性

**中图分类号** TP391 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2016.12.002

## Review on Methods of Operation Planning

CHENG Kai CHEN Gang ZHANG Pin YIN Cheng-xiang

(College of Command Information Systems, PLA University of Science & Technology, Nanjing 210007, China)

**Abstract** The quality of operational plan determines the success or failure of a war. The course of action generation is the key to planning which is widely concerned by domestic and foreign researchers. Currently the generation of operation plan faces the problem that the space of action states can neither effectively deal with the uncertainties affecting the implementation effects of the plan nor satisfy the demand of modern war's nonlinear and uncertainty. So this paper summarized the progress in related research fields from the respects of classic planning and operational planning. Especially for the operational planning problem, traditional, effect based operation and uncertain course of action generation methods were discussed systemically. Then the main research directions of these fields were pointed out, which has good significance for operational planning.

**Keywords** Effect based operation, Uncertainty reasoning, Operation plan, Adaptability, Robustness

## 1 引言

现代信息化战争是陆、海、空、天、电多维一体的多军种联合作战,呈现出作战节奏加快、敌我对抗激烈、不确定因素增加等特点,战场指挥的正确、及时和稳定面临着严峻挑战。战争的胜负不再仅仅取决于武器平台的数量和功能,更多的是依靠在快速整合战场资源的基础上制定出的高效作战计划。

由于作战计划质量的高低事关战争的成败,因此对作战计划制定方法的研究一直是国内外军事和科研人员关注的热点问题<sup>[1-4]</sup>。作战计划的制定实质上就是根据军事资源、初始态势以及期望态势,通过合理的规划作战行动序列(Course of Action, COA)实现从初始态势到期望态势的转化。为了达到期望态势,往往需要执行大量的作战行动,而这些行动之间通常存在着复杂的时序逻辑关系,因此需要对资源进行合理的分配和排序,处理规划过程中的各类冲突使得作战计划的制

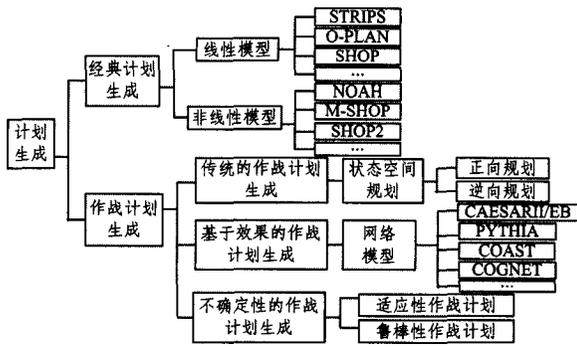
订成为一个十分复杂的过程。

以上现代战争和作战计划制定的特点表明,仅依靠计划制定人员自身的能力很难制定出科学合理的作战计划,必须利用新的技术手段加强传统作战计划制订方法的有效性。作战计划制定从过程上可分为作战行动序列生成和作战资源匹配两个阶段<sup>[5]</sup>,而作战行动序列生成又是其关键的基础步骤。因此,为了能够快速制定更加有效、适应性和稳定性更强的作战计划,开展了作战行动序列的生成方法的研究,其不仅有利于作战计划制定方法的理论创新与发展,提升我军作战设计的能力,同时也将其它领域的计划构建和创新提供依据和支持,具有重要的理论意义和应用价值。

## 2 相关领域国内外研究现状

国内外关于计划生成问题的研究思路和方法有很多,通过对目前相关研究成果的深入理解和分析,本文按照如图 1 所示的结构对其进行系统的阐述。

到稿日期:2015-12-01 返修日期:2016-04-15 本文受江苏省自然科学基金:基于效果的反应式行动序列生成方法研究(BK20150720)资助。  
程 恺(1983-),男,博士,讲师,主要研究方向为作战计划生成、作战效能评估, E-mail: chengkai911@126.com; 陈 刚(1974-),男,硕士,副教授,主要研究方向为数据工程; 张 品(1981-),男,博士,讲师,主要研究方向为信息系统工程; 尹成祥(1989-),男,博士生,主要研究方向为作战效能评估。



## 2.1 经典计划生成问题研究现状

经典计划生成问题的研究最早始于20世纪60年代初<sup>[6]</sup>，其本质是研究如何通过执行一系列有序行动来完成某一既定目标，属于人工智能(Artificial Intelligence, AI)研究领域；基于一阶逻辑表达客观世界状态的演变过程<sup>[7]</sup>，其研究成果和相关技术主要应用于机器人路径规划等方面。70年代中后期，抽象状态空间描述机制、过程学习机制和目标衰退机制等经典计划生成问题的形式化描述研究成果相继出现。

