

DOI:10.3969/j.issn.1673-4785.201209051
网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/23.1538.TP.20131012.1814.006.html>

人机协同军事计划技术综述

雷霆, 朱承, 张维明

(国防科技大学 信息系统工程重点实验室, 湖南 长沙 410073)

摘 要: 为了分析人机协同军事计划技术的研究现状, 归纳了具有研究价值的课题方向. 分析了军事计划问题的特性, 总结了人机系统军事计划系统的一般体系结构. 然后对人机协同计划策略在计划过程中行动方案的生成、解释、调整等方面的实现方法进行了概括、比较. 结果表明, 计划器的模型和算法对人机协同策略的实现方式有较大影响. 最后, 指出了基于认知科学的人机任务分工建模技术、不完备计划模型下的人机计划技术、动态不确定环境下的分布式计划技术等是未来可能的研究方向.

关键词: 计划; 人机协同; 军事计划过程; 计划理性; 计划本体

中图分类号: TP18 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-4785(2013)06-0475-07

中文引用格式: 雷霆, 朱承, 张维明. 人机协同军事计划技术综述[J]. 智能系统学报, 2013, 8(6): 475-481.

英文引用格式: LEI Ting, ZHU Cheng, ZHANG Weiming. Summarization of man-machine collaborative military planning technology[J]. CAAI Transactions on Intelligent Systems, 2013, 8(6): 475-481.

Summarization of man-machine collaborative military planning technology

LEI Ting, ZHU Cheng, ZHANG Weiming

(Information System Engineering Major Laboratory, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: For the purpose of analyzing the present research into man-machine collaborative military planning technology, the authors introduced the task directions with large research value. Firstly, the characteristics of the military planning problem were analyzed and the common structure of the man-machine collaborative planning system was summarized. Subsequently, the authors studied and compared the realization methods for the following aspects: the generation, explanation and adjustments for the action plan of the man-machine collaborative planning strategy in the planning process, and the result shows that the model and algorithm of the planner greatly influenced the implementation of the man-machine collaborative strategy. Finally, the authors point out that the modeling technology of the man-machine task division based on cognitive science, along with the man-machine planning technology based on the incomplete planning model and the distributed planning technology under dynamic and uncertain environments represent the future possible direction of the research.

Keywords: planning; man-machine collaboration; military planning process; planning logos; planning ontology

军事计划是指指挥员根据战场态势和所赋予的军事任务, 使用有限的作战资源(兵力、武器装备), 生成一系列行动步骤和相关细节的过程, 包含了多层次(与指挥组织层次对应)、多阶段(计划的生成、分析、执行、调整)、多类型(如资源调度、路径规划)

和多参与方.

军事计划一直是军事决策的核心内容, 指挥部门决策主要围绕着计划的拟制与执行展开. 军事计划环境往往是高度压力、不确定、多目标、目标变化的复杂非线性活动^[1]. 随着现代战争正从机械化向信息化变革, 军事计划问题的复杂程度急剧增加, 能否快速准确地生成计划成为影响战争成败的关键所在.

军事计划问题一直受到多学科领域的关注. 心

理与认知科学领域从认知层面研究人做计划的问题求解方式、描述结构^[2],并基于指挥员认知特征提出了军事计划过程模型^[1],但是在时间紧迫的战争环境中,人难以快速处理大量决策细节.其他学科则研究如何使用自动化方法来解决计划问题.人工智能领域中的自动规划能模拟人的计划方式,将计划问题视为搜索生成行动序列,将问题的初始状态转化为目标状态,并做了有限状态、确定性、静态、串行行动等严格问题的假设^[3],而不确定、动态的军事计划问题不能满足这些假设,并且难以建立完备的领域知识,因此无法直接求解.管理科学领域主要使用运筹学的方法对计划问题的相关要素特征进行分析和建模,求解优化结果.

由于军事计划问题是非结构化的问题,问题要素难以被建模和求解.这些自动化方法不能体现指挥员的策略、经验和偏好,并且整个过程对于用户是一个“黑盒”,用户无法控制和理解问题的求解过程.单靠人或自动化的方法均无法解决军事计划问题,若能综合利用人机各自的知识 and 问题的解决能力,则能够处理军事计划中的复杂性和动态性,提高计划质量.因此从多学科交叉的角度出发,分析人和自动化之间如何协同解决军事计划问题,具有重要的理论意义.这不仅能够有助于军事计划问题的求解,还能够解决此类具备不确定性、动态性和对抗性的复杂计划问题,如抢险救灾、商业竞争等.

