

文章编号:1001-2486(2011)03-0134-06

C⁴ISR 体系结构服务视图及其演化的形式化描述方法^{*}

王磊,罗雪山,舒振

(国防科技大学 信息系统工程重点实验室,湖南 长沙 410073)

摘要:为描述“网络化作战”中 C⁴ISR 系统资源的动态集成过程,实现作战任务过程与军事系统资源的分离,在 DoDAF2.0、NATOAFv3.0、MoDAF1.2 等体系结构框架研究基础上,提出了一种 C⁴ISR 体系结构服务视图描述框架。通过服务视图产品的形式化描述,分析了服务视图产品间的逻辑关系,为应对作战任务过程调整重点研究了基于 OWL-S 的服务交互过程模型形式化描述方法,将服务交互过程模型的演化描述转化为本体描述的变化操作,最后从基本变化和组合变化操作对服务交互过程的演化描述进行了分析。

关键词:C⁴ISR 体系结构;服务视图;面向服务;形式化描述

中图分类号:E072 **文献标识码:**A

Formalized Description of Service View and Evolution Within C⁴ISR Architecture

WANG Lei, LUO Xue-shan, SHU Zhen

(Science and Technology on Information Systems Engineering Laboratory, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: In order to describe the dynamic integration of C4ISR system resource and implement decoupling between operational process and military system resource, a service view within C4ISR architecture framework based on the research on DoDAF2.0, NATOAFv3.0 and MoDAF1.2 is proposed. Through the formalized description of service view products, this study firstly analyzes the logical relationship between the products within service view. Especially it emphasizes on the formalized description of service interaction process based on OWL-S specification to adapt to the change of operational process. Furthermore, this paper transforms the evolution description of service interaction process to the change operation of process's ontology description and analyzes the evolution description through the basic and composite change operation finally.

Key words: C⁴ISR architecture; service view; service oriented; formalized description

基于“作战视图、系统视图、技术视图”等多视图描述的 C⁴ISR 体系结构框架^[1],通过作战活动与系统功能之间的映射关系,提供了一种面向具体作战任务过程的 C⁴ISR 系统资源集成机制,以描述未来“网络化作战”中 C⁴ISR 系统资源间的动态集成过程,支持作战任务过程的动态调整。

为描述和支持“网络中心战”的作战概念,实现从“基于威胁”转向“基于能力”转变的未来战略,针对 DoDAF1.5 在描述网络化作战过程中存在的不足,美国国防部颁布了 DoDAF2.0^[2-4],其中增加了服务视图的描述内容:SvcV-1 服务上下文描述、SvcV-2 服务资源流描述、SvcV-3a 系统与关系矩阵、SvcV-3b 服务与服务间关系矩阵、SvcV-4 服务功能描述、SvcV-5 作战活动与服务间追溯矩阵、SvcV-6 服务资源流矩阵、

SvcV-7 服务指标矩阵、SvcV-8 服务演化描述、SvcV-9 服务技术及能力预测、SvcV-10a 服务规则模型、SvcV-10b 服务状态转移描述、SvcV-10c 服务事件跟踪等描述产品及其元模型。DoDAF2.0 中服务描述内容过于分散,涉及多达十几个产品,同时缺乏对产品间的逻辑关系的分析,难以实现服务视图产品的演化描述来支持作战任务过程的调整。北约组织针对未来联合作战过程中各成员国军事系统资源之间动态集成中存在的问题,在 DoDAF 研究基础上提出了 NATOAFv3.0^[5-7],增加了 NSOV-1 服务分类、NSOV-2 服务定义、NSOV-3 服务与作战活动映射、NSOV-4 服务编排、NSV-12 服务实现等与服务相关的描述产品。另外,英国国防部体系结构框架 MoDAF1.2^[8]在 NATOAFv3.0 基础上也增加