STRIPS(Stanford Research Institute Problem Solver)<sup>[8]</sup>是进行计划生成问题理论研究的经典模型，采用抽象状态空间描述机制来描述计划生成过程，将计划的执行过程描述为一系列系统状态之间的转换，基于该模型的计划生成通常是一个行动序列，是线性的，并且往往具有指数级别的复杂度。为了提高生成效率，出现了NOAH(Nets of Action Hierarchies)等非线性模型<sup>[9]</sup>，通过引入过程网(Procedural Net, PN)来描述行动间的偏序关系，从而并行生成计划。随着复杂性理论的日趋成熟，对经典计划生成问题求解算法的研究不断深入<sup>[10]</sup>。目前，关于这类问题最为有效的求解算法是

GraphPlan<sup>[11]</sup>，该算法是一种基于图形的生成算法。此外，将经典计划生成问题转化为逻辑可满足性问题<sup>[12]</sup>，从而可以将逻辑可满足问题中的相应算法应用于计划生成问题中。

早期最为成功的计划生成系统当属STRIPS系统<sup>[8]</sup>，该系统基于STRIPS形式化描述语言，采用迭代回退式的状态空间搜索算法求解给定的计划生成问题。上世纪90年代出现的O-PLAN系统也是到目前为止在AI领域最著名的计划生成系统之一，其通过引入情境模式的概念将不同层次的任务关联起来<sup>[13,14]</sup>。SHOP系统采用一种有序任务解析机制，通过任务间的执行顺序构建计划。针对SHOP系统的局限性，出现了M-SHOP和SHOP2等改进系统以提高计划生成的并行化程度<sup>[15,16]</sup>。其它较为突出的计划生成系统还有SNLP(Systematic Nonlinear Planner)系统和GraphPlan系统<sup>[11,17]</sup>。SNLP系统虽然能够找到最优解，但其搜索空间巨大，效率低下；GraphPlan系统基于GraphPlan求解算法，能够用来处理具有不确定性的计划生成问题。

经典计划生成理论往往侧重于对行动执行顺序的研究，即行动间时序关系条件限制，而并未考虑资源条件的限制；此外在经典理论的研究中并未将不确定因素的影响作为主研究重点，经典理论通常假定行动执行在一个不存在任何不确定因素的理想环境下，这对于现代信息化战争显然是不适用的。

## 2.2 作战计划生成问题研究现状

经典计划生成理论为早期的作战计划生成研究奠定了基础。从80年代开始，外军开始将自动规划技术引入军事领域以解决作战计划的自动生成问题，大大提高了作战指挥决策的速度和质量，其经验和做法值得借鉴。特别是以美军为代表，其成功地将各类规划技术应用于作战指挥、后勤保障等问题中，开发了一系列不同层次和不同类型的作战计划系统<sup>[18]</sup>。

表1 外军作战计划系统分类表

功能类型	系统名称	核心技术来源	自动化程度	作战类型	作战等级	计划类型	应用类型
战斗与部署	FOX-GA	AI	自动	陆	战役	应急	战斗
	CTAPS	AI	半自动	陆、空	战役	应急	部署、战斗、运输
	JADE	AI	半自动	联合	战役	应急	部署、战斗
	DART	AI	半自动	联合	战略	周密、应急	部署、战斗、运输
	APSS	AI/作战研究	自动	陆	战术	应急	战斗
	TPEDIT	AI/作战研究	半自动	联合	战术	应急	部署、运输
	COPLANS	AI/作战研究		联合	战役	周密	战斗、后勤
交通运输	JOPES	AI/作战研究	半自动	联合	战术、战役、战略	周密、应急	运输、后勤、供给、调遣
	SOCAP	AI	半自动	联合	战术、战略	周密、应急	运输
	ADANS	作战研究	自动	空	战役、战略	周密、应急	运输
	CAMP5	AI	半自动	空	战役、战略	周密、应急	部署、运输
	COMPES		自动	空	战术、战役	周密、应急	后勤、动员
	DCAPES			空	战术、战役	周密、应急	后勤、动员、供给、调遣
	KARMA	AI	自动	空	战术、战役		运输
	DSS	作战研究		空	战术、战役、战略		运输
航路规划	IFP	AI	自动	空	战术	应急	战斗、搜救
	JMPS	AI	自动	联合	战术	周密、应急	战斗
	N-PFPS	AI/作战研究	自动	空	战术		
	TAMPS	AI/作战研究	自动	空	战术		
	AFMSS	AI/作战研究	自动	空	战术	周密、应急	部署
	MSS/C	AI/作战研究	自动	空	战术	周密、应急	战斗
	SAIC/MPS	AI/作战研究	自动	空	战术		运输、后勤
	CINNA 4	AI/作战研究	自动	空	战术		战斗
其它	TRIPS	AI	半自动	联合		应急	运输、后勤
	JMCAP	AI	半自动	海	战术	应急	战斗
	JSPS			联合	战略	周密、应急	供给
	O-PLAN 2	AI	半自动	空	战术、战役、战略	应急	
	JSOW MPM		自动	空	战术		导弹航路