人机协同计划技术在军事决策中已经得到广泛应用,使军事计划朝着科学、高效、精确的方向发展,其应用的发展可分为 3 个阶段.第 1 个阶段从 20 世纪 90 年代初至 90 年代中期.海湾战争之后, dARPA 赞助的 ARPI (dARPA-Rome planning initiative) 项目^[4]研究了一系列人机协同计划系统,辅助制定物资调度、应急救援、空军战役等计划,解决了人对计划系统的控制问题.第 2 个阶段从 20 世纪 90 年代中期至 90 年代末,研究重点是增强计划系统的透明性和可指导性,并将应用的范围扩展到计划的全周期,处理层次扩充到非战争军事行动等^[5].第 3 个阶段从 21 世纪初至今,研究人员将人机协同计划应用到特种作战行动^[6]、多国联合行动^[7]等领域,能够解决决策时间紧迫、态势动态变化的计划问题,辅助联合行动计划的协同.

国外学者对人机协同军事计划技术进行了广泛研究,但国内学者在这一领域的研究还局限于对军事计划本体的描述,因此本文主要是在国外学者的相关文献基础上进行综述.

1 人机协同军事计划的一般体系结构

人机协同计划过程既要处理不同层次、不同类

型的决策计算间的影响,又要通过建立人与自动化间的协同来改进解决方案,因此是一个分层、分阶段、迭代递增的解决过程.本文针对军事计划的问题特性,根据人机协同军事计划的流程,提出了人机协同军事计划技术的一般体系结构,如图 1 所示.

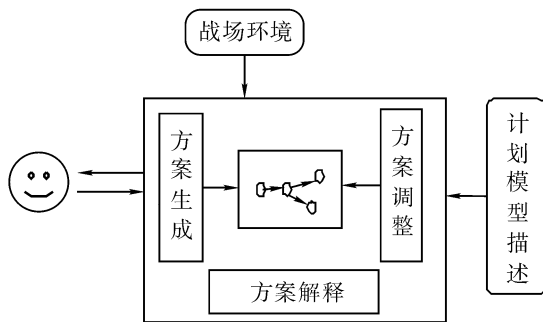


图 1 人机协同军事计划体系结构

Fig.1 The structure of human-machine collaborative planning system

计划模型描述模块提供人机能共同理解的计划描述,是人机协同的基础;方案生成模块提供了计划生成方法;方案调整模块提供方案在战场环境中执行时的动态调整方法;方案解释模块向用户提供方案的决策原因解释和展示.

本文从计划模型描述、行动方案生成、行动方案解释、行动方案调整 4 个方面分析人机协同计划策略在军事计划过程中的应用.

2 计划模型描述

人机协同计划过程中需要让人与系统之间能够交流计划信息,包括计划过程、计划结果等,而传统计划文书和图表无法直接被系统使用,且智能规划中基于状态描述的模型也难以表达复杂军事计划,这就需要研究人机通用的计划模型描述.

人机协同军事计划模型描述通过本体来实现.本体被 Studer^[8]定义为共享概念模型的明确的形式化规范说明,能够被计算机所理解和使用.本体模型分为 2 类:1) 面向过程描述的本体技术,其对计划流程各方面领域知识进行形式化描述,目的是促进不同计划系统、人与系统之间对计划的共同理解,但难以用于组织间的计划协同;2) 面向约束描述的本体技术,其描述联合军事计划,并且增加了对计划理性的表示,用于促进不同军事组织之间的计划协同.其中基本理性描述作出计划决策的原因和依赖的假设,包括 3 类理性^[9]:“因果关系”理性描述领域约束如何被应用的推理步骤;“依赖性”理性描述计划实体真值如何被维护;“决策”理性关注于如何产生其他计划实体的决策和假设.