按照不同功能可将作战计划系统划分为4类:战斗与部署系统、交通运输系统、航路规划系统、其它专用军事规划系统,如表1所列。

在这些战术、战役和战略级的作战计划系统中有64%为战术级规划系统,11%为战役级规划系统,25%为战略级规划系统,其中联合作战计划与执行系统(JOPES)和联合任务规划系统(JMPS)最具代表性。JOPES是一个制订联合作战计划和实施联合作战的一体化指挥控制系统,将各种军语和作战程序融为一体,为各军种提供了一个标准化的联合计划系统,该系统用于监督、计划以及实施与联合作战有关的动员、部署、兵力使用和后勤保障等行动。而JMPS则是集成了海军任务规划系统(NMPS)、空军任务支持系统(AFMSS)及特种部队行动计划和预演系统(SOPARS)的软件平台,提供了战术级的任务计划能力,用于制定威胁分析、路径规划以及攻击协调等任务计划。

我军历来十分重视作战计划在作战决策中的关键性、基础性作用。随着对现代战争对抗性、不确定性、非线性认识的不断深化,有关部门在学习借鉴外军先进理论的基础上,开展了相关作战计划制定的基础性研究工作。海军装备论证研究院基于模型库开发了作战方案辅助决策系统;空军指挥学院基于多Agent智能技术和行动方案生成专家系统开发了作战计划协同制定系统;国防科学技术大学基于模型分析和仿真评估研制了联合作战方案生成与评估系统和空军战役智能决策支持系统。这些对提升我军作战指挥效能和作战筹划能力均起到了积极的推动作用。但总体而言,我军无论是系统规模还是自动化程度与外军相比还存在较大差距。

### 2.2.1 传统的作战行动序列生成

目前,在作战计划制定领域中大量使用了定性和定量的计划生成技术,主要有状态空间规划、遗传算法、贝叶斯网络、时序逻辑、工作流和案例等方法<sup>[19,20]</sup>。传统的作战行动序列生成方法借鉴了经典的计划生成技术,基于约束的状态转移系统进行计划,是一种状态空间的搜索方法。求解此类问题的常见方法有正向规划(Forward Plan)和逆向规划(Backward Plan)<sup>[21]</sup>。

传统的计划制定是一种正向规划,从初始态势出发直接寻找实现目标的方案,在面临更为复杂的、未曾预见过的战场情况时,指挥者往往难以快速找出可行的方案。基于目标分解的计划方法是一种逆向规划,通过自上而下的层次分解,将目标任务分解为子任务,从而找出行动方案。相比传统的正向规划,基于目标分解的逆向规划的行动指向更明确,但缺乏清楚表示行动与效果间影响的机制。无论是正向规划还是逆向规划,当算法按深度优先执行时可能得不到解,当算法按广度优先执行时虽能够得到可靠和完备解,但搜索空间呈指数级增长,其搜索效率低下。为此,通过引入启发式算法,采用正向、逆向规划相结合的方法<sup>[22]</sup>,能够有效地缩小搜索空间,提升算法搜索的效率。

### 2.2.2 基于效果作战的行动序列生成

随着军事技术的不断发展,当今信息化作战、打击、侦查等能力得到了极大提高,战场变得更加透明。作战方式已从传统的由外及内逐层消灭敌人的线性作战转变为能够集中陆海空等作战力量在同一时间、不同空间对同一目标或不同目标进行全纵身整体打击的非线性作战。针对这一转变,美军率先提出了基于效果的作战(Effect Based Operation,

EBO)<sup>[23]</sup>,并且在近期的几场战争中运用了该作战思想,取得了巨大成功。当前对EBO的研究已成为一个热点问题<sup>[24,25]</sup>。为了支持基于效果作战的计划生成,美军先后开发了CAESARII/EB, PYTHIA, CAT, SIAM等系统<sup>[26-28]</sup>;澳大利亚军方也研制了COAST, COGNET等系统<sup>[29,30]</sup>。我军在这方面的研究起步较晚,国防科学技术大学基于滚动时域方法研究了多飞行器协同攻击的行动序列规划方法<sup>[31]</sup>;军事科学院从作战设计的角度<sup>[32,33]</sup>通过构建作战选项空间实现了对重要作战路径的覆盖。此外,海军、空军等相关部门对EBO进行了持续跟踪研究<sup>[34,35]</sup>。

EBO其实是由基于目标分解的逆向规划演化而来,其将目标分解为具体预期的效果。它不仅体现了作战的非线性,而且还能够表达作战的不确定性,主要实现技术是影响网(Influence Net, IN)<sup>[36]</sup>。通过IN描述作战任务和作战效果之间的不确定影响关系,指导作战方案的制定。国内外众多学者对IN进行了不同程度的改进<sup>[37-45]</sup>,然而在网络结构建立完成后需要选择行动方案时,该方法同样面临着行动组合状态空间巨大等问题;在确定最佳行动方案时,同样也面临着行动组合状态空间巨大等问题<sup>[46,47]</sup>。通过增加约束条件,结合进化算法、粒子群算法等智能优化算法能够在一定程度上降低选择最佳方案的难度。

近年来,军事专家对EBO产生了一定的争论<sup>[48,49]</sup>,反对者认为战争充满了不确定性,要准确地预测某一行动的结果在逻辑上是不可能的,而EBO建立在对战争系统可预测的基础上,适合封闭式系统,忽视了对抗性这一战争的本质属性。针对这一问题,国防科学技术大学将博弈论与影响网相结合<sup>[50,51]</sup>,考虑敌我双方行动之间的相互影响,力求解决对抗条件下作战行动序列的建模和生成问题,其思路具有创新性,对EBO的发展起到了积极作用。由于该方法引入了博弈论,虽然考虑问题更全面,但在建模时进行了较多的条件假设和不确定估计,方法的实用性和有效性还有待进一步考证。

### 2.2.3 不确定性作战行动序列生成

利用概率网络研究作战行动序列生成问题是当前作战计划领域的热点,但目前往往将研究的重点放在改进不确定技术上,更多地追求推理的准确性,而忽略了生成结果本身的有效性。当前的计划制定过程是一种周密的深度计划过程,通常仅对少数备选方案投入较多,从开始到执行结束每个环节都考虑得非常详细。一旦计划出错或失败,这些被深入详细研究的方案中的大部分将会被抛弃。有时,指挥员也可能为定势思维所困,未顾及迅速变换的战场态势,无法从当前计划中自拔。战场上随时可能发生的一些随机或突发事件会对作战计划的执行造成影响,因此需要考虑采用相应措施来减少这些不确定事件的影响<sup>[52]</sup>。

处理这一问题通常有两种方式,第一种是提升计划的适应性<sup>[53]</sup>,即在计划的执行过程中根据实时的战场感知,动态调整计划以应对不确定因素的影响;第二种是加强计划的鲁棒性<sup>[54]</sup>,使制定好的计划对不确定因素造成的影响不敏感,在计划执行过程中无需修改,依然能够保证较好的执行效果。适应性计划在作战过程中需不断调整,是一种反应式(Reactive)的计划方法,而鲁棒性计划在作战开始之前已经形成,是一种预测性(Proactive)的计划方法。现代战争作战节奏加快,预测性计划通过增加冗余行动来处理大量不确定因素时往往会带来过大的执行代价,以致生成的计划方案变得几乎

不可行,其主要问题在于如何有针对性地增加冗余行动以避免计划执行代价过大以及如何客观地估计不确定事件出现的概率及其影响<sup>[55]</sup>。反应式计划相对而言执行成本小,易于灵活实施,在应对不确定因素方面具有一定优势。反应式计划的关键问题在于保持对战场不确定因素的实时监控与反馈,从而识别出敌方的作战计划,即如何根据已知的战场实体、实体的行动、实体之间的关系,判断其战术乃至战役、战略的目的与意图<sup>[56,57]</sup>,进而动态调整己方作战计划。

美国国防部高级研究计划署(DARPA)于2007年提出的“深绿(Deep Green)”计划正是采用了预测与反应式计划的思想,使作战计划的生成模式由深度计划向宽度计划转变<sup>[58]</sup>。一方面预测计划,即在需要之前生成COA和未来态势;另一方面识别作战行动轨迹,给出指挥员需关注的重要决策结点,以其生成的COA为中心,利用COA选项自动生成技术对COA选项进行变异,从而使指挥员在任何时候都有更宽泛的COA选项可选,增加未来态势的宽度。

综上,国内外对作战计划生成的研究已取得丰富成果,但现有文献中对行动序列与作战效果间的关系不明确,行动状态搜索算法的时空复杂度较高,作战行动序列应对战场不确定性因素的能力不强。因此,可考虑将基于效果的作战和不确定性理论进行结合,从逆向计划的视角出发研究作战行动序列的生成方法,建立作战行动序列的不确定性推理模型以及不确定条件下计划识别模型,研究影响作战效果关键行动确定的理论和方法,在考虑敌方可能的作战行动条件下,对关键作战行动进行鲁棒性优化。