描述军事计划内容的本体已有大量的研究,代表

性的有 20 世纪 90 年代 dARPA 开发的核心计划描述 CPR^[10],它从过程的角度对计划进行建模,是描述计划、过程、活动通用信息的模型。接着 Gil 等^[11]提出了计划本体 PLANET,能够描述计划上下文和构成计划问题背景的约束、计划问题中关于环境初始状态和目标的信息,并在外部约束和计划承诺之间做了明显区分。

描述军事计划领域中实体(如资源、时间、可视模式)的本体与具体应用相关。Smith^[12]建立了调度领域对象本体 OZONE,能描述活动、资源和相关约束,并建立了在计划器层时间约束网络中“环”的距离约束描述(将它们描述为活动时间相互依赖集、活动次序依赖),用于面向用户的计划解释创建。Lino^[13]提出了用于计划可视化模式的语义模型,包括对可视化模式、计划过程信息、移动显示设备特征、用者 Agent 特征、环境的描述。

在基于本体的计划描述的基础上,研究人员提出了基于约束的联合计划描述方法。Tate^[14]使用基于约束的描述方法,将计划认为是在约束内满足任务目标的设计,提出了<I-N-C-A>计划描述框架(前身是<I-N-OVA>),将计划内容描述为议题(issue)、节点(node)、约束(constraint)和标注(annotation),能被规划器和计划人员所共同理解,并且标注部分能够描述记录计划过程中处理议题的理性。<I-N-C-A>已被应用到多国联合行动计划实验中。

Allen 等^[15]在 PLANET 和<I-N-OVA>计划描述语言的基础上,提出了协同计划模型(collaborative planning model, CPM),使用逻辑描述语言 OWL 形式化描述军事计划内容,并能够描述计划基本理性,适合表达限定计划相关决策的不同形式的上下文信息。

国内的杨建池等^[16]讨论了军事领域本体的构建;钱猛等^[17]描述了本体技术在作战计划系统中的应用。

军事计划模型描述依据本体技术,从面向过程和面向约束 2 种角度出发描述计划内容,为人机协同计划中人机交互提供了计划共享上下文和内容,是进行行动方案生成、解释、校验和调整的基础。

3 行动方案生成

在行动方案生成中,根据计划问题空间的搜索策略的不同可将计划生成方法分为:1)交互约束计划方法,由人机添加各种约束,填补计划细节等^[18];2)基于指导的计划方法,由人提供高层指导,机器快速填充具体实现细节。

3.1 交互约束方法

交互约束方法又可分为层次式和机会式 2 种。前者使用最小承诺策略,人机协同递增、自顶向下地精化;后者是尽可能快地“跳跃”到一个解决方案,机会式地解决计划问题^[2]。层次式计划方法应用于

具备良好层次结构的计划领域,常采用 HTN 这种层次式计划方法^[8],因为 HTN 符合军事计划活动中人的逐层精化思想。机会式计划模型面向的是病态结构计划领域,需要处理动态变化的计划约束。Ferguson 等^[19]借鉴人与人之间协同计划的对话方式,采用混合主动(即系统中“主动性”是共享的,每方都能贡献于计划的开发和管理,而无需被明确要求^[20])的方式机会式地生成计划。Smith^[21]研究了在约束不确定的情况下计划生成的方法,将活动和时序约束描述为简单时序问题(simple temporal problem, STP),约束网络中的时间边,当用户决策增加或调整了约束,约束传播更新受影响的节点边界,从而实现计划的递增式生成。

这种计划模型问题解决的方式是迭代递增的,关注人机交替约束计划的细节。但在实际军事计划中,用户更擅长高层计划策略的探索,而由计划器来填充细节。这种通过目标调整来获得计划的方式更符合指挥员的习惯^[22]。因此研究人员又将注意力投向了基于指导的计划生成方法。

3.2 基于指导的计划方法

基于指导的计划方法可分为:1)基于目标操纵:人根据资源性能和约束,在目标空间中不断调整,由计划器反馈目标的可行性,以搜索到可行的目标^[22];2)基于草图(sketch)的计划方法:人给出高层的问题解决策略(草图),由计划器来快速填充其他的计划内容,或提出策略的修复建议。

基于目标操纵的计划模型主要研究用户级目标描述到计划器目标的转换。Cox 等^[23]描述目标为行动谓词,并基于目标层次定义了目标空间转换操作,包括目标类型转换(如实例化)、目标参数转换和价(valence)转换,并且为使得目标谓词能够为基于状态空间推理的计划器所使用,将目标中的行动映射为计划器中操作符的效果状态文字(literal)。

基于草图的计划模型主要研究如何识别草图,将其转化为计划生成过程和结果上的各类约束和控制。草图可分为:

1)所需计划过程特性。Myer^[24]提出了描述计划高层属性的元级理论,构建了 3 类结构:角色(操作符中对象功能)、特征(操作符属性)和度量,并定义 2 类策略建议^[25]:a)角色建议:指出哪种角色填充是需要的或者限制在具体活动中;b)方法建议:规定或禁止计划内具体活动的使用。为使策略建议能指导计划器,Myer^[25]根据 HTN 计划精化结构,在角色填充满足和活动匹配的概念上定义计划约束满足,并通过考虑 HTN 节点的操作符选择和环境状态、当前部分计划精化结构上下文,将建议约束转化为操作符使用约束和计划过程约束。

2)所需计划结果特性。Myer 等^[26]以 HTN 作为

计划算法基础,使用一阶谓词描述要完成的任务,并提出草图扩充算法:先使用演绎式的计划识别方法,将草图中各成分关联到候选高层目标,再基于此关联将所选高层目标集扩展为全部计划.Kott^[27]研究了将军事行动时空策略扩展为可执行计划的方法,基于 HTN 将行动、调度等计算紧密交叉递增,分解当前任务,产生受限递增的任务集,再由调度步骤执行时序约束传播,并调度新增加活动到可用资源和时间阶段。

基于目标操纵的计划方法能够处理计划目标在态势动态变化下需动态调整的情况,这种方法可根据资源性能约束灵活调整目标,但其缺点是将用户和计划细节完全隔开.基于草图的计划方法能够指出计划过程和结果需要实现的策略,但是草图中可能存在的 inconsistency (如多个建议之间的冲突)会增加对草图的反复调整过程。

表 1 列举了本节所讨论的行动方案生成技术。

表 1 行动方案生成技术
Table 1 Plan generation technology

生成策略	计划模型	典型系统
层次式	HTN	PASSAT
机会式	STP 约束网络	Comirem
基于目标	状态空间计划器	Trans/prodigy
计划过程草图	HTN	PASSAT
计划结果草图	HTN	CADET, PASSAT

行动方案生成的研究从智能规划技术出发,通过将人对规划算法细节的操纵和高层策略的指导实现,在计划中体现人的经验、偏好,其中基于指导的计划方法避免了人在计划细节调整中可能存在的前后不一致性,能够快速生成行动计划.但是这种方式限制了用户对细节调整的灵活性,在实际应用中需要其与交互约束计划方法结合使用。

4 行动方案解释

在生成行动方案的过程中,系统需向用户提供对计划系统决策的解释,并对计划内容进行抽象、概括和展示.解释一方面能增强用户对系统方案的理解和信任,另一方面当系统决策失败时,对问题原因的解释能够让用户选择可行的修复策略。

当系统需要向用户解释问题解决过程中的搜索失败或方案不一致时,通常使用抽象领域模型将内部的系统描述映射到用户级的行动中,映射方式与底层计划系统描述和上层本体相关。

目前的系统解释研究多集中于基于约束推理的计划器上的产生约束冲突的解释.Smith 等^[28]利用时间约束网络中“环”在距离约束上的结构,通过计算形成解释的约束集和识别用户能用来解决调度中

冲突的约束松弛选项,提供内容创建关于冲突的解释.Siebra^[29]以 <I-N-C-A> 计划本体为基础,通过捕获与计划的约束处理失败相关联的事件,为事件获取解释模板并将其实例化,为计划的失败作出解释.但这种面向用户的解释技术目前较少被研究,较多的是集中于面向底层描述的解释技术,如在约束满足问题解决领域解释的创建通常是面向单个决策变量和约束^[30]。

除了向用户提供计划决策解释之外,计划系统还需以多视角将计划视图展现给用户.包括:1) 计划内容的多种视角.常用的计划视角类型包括:任务(行动网络)视角、资源视角、时空视角等.2) 面向用户角色的多视角.不同职责权限人员的计划视图不同.3) 面向显示设备的多视角.Lino^[13]使用计划可视化的语义模型和推理机制来支持协同计划中的多模可视化.该方法从可视化角度来组织和建模计划领域,并且为信息描述提供了可裁剪的支持。

当计划方案的要素数量众多并且难以展现时,需要经过近似、抽象等操作,使得用户能够理解计划方案的特征.常使用的方法有:1) 近似计划结果,以简化视图.如 Bresina^[31]中对于计划调度结果数量巨大、具有灵活开的始时间范围,设计的视图中只显示调度的固定开始时间;2) 提取计划统计特征.如 Myer^[32]提出了兴趣时序属性概括 (summarization of interesting temporal properties, SITP) 的框架,对计划中的时序特征(如任务频率、时序模式)进行分析,以提升用户对计划的理解.3) 提取计划高层特征.如 Myer^[24]研讨了利用计划元理论从计划结果中抽取高层属性的可能。