### 3 主要研究方向展望

基于效果的作战符合现代战争的发展趋势,通过对作战行动序列生成方法的深入研究,该领域的主要研究方向有如下几个方面。

#### 3.1 研究基于效果的作战行动序列逆向生成方法

以基于效果的作战理论为基础,从逆向计划的角度出发,探究从期望态势到初始态势多层次效果之间的影响关系,建立效果间定性的影响关系模型,进而研究效果与作战行动之间的相互关系,提出效果和行动的匹配方法,有效减少作战行动序列逆向生成时行动状态的搜索空间。

#### 3.2 研究作战行动序列的不确定性推理模型

基于效果的作战行动序列逆向生成方法实际上是作为作战行动序列的不确定性推理模型建立了网络结构。根据生成的作战行动序列与作战效果之间的定性关系,进一步明确它们之间的定量因果关系,建立其正向的不确定性推理模型。作战行动序列不确定推理模型包括静态推理模型和动态推理模型,静态推理模型主要用于预测性计划,结合鲁棒性优化方法生成作战计划;动态推理模型主要用于反应式计划,结合计划识别方法生成作战计划。

#### 3.3 研究不确定条件下计划识别模型的建立

研究计划识别推理框架的逻辑描述和形式化表示方法,规范计划识别的方法流程,研究证据、知识、时空约束等不确定因素在计划识别分类模型中的集成方法。

#### 3.4 研究影响作战效果关键行动确定的理论和方法

分析计划识别的结果、作战行动序列与期望态势的影响关系,研究行动序列中影响达成期望态势的关键行动识别方法,为有针对性地动态调整作战行动序列供依据。

#### 3.5 研究作战行动序列鲁棒性的度量模式及其优化方法

作战行动序列良好的鲁棒性能够有效应对各种不确定因素,在一定执行代价约束条件下,能够增加行动方案完成预期目标效果的概率。因此,未来可以研究作战行动序列鲁棒性的量化方法以及其鲁棒性优化问题。

#### 3.6 联合作战计划的生成与制定方法

从目前作战计划系统研制情况来看,战术级作战计划生成系统成为了开发的主流,而战役和战略级作战计划生成系统尚面临诸多挑战。因此,针对现代一体化联合作战的实际需求,研究联合作战计划的生成与制定方法很有必要。

**结束语** 本文首先分析了作战行动序列生成方法研究的背景和意义,进而从经典计划生成问题和作战计划生成问题两个方面总结分析了相关领域的研究现状,并重点分析了作战计划生成问题中传统的、基于效果作战的以及不确定的作战行动序列生成方法,最后指出了该领域的主要研究方向,对作战计划的生成与优化具有积极的启发和指导意义。

### 参考文献

- [1] Zhang Jie-yong, Yao Pei-yang, Yang Dong-sheng, et al. Approach to organizational course of actions selection based on DINs and PSO[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2011, 31(10):1985-1993(in Chinese)  
张杰勇,姚佩阳,阳东升,等.基于DINs和PSO的组织行动过程选择方法[J].系统工程理论与实践,2011,31(10):1985-1993
- [2] Qian Meng, Liu Zhong, Yao Li, et al. Survey of ontological modelling of military operation plans[J]. Systems Engineering and Electronics, 2010, 32(5):994-1000, 1077(in Chinese)  
钱猛,刘忠,姚莉,等.作战计划的本体建模研究[J].系统工程与电子技术,2010,32(5):994-1000,1077
- [3] Antkiewicz R, Gasecki A, Najgebauer A, et al. Stochastic PERT and CAST Logic Approach for Computer Support of Complex Operation Planning[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2010, 6148:159-173
- [4] Ghallab M, Nua D, Traverso P. Automated Planning; theory and Practice[J]. Industrial Robot, 2005, 32(5):42-43
- [5] Srivastava B, Kambhampati S. Scaling up Planning by Teasing Out Resource Scheduling[J]. Lecture Notes in Computer Science, 1999, 1809:172-186
- [6] Aylett R S, Petley G J, Chung P W H, et al. AI Planning: Solutions for Real World Problems[J]. Knowledge-Based Systems, 2000, 13(2):61-69
- [7] Erol K. Hierarchical Task Network Planning, Formalization, Analysis, and Implementation[D]. University of Maryland, 1996
- [8] Fikes R E, Nilsson N J. STRIPS: A new approach to the application of theorem proving to problem solving[J]. Artificial Intelligence, 1971, 2(3/4):189-208
- [9] Lingard A R, Richards E B. Planning parallel actions[J]. Artificial Intelligence, 1997, 99(2):261-324
- [10] Rintanen J. Complexity of Planning with Partial Observability [C]// Proceedings of the Fourteenth International Conference on Automated Planning and Scheduling. 2004:345-354
- [11] Gu Wen-xiang, Wang Gai-ge, Yin Ming-hao, et al. Research and Development of Plangraph Based on Heuristic State Search[J]. Computer Science, 2009, 36(11):1-9(in Chinese)  
谷文祥,王改革,殷明浩,等.图规划框架下的启发式搜索的研究进展[J].计算机科学,2009,36(11):1-9

- [12] Kautz H, McAllester D, Selman B. Encoding plans in propositional logic[C]//Proc. KR-96. Boston, MA, 1996
- [13] Tate A, Drabble B, Kirby R. O-Plan2: An Open Architecture for Command, Planning and Control [J]. Intelligent Scheduling, 1994; 213-239
- [14] Schattenberg B. Hybrid Planning & Scheduling [D]. Ulm University, 2009
- [15] Nau D S, Cao Yue, Lotem A, et al. SHOP and M-SHOP: Planning with ordered task decomposition[R]. University of Maryland, 2000
- [16] Nau D S, Au T C, Ilghami O, et al. SHOP2: An HTN planning system[J]. Journal of Artificial Intelligence Research, 2003, 20(1); 379-404
- [17] Weld D S. An introduction to least-commitment planning[J]. AI Magazine, 1994, 15(4); 27-61
- [18] Boukhtouts A, Berger J, Guitouni A, et al. Description and Analysis of Military Planning Systems[R]. Defence R&D Canada-Valcartier, 2006
- [19] Fikes R E, Nilsson N J. STRIPS: A new approach to the application of theorem proving to problem solving[J]. Artificial Intelligence, 1971, 2(3/4); 189-208
- [20] Falzon L. Using Bayesian network analysis to support centre of gravity analysis in military planning[J]. European Journal of Operational Research, 2006, 170(2); 629-643
- [21] Du Zheng-jun. Modeling and Resolving Method of Course of Action Planning under Antagonism[D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2012(in Chinese)  
杜正军. 对抗条件下作战行动序列规划问题建模与求解方法[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2012
- [22] Guo Ying. Research on Backwards Generated Goals for Planning [D]. Changchun: Jilin University, 2011(in Chinese)  
郭瑛. 反向产生中间目标的规划算法研究[D]. 长春: 吉林大学, 2011
- [23] Elder R J. Effects-Based Operations: A command philosophy [J]. Air & Space Power Journal, 2007, 21(1); 10-17
- [24] Silverman B G, Bharathy G, Nye B, et al. Modeling factions for 'effects based operations', part II: behavioral game theory[J]. Comput Math Organ Theory, 2008, 14(2); 120-155
- [25] Guo Qi-sheng, Meng Qing-jun, Zhi Zhi-gang, et al. State-space and Application in Effects-based Operations Modeling[J]. Journal of System Simulation, 2008, 20(2); 270-271, 280(in Chinese)  
郭齐胜, 孟庆均, 鄧志刚, 等. 状态空间方程在基于效果作战建模中的应用[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(2); 270-271, 280
- [26] Wagenhals L W, Levis A H. Modeling Support of Effects-Based Operations in War Games [C]//Proceedings of the 7th Command and Control Research and Development Symposium. Naval Post Graduate School, Monterey, 2002
- [27] Pachowicz P W, Wagenhals L W, Pham J, et al. Building and Analyzing Timed Influence Net Models with Internet-Enabled Pythia [R]. System Architectures Laboratory Department of Electrical and Computer Engineering, 2008
- [28] Lemmer J F, Gossink D. Recursive noisy-or: A rule for estimating complex probabilistic causal interactions[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 2004, 34(6); 2252-2261
- [29] Kristensen L M, Mechlenborg P, Zhang Lin, et al. Model-based development of a course of action scheduling tool[J]. Int J Softw Tools Technol Transfer, 2008, 10; 5-14
- [30] Falzon L, Priest J. The Centre of Gravity Network Effects Tool: Probabilistic Modelling for Operational Planning[R]. DSTO Information Sciences Laboratory, 2004
- [31] Dai Xiang, Liu Zhong, Qiao Shi-dong, et al. Course of action programming method for multiple aerial vehicles cooperative attack [J]. Systems Engineering and Electronics, 2012, 34(7); 1406-1411(in Chinese)  
代祥, 刘忠, 乔士东, 等. 多飞行器协同攻击的行动序列规划方法[J]. 系统工程与电子技术, 2012, 34(7); 1406-1411
- [32] Zhang Zui-liang. Methods for Conducting Military Strategic Operational Analysis[M]. Beijing: Military Science Press, 2009(in Chinese)  
张最良. 军事战略运筹分析方法[M]. 北京: 军事科学出版社, 2009
- [33] Pan Guan-sen, Cai You-fei. Research on operational option analysis method[J]. Military Operations Research and Systems Engineering, 2012, 26(3); 19-22(in Chinese)  
潘冠霖, 蔡游飞. 作战选项分析方法研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2012, 26(3); 19-22
- [34] Smith E A. Effects Based Operations [M]. Beijing: Military Science Press, 2007(in Chinese)  
Edward A. Smith. 基于效果作战[M]. 北京: 军事科学出版社, 2007
- [35] Smith E A. Complexity, Networking, and Effects-Based Approaches to Operations [M]. Beijing, National Defence Industry Press, 2010(in Chinese)  
Smith E A. 复杂性、联网和基于效果的作战方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2010
- [36] Rosen J A, Smith W L. Influence Net Modeling with Causal Strengths: An Evolutionary Approach[C]//1996 Command and Control Research and Technology Symposium. 1996
- [37] Zhu Yan-guang, Zhu Yi-fan. Research on target selection method of joint fire strike based on influence network[J]. Military Operations Research and Systems Engineering, 2010, 24(3); 64-69(in Chinese)  
朱延广, 朱一凡. 基于影响网络的联合火力打击目标选择方法研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2010, 24(3); 64-69
- [38] Wang Ai-wen, Yang Min, Duan Hua-lei. Risk modeling and analysis based on casual Bayesian network[J]. Systems Engineering and Electronics, 2013, 35(5); 1023-1030(in Chinese)  
王爱文, 杨敏, 段华蕾. 基于因果贝叶斯网络的风险建模与分析[J]. 系统工程与电子技术, 2013, 35(5); 1023-1030
- [39] Rafi M F, Zaidi A K, Levis A H. Optimization of actions in activation timed influence nets[J]. Informatica, 2009, 33(3); 285-296
- [40] Zaidi A K, Mansoor F, Papantoni-Kazakos P. Theory of Influence Networks[J]. Journal of Intelligent and Robotic Systems, 2010, 60(3); 457-491
- [41] Zhu Y G, Lei Y L. Stochastic timed influence nets[C]//2010 International Conference on Computer Application and System Modeling. Taiyuan, 2010; V12-634-V12-638
- [42] Haider S, Levis A H. Modeling Time-varying Uncertain Situations Using Dynamic Influence Nets[J]. International Journal of Approximate Reasoning, 2008, 49; 488-502
- [43] Papantoni-Kazakos P, Zaidi A K, Rafi M F. An Algorithm for Activation Timed Influence Nets[C]//IEEE International Conference on Information Reuse and Integration. Las Vegas, 2008; 319-324