表 2 罗列了所讨论的行动方案解释技术。

表 2 行动方案解释技术
Table 2 Plan explanation technology

解释方式	解释技术
计划决策解释	基于约束推理、事件解释模板
计划视图多视角展现	计划可视化语义模型和推理
计划视图抽象展示	统计特征和高层属性提取

行动方案解释技术是研究如何将智能规划系统的问题解决过程和问题的解决结果以用户可理解的方式展现的方法,其中关于对系统生成计划的抽象、概括方面的研究目前还较少。

5 行动方案调整

在执行方案后,由于战场环境的动态变化,

计划执行可能会受到阻碍或需处理新目标,这就需要及时对行动方案进行调整,以使方案能够适应战场环境。

战场的态势信息是海量和动态变化的,需将与计划执行相关的信息过滤、传递给用户,使用户决定如何调整计划。监控的内容不仅包括方案中行动的执行状况,还包括计划所依赖的基本理性(即所依赖的事实和假设)相关信息。

监控信息是由计划结构中行动间的因果关系、行动与事实间的依赖关系、决策理性等理性推导得出,与计划器的形式化描述和推理方式相关。Drabble 等^[33]采用因果链接描述计划的结构,记录计划中行动的效果和行动间的依赖关系(一个行动效果建立后面某些行动的前提),通过行动前提将计划相关信息过滤给用户,并根据计划修复上下文(行动当前进度),从目标结构推导行动执行失败与外界事件对行动的影响范围;Myer^[34]基于 HTN 计划结构,从每一个节点搜集动态的(如部队运动位置)且没被包含在先前节点效果中的前提条件作为监视内容;Veloso 等^[35]在基于状态空间的计划器(基于后向链方式)算法中的决策点(行动选择、行动实例化、子目标选择)处创建 3 类影响决策的信息监视:子目标、行动可行性前提和行动量化前提监视;Asuncion 等^[36]在部分序因果链接(partial order causal link, POCL)计划算法中,记录了行动间因果关联和每个因果关联被加入的时间顺序点(chronological point)作为计划理性,并在环境状态中文字(literal)或行动效果中文字被删时,为受影响的因果关联创建重计划子目标,推导无法执行行动和与其相关的不稳定行动;Susanne^[37]的混合计划技术结合了层次规划和对行动间因果依赖的明确推理,反应了当人在拟制计划时所执行的推理,使得失败方案能够被以一种保证稳定性的方式修复。

由于单行动的失败不足以反映对复杂的战场环境中的计划障碍,因此还需要用户补充给出需要监控的内容。Myer^[34]归纳了 2 种高层失败模式:1)聚合级失败:在许多情况下单个行动失败并不影响聚合级的失败;2)不可归属失败:虽然单个行动没有失败,但是评估认为计划不适合,但还有更多的高层失败模式需要归纳。

当用户通过计划监控发现计划执行受阻或出现新的目标时,必须及时修改计划以适应新的态势。当前研究中计划修复的主要原则是:修复过程应当尽量重用原计划内容,计划修复对原计划扰动最小,以保持原有计划的稳定性^[38]。由于计划受到阻碍的原因可能是复杂的,因此用户的参与对于保证计划的动态调整过程满足用户的需求和偏好也是必要的^[34]。

人机协同计划修复过程根据人机分工不同,可分为 2 种类型:1)相互约束的修复。Drabble 等^[33]对

于被外界破坏的计划因果链接,通过寻找已有的可能促成因素或添加新的行动来插入合适效果,提供修复选择,由用户选择合适行动;Myer^[34]基于对计划依赖结构的分析,确定失败来源的根节点集,并为根节点重计划其子任务节点;Veloso^[35]等对于计划监视被触发的情况,动态创建控制规则,启发重引导计划空间的搜索,以执行计划的转换操作(增加、删除、跳转);Asuncion^[36]允许失败后先由用户给出修复建议(增删行动、增删目标),这些修复对计划造成影响(相关行动被增加、删除或变为不稳定,或重计划子目标被增加),系统利用具有时间戳的因果关联来局部性地修复计划。2)基于高层指导的修复。Myer 等^[34]为了支持对不可归属等高层失败的修复,允许用户能直接指定需要重新规划的根节点,并支持用户直接给出基于策略建议^[25]的计划修复指导;对于环境变化或资源问题造成目标无法完成的情况,Cox 等^[23]直接对目标进行转换,实现全局的重计划。