- 2014;1891-189
- [69] Sun Y, Chen Y, Wang X, et al. Deep learning face representation by joint identification-verification[C]//Advances in Neural Information Processing Systems. 2014;1988-1996
- [70] Sun Y, Wang X, Tang X. Deeply learned face representations are sparse, selective, and robust [C] // 2015 IEEE Conference on CVPR. 2015;2892-2900
- [71] Sawada Y, Kozuka K. Transfer learning method using multi-precision deep Boltzmann machines for a small scaledataset[C]//2015 14th IAPR International Conference Machine Vision Applications (MVA). 2015;110-113
- [72] Tang Jie-xiong, Deng Chen-wei, Huang Guang-bin, et al. Compressed-Domain Ship Detection on Spaceborne Optical Image Using Deep Neural Network and Extreme Learning Machine [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2015, 53(3), 1174-1185
- [73] Chen Xue-yun, Xiang Shi-ming, Liu Cheng-lin, et al. Aircraft Detection by Deep Belief Nets[C]//2013 2<sup>nd</sup> IAPR Asian Conference on ACPR. 2013;54-58
- [74] Chen Xue-yun, Xiang Shi-ming, Liu Cheng-lin, et al. Vehicle Detection in Satellite Images by Parallel Deep Convolutional Neural Networks[C]//2013 2<sup>nd</sup> IAPR Asian Conference on Pattern Recognition (ACPR). 2013;181-185
- [75] Wu G, Kim M, Wang Q, et al. Scalable High Performance Image Registration Framework by Unsupervised Deep Feature Representations Learning[J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2016, 63(7):1
- [76] Xu Yan, Mo Tao, Feng Qi-wei, et al. Deep learning of feature representation with multiple instance learning for medical image analysis [C] // IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). 2014;1626-1630
- [77] Ouyang Wan-li, Wang Xiao-gang, Zeng Xing-yu. Deep-ID-Net: Deformable deep convolutional neural networks for object detection[C]//IEEE Conference on CVPR, 2015;2403-2412
- [78] Girshick R, Donahue J, Darrell T, et al. Rich Feature Hierarchies for Accurate Object Detection and Semantic Segmentation[C]//IEEE Conference on CVPR, 2014;580-587
- [79] Girshick R. Fast-R-CNN[J]. arXiv;1504.08083v2
- [80] Larsson G, Maire M, Shakhnarovich G. FractalNet: Ultra-Deep Neural Networks without Residuals[J]. arXiv;1605.07648v1
- [81] Gary Stix[OL]. <http://www.scientificamerican.com/article/deep-learning-is-the-a-i-breakthrough-we-ve-been-waiting-for>