表 3 列出了所讨论的行动方案调整技术。

表 3 行动方案调整技术
Table 3 Plan repair technology

计划模型	监视信息	修复技术
计划因果链结构	行动前提	寻找行动选项修复因果链,用户选择行动
HTN	行动前提条件	重计划失败源节点
状态空间计划器	决策点前提	动态创建控制规则,引导计划空间重搜索;或转换目标全局重计划
部分序因果链接计划器	行动间因果关联	系统根据用户修复建议,局部重计划
混合计划器	行动间层次和因果关联	用层次规划和行动间因果依赖推理来修复

目前行动方案调整研究的思路是依据计划中包含的理性知识对计划的执行进行监控和局部修复调整,以保持计划的稳定性,在此过程中人能够给出不同层次的建议。然而在联合行动中,由于外部的 agent 可能将其自身的计划基于该 agent 所陈述的意图(承诺),所以计划修复质量的度量还与 agent 维持计划承诺相关联^[39]。但目前缺乏对维持计划承诺度量下的人机协同方案调整的研究。

6 总结和展望

从文中介绍可以看出人机协同军事计划系统研究方兴未艾,这项技术是充分发挥人机性能、提高军事指挥效能的有效手段,成为了军事辅助决策技术

中的一项重要研究内容,在今后若干年中仍会是一个研究热点,未来存在的技术趋势有以下几点:

1) 基于认知科学的计划过程中的人机任务分工.目前的计划系统缺乏对军事计划环境下人的认知特性和负荷、操作方式的量化分析,应借鉴人机协同决策^[40] (human-machine collaborative decision making, HMCDM) 和以人为中心的自动化(human-centered automation) 中的研究;对军事行动计划生成中的人机任务分工进行量化分析^[40];对军事计划过程中人的操作进行建模^[41];确定计划中人和系统的交互设计,降低用户的认知偏差和负担;研究以人为中心的计划拟制技术,以满足透明度、适度调整和基于事件反馈等原则^[42].

2) 不完备计划模型下的计划技术.当前的人机协同计划中的系统仍需要完整的计划领域知识描述,在面临计划模型不完备时,无法生成有效的行动方案.未来应研究在不完备计划知识下人机如何协同生成计划,降低计划方案对知识不完备情况的敏感性.借鉴轻量级的计划技术^[43],以降低领域建模负担.研究在计划、目标和偏好被完全定义之前,如何将计划集成到一个迭代过程中^[44];研究如何基于领域相关特征,生成多样性的计划方案^[45];研究如何使用机器学习技术,使计划系统在计划过程中学习用户实施计划的经验和偏好,系统还应能够学习计划案例,提取其中的计划理性.

3) 动态不确定环境下的分布式人机协同计划技术.当前大部分研究关注单人单机计划的生成,难以在未来战争复杂的组织计划环境中使用.应当研究动态不确定混合主动环境的分布式计划,在分布环境下灵活地计划、重计划和任务分配^[7].

总之,人机协同计划是解决军事行动计划问题的有效途径,是在未来战争中保持决策优势的重要方法.将人工智能、认知科学、决策科学和运筹学从不同学科角度对计划的研究结合起来,将是未来人机协同军事计划技术研究的主要方式.

参考文献:

- [1] KLEIN G A, ORASANU J, CALDERWOOD R, et al. Decision making in action: models and methods [M]. Norwood: Ablex Publishing, 1993: 138-147.
- [2] ROTH H, PERRAULT B. A cognitive model of planning [J]. Cognitive Science: A Multidisciplinary Journal, 1979, 3(4): 275-310.
- [3] GHALLAB M, NAU D, TRAVERSO P. Automated planning: theory and practice [M]. San Fransisco: Morgan Kaufmann, 2004: 9-11.
- [4] TATE A. Advanced planning technology: technological achievements of the ARPA/Rome laboratory planning initiative [M]//Menlo Park: AAAI Press, 1996: 3-10.
- [5] MUÑOZ-AVILA H, AHA D W, BRESLOW L, et al. HICAP: an interactive case-based planning architecture and its application to noncombatant evacuation operations [C]//Proceedings of the Eleventh Conference on Innovative Applications of Artificial Intelligence. Menlo Park: AAAI Press, 1999: 879-885.
- [6] MYERS K L, TYSON W M. PASSAT: a user-centric planning framework [C]//Proceedings of the 3rd International NASA Workshop on Planning and Scheduling for Space. Houston, USA, 2002: 1-10.
- [7] KOMENDA A, VOKRINEK J, PECHOUCEK M, et al. I-Globe: distributed planning and coordination of mixed-initiative activities [C]//Proceedings of Knowledge Systems for Coalition Operations (KSCO). [S.l.], UK, 2009.
- [8] STUDER R, BENJAMINS V R, FENSEL D. Knowledge engineering, principles and methods [J]. Data and Knowledge Engineering, 1998, 25(1/2): 161-197.
- [9] POLYAK S, TATE A. Rationale in planning: causality, dependencies and decisions [J]. Knowledge Engineering Review, 1998, 13(3): 247-262.
- [10] PEASE A, CARRICO T. JTF ATD core plan representation, SS-97-06 [R]. Menlo Park, 1997.
- [11] GIL Y, BLYTHE J. PLANET: a shareable and reusable ontology for representing plan [C]//Proceedings of the AAAI Workshop on Representational Issues for Real World Planning Systems. Menlo Park: AAAI Press, 2000: 28-33.
- [12] SMITH S F, BECKER M A. An ontology for constructing scheduling systems [C]//Working Notes of 1997 AAAI Symposium on Ontological Engineering. Menlo Park: AAAI Press, 1997: 120-129.
- [13] LINO N, TATE A, CHEN-BURGER Y H. A visualization approach for collaborative planning systems based on ontologies [C]//Proceedings of the Eighth International Conference on Information Visualization. Washington DC, USA, 2004: 807-811.
- [14] TATE A. <I-N-C-A>: an ontology for mixed-initiative synthesis tasks [C]//Proceedings of the Workshop on Mixed-Initiative Intelligent Systems (MIIS) at the International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-03). Acapulco, Mexico, 2003: 125-130.
- [15] DORNEICH M C, MOTT D, BAHRAMI A, et al. Lessons learned from an evaluation of a shared representation to support collaborative planning [C]//Proceedings of Knowledge Systems for Coalition Operations (KSCO 2012). [S.l.], USA, 2012.
- [16] 杨建池, 韩守鹏, 黄柯棣. 军事领域本体构建研究 [J]. 计算机仿真, 2007, 24(12): 6-9.
YANG Jianchi, HAN Shoupeng, HUANG Kedi. Research on military domain ontology development [J]. Computer Simulation, 2007, 24(12): 6-9.
- [17] 钱猛, 刘忠, 姚莉, 等. 本体技术在作战计划系统中的应用 [J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(16): 18-23.
QIAN Meng, LIU Zhong, YAO Li, et al. Survey for COA