(上接第 12 页)

- [44] Cheng Kai, Zhang Hong-jun, Zhang Rui, et al. Calculation of operation task effectiveness based on extended timed influence nets [J]. Systems Engineering and Electronics, 2012, 34(12):2492-2497 (in Chinese)  
程恺, 张宏军, 张睿, 等. 基于扩展时间影响网络的作战任务效能计算方法[J]. 系统工程与电子技术, 2012, 34(12):2492-2497
- [45] Cheng Kai, Zhang Hong-jun, Zhang Rui. A Task-resource Allocation Method Based on Effectiveness [J]. Knowledge-Based Systems, 2013, 37(1):196-202
- [46] Haider S, Levis A H. Effective Course-of-Action Determination to Achieve Desired Effects[J]. IEEE Transactions On Systems Man and Cybernetics Part A: Systems and Humans, 2007, 37(6):1140-1150
- [47] Levis A H, Haider S. Finding effective courses of action using particle swarm optimization [C] // IEEE World Congress on Computational Intelligence. 2008;1135-1140
- [48] Helsinki A J. The systems concepts in military operations-discussion of critique[C]//IEEE International Systems Conference (SysCon). 2013
- [49] Humbert M. Adopt the Effects-Based Approach to Operations? [J]. Defense Nationale et Securite Collective, 2008, 64:102-112
- [50] Du Zheng-jun, Chen Chao, Jiang Xin. Modeling and solution of course of action based on influence net and sequential game[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2013, 33(1):215-222 (in Chinese)  
杜正军, 陈超, 姜鑫. 基于影响网络与序贯博弈的作战行动序列模型与求解[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(1):215-222
- [51] Du Zheng-jun, Chen Chao, Jiang Xin. Modeling and solution method of course of action based on influence net and multi-stage games with incomplete information [J]. Journal of National University of Defense and Technology, 2012, 34(3):63-67 (in Chinese)  
杜正军, 陈超, 姜鑫. 基于影响网络与不完全信息多阶段博弈的作战行动序列模型及求解方法[J]. 国防科技大学学报, 2012, 34(3):63-67
- [52] Levchuk G M, Levchuk Y N, Pattipati K R, et al. Normative Design of Project-Based Organizations—Part III: Modeling Congruent, Robust, and Adaptive Organizations[J]. IEEE Transactions On Systems Man and Cybernetics Part A: Systems and Humans, 2004, 34(3):337-350
- [53] Mou Liang. Dynamic Adaptive Optimization Methodology of C2 Organization Structure under Uncertainty Mission Environment [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2011 (in Chinese)  
牟亮. 不确定使命环境下 C2 组织结构动态适应性优化方法研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2011
- [54] Corban B, Philemon S, Andrew A, et al. Robust Mission Planning[J]. Military Operations Research, 2011, 16(4):5-24
- [55] Wu Yun-peng, Huang Jin-cai, Zhang Wei-ming, et al. Planning modeling and state reasoning in competitive situation[J]. Computer Engineering and Applications, 2011, 47(26):35-41 (in Chinese)  
武云鹏, 黄金才, 张维明, 等. 对抗条件下的计划生成过程建模及状态推理[J]. 计算机工程与应用, 2011, 47(26):35-41
- [56] Li Wei-sheng. Plan recognition method based on intelligent planning[J]. Journal of Chongqing University of Posts and Telecommunications (Natural Science Edition), 2009, 21(4):538-543 (in Chinese)  
李伟生. 基于智能规划的计划识别方法研究[J]. 重庆邮电大学学报(自然科学版), 2009, 21(4):538-543
- [57] Hong J. Plan Recognition through Goal Graph Analysis [J]. Journal of Artificial Intelligence Research, 2001, 15(1):1-30
- [58] Zhou Yun, Huang Jiao-min, Huang Ke-li. A Study on Impact of “Deep Green” on Command and Control[J]. Fire Control & Command Control, 2013, 38(6):1-5 (in Chinese)  
周云, 黄教民, 黄柯棣. 美国“深绿”计划对指挥控制的影响[J]. 火力与指挥控制, 2013, 38(6):1-5