- ontological technologies in military planning system[J]. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(16): 18-23.
- [18] KLAU G W, LESH N, MARKS J, et al. Human-guided search[J]. Journal of Heuristics, 2010, 16(3): 289-310.
- [19] FERGUSON G, ALLEN J F, MILLER B. TRAINS-95: towards a mixed-initiative planning assistant[C]//Proceedings of the Third Conference on Artificial Intelligence Planning Systems. Menlo Park; AAAI Press, 1996: 70-77.
- [20] BURSTEIN M H, MCDERMOTT D V. Issues in the development of human-computer mixed-Initiative planning systems[M]//Berlin; Elsevier, 1996: 285-303.
- [21] SMITH S F, HILDUM D W, CRIMM D R. Comirem: an intelligent form for resource management[J]. IEEE Intelligent Systems, 2005, 20(2): 16-24.
- [22] ZHANG C. Cognitive models for mixed-initiative planning [D]. Dayton, USA; Wright State University, 2002: 11-14.
- [23] COX M, VELOSO M. Controlling for unexpected goals when planning in a mixed-initiative setting[C]//Proceedings of 8th Portuguese AI Conference. Coimbra, Portuguese, 1997: 309-318.
- [24] MYERS K L. Metatheoretic plan summarization and comparison[C]//Proceedings of the 16th International Conference on Automated Planning and Scheduling. Menlo Park, USA, 2006: 182-192.
- [25] MYERS K L. Strategic advice for hierarchical planners [C]//Principles of Knowledge Representation and Reasoning; Proceedings of the Fifth International Conference. San Francisco; Morgan Kaufmann Publishers, 2006: 112-123.
- [26] MYERS K L. Abductive completion of plan sketches[C]//Proceedings of the Fourteenth National Conference on Artificial Intelligence. Menlo Park, USA, 1997: 687-693.
- [27] KOTT A. Building a tool for battle planning: challenges, tradeoffs, and experimental findings[J]. Applied Intelligence, 2005, 23(3): 165-189.
- [28] SMITH S F, CORTELLESA G, HILDUM D W, et al. Using a scheduling domain ontology to compute user-oriented explanations[C]//16th European Conference on Artificial Intelligence Workshop on Planning and Scheduling; Bridging Theory to Practice. Valencia, Spain, 2004: 179-188.
- [29] SIEBRA C A. A united approach to planning support in hierarchical coalitions[D]. Edinburgh; University of Edinburgh, 2006: 87-91.
- [30] JUSSIEN N, BARICHARD V. The PaLM system: explanation-based constraint programming [C]//Proceedings of Techniques for Implementing Constraint Programming Systems. Singapore, 2000: 118-133.
- [31] BRESINA J L, JÓNSSON A K, MORRIS P H, et al. Mixed-Initiative planning in MAPGEN: capabilities and shortcomings [C]//Proceedings of the ICAPS-05 Workshop on Mixed-initiative Planning and Scheduling. Menlo Park, USA, 2005: 54-61.
- [32] MYERS K L. Temporal summarization of plans[C]//Proceedings of the ICAPS-2007 Workshop on Moving Planning and Scheduling Systems into the Real World. Menlo Park, USA, 2007.
- [33] DRABBLE B, TATE A. Repairing plans on the fly[C]//Proceedings of the NASA Workshop on Planning and Scheduling for Space. Oxnard, USA, 1997.
- [34] MYERS K L. CPEF: a continuous planning and execution framework[J]. AI Magazine, 1999, 20(4): 63-69.
- [35] VELOSO M M, POLLACK M E, COX M T. Rationale-based monitoring for planning in dynamic environments [C]//Proceedings for the Fourth International Conference on AI Planning Systems. Pittsburgh, USA, 1998: 171-179.
- [36] ASUNCION M, CASTILLO L, FERNANDEZ-OLIVARES J, et al. Local (human-centered) replanning in the SIADEX framework[C]//Conference of the Spanish Association for Artificial Intelligence. San Sebastian, Spain, 2003: 79-88.
- [37] BIUNDO S, BIDOT J, SCHATTENBERG B. Planning in the real world[J]. Informatik Spektrum, 2011, 34(5): 443-454.
- [38] NEBEL B, KOEHLER J. Plan reuse versus plan generation: a theoretical and empirical analysis[J]. Artificial Intelligence, 1995, 76(1/2): 427-454.
- [39] CUSHING W, KAMBHAMPATI S. Replanning: a new perspective[C]//Proceedings of the International Conference on Automated Planning and Scheduling. Monterey, USA, 2005: 13-16.
- [40] MALASKY J S. Human machine collaborative decision making in a complex optimization system[D]. Cambridge, USA; Massachusetts Institute of Technology, 2005: 44-51.
- [41] GANAPATHY S. Human-centered time-pressured decision making in dynamic complex systems[D]. Dayton, USA; Wright State University, 2006: 21-36.
- [42] LEIFLER O. Combining technical and human-centered strategies for decision support in command and control: the comPlan approach[C]//Proceedings of the 5th International ISCRAM Conference. Washington, DC, USA, 2008: 504-515.
- [43] KAMBHAMPATI S. Model-lite planning for the web age masses: the challenges of planning with incomplete and evolving domain models [C]//Proceedings of the 22th AAAI Conference on Artificial Intelligence. Vancouver, Canada, 2007: 1601-1604.
- [44] SMITH D E. Planning as an iterative process[C]//Proceedings of the 26th AAAI Conference on Artificial Intelligence. Toronto, Canada, 2012: 2180-2185.
- [45] COMAN A, MUÑOZ A H. Qualitative vs. quantitative plan diversity in case based planning[C]//Proceedings of IC-CBR 2011. London, UK, 2011: 32-46.