^{*} 收稿日期:2010-09-25

基金项目:国家自然科学基金资助项目(70601036);“十一五”国家省部基金资助项目

作者简介:王磊(1980—),男,博士生。

了服务视图描述内容。

1 C⁴ISR体系结构服务视图描述框架

1.1 C⁴ISR体系结构中服务视图的相关定义

定义 1 C⁴ISR体系结构中服务的扩展定义^[6]:通过一系列的工作、程序,服务提供者可以给服务消费者提供功能或完成作战活动等可用结果(Useful Result),包括信息支持、系统应用以及战场环境中作战效果等。服务提供者涵盖了C⁴ISR系统中涉及的各类信息系统、武器装备以及作战人员等军事资源。

定义 2 C⁴ISR体系结构服务视图:以面向服

务的视角对C⁴ISR系统中能够提供的众多服务及其之间关系的识别和描述,包括服务本身的描述、服务分类管理、服务间交互过程以及服务所支持的作战活动、服务与系统视图中资源实现等内容。

1.2 C⁴ISR体系结构服务视图描述框架

为实现作战视图中作战任务过程与系统视图中军事系统资源之间的分离,本文在DoDAF2.0、NATOAFv3.0等体系结构框架的研究基础上,结合C⁴ISR系统在未来联合作战的军事需求,利用NATO体系结构框架元模型(NATO Architecture Framework Metamodel, NMM),提出了C⁴ISR体系结构的服务视图描述框架,见图1。

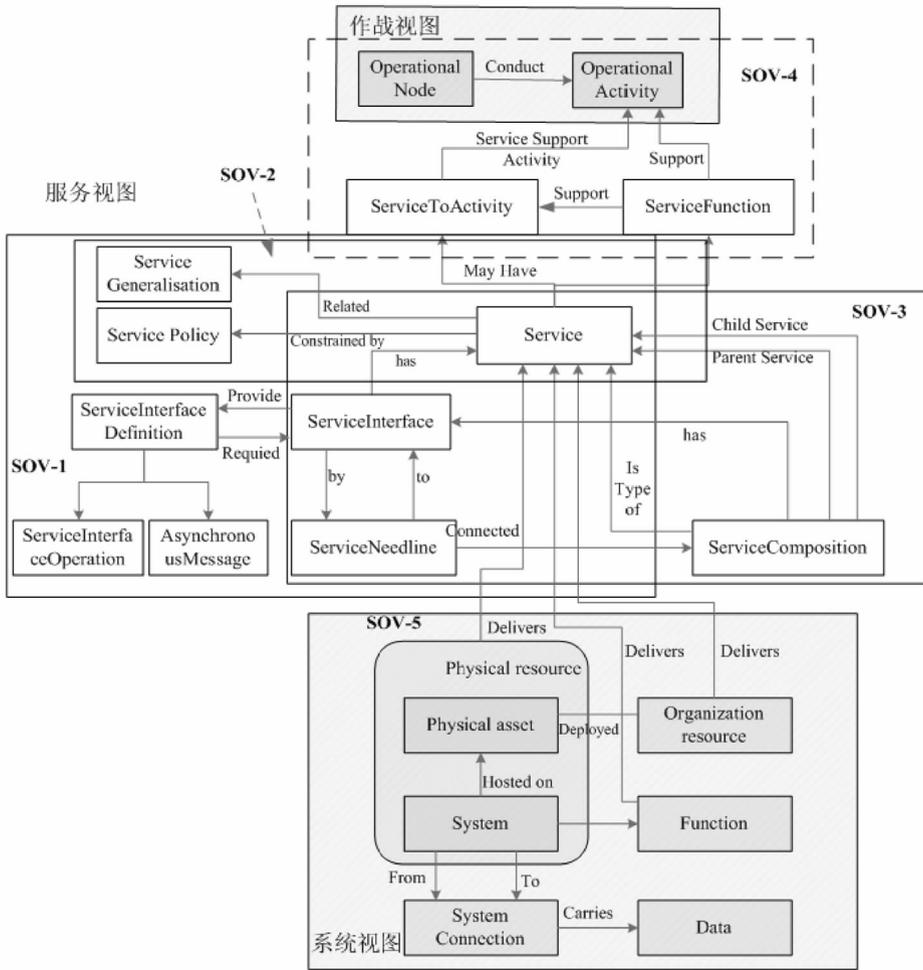


图1 C⁴ISR体系结构服务视图描述框架

Fig.1 Service view description framework within C⁴ISR architecture

服务视图描述产品包括:

- SOV - 1 服务描述,描述服务自身相关内容,包括服务的名称、接口描述、功能描述、性能参数(比如服务质量、可用性等非功能参数)等;
- SOV - 2 服务分类管理,从服务与服务之间的静态结构逻辑关系描述体系结构中涉及的服务之间的关系;
- SOV - 3 服务交互过程模型,用于描述服

务与服务之间的动态交互过程;

- SOV - 4 服务与作战活动之间的映射,描述服务与作战视图中作战活动的可追踪信息;
- SOV - 5 服务与系统资源之间的映射,描述服务与系统视图中作战资源的可追踪信息。

2 C⁴ISR 体系结构服务视图产品描述

2.1 SOV-1 服务描述

SOV-1 服务描述,从体系结构自顶向下的设计角度分析,SOV-1 需要描述能够支持作战任务的服务相关属性,包括服务接口、功能以及非功能参数,作为系统视图中具体系统资源的设计需求约束;从 C⁴ISR 系统集成的角度分析,SOV-1 是对遗留系统封装的服务描述,通过分析军事资源所能提供的功能、非功能参数确定服务的接口、功能等服务描述内容。

定义 3 成员服务 (*Member Service*) 为九元组 $MS = (ID, Name, Description, Operation, Provider, Input, Output, Capability, QoS)$ 。其中 *ID* 表示服务标识, *Name* 表示服务名称, *Description* 表示服务的功能或可支持作战活动描述, *Operation* 表示服务提供的操作, *Provider* 表示服务提供者的信息, *Input* 和 *Output* 表示服务的输入、输出参数, *Capability* 表示服务的能力描述(如对于预警信息数据服务, *Capability* 包括预警数据范围、数据类型等), *QoS* 表示服务完成的质量参数(可细化为质量属性、属性值对描述)。

2.2 SOV-2 服务分类管理

SOV-2 服务分类管理,主要分类管理 C⁴ISR 系统中涉及的众多服务。为了便于体系结构设计人员查找相关的服务和 SOV-3 服务交互过程的适应性,SOV-2 采用服务群的概念对体系结构中所涉及的众多服务依据服务提供功能的相似度进行划分。

定义 4 服务群 (*Service Group*) 为七元组 $SG = (ID, Name, Description, Operation, Input, Output, Capability)$,其中 *ID* 表示服务群标识, *Name* 表示服务群名称, *Description* 表示服务群的功能描述, *Operation* 表示服务群提供的操作或支持的作战活动, *Input* 和 *Output* 表示服务群的输入、输出参数, *Capability* 表示服务群的能力描述。SG 中每个服务对应于 SOV-1 中的成员服务 (*MS*),同一 SG 中的服务具有相同的功能和调用接口,所不同的是各 *MS* 的服务提供者信息及服务完成 *QoS* 属性(服务完成的质量等非功能属性)。

2.3 SOV-3 服务交互过程模型

SOV-3 主要描述服务与服务之间的动态交互过程,用于支持作战视图中作战任务过程的执行,需要描述影响服务与服务之间交互过程的规则约束、交互过程中的服务状态变化以及服务交

互过程中的事件响应等事件跟踪过程等内容。为提高体系结构设计的适应性和可靠性,根据应用与具体实现分离的原则,SOV-3 描述完成一类具有相同特征的作战任务或军事信息应用需要执行的任务/步骤,以及这些任务/步骤的执行遵循的次序、作战规则等(本文中称之为服务交互过程模型的一个过程 (*Process*)), *Process* 对应于某个服务群,并不指定具体的 *MS* 实例,避免在作战过程中某一 *MS* 失效导致的整个系统体系结构设计的失效。服务交互过程模型的形式化描述见第 3 节。

2.4 SOV-4 服务与作战活动之间的映射

SOV-4 主要描述体系结构设计中服务视图与作战视图之间的可追溯关系,分析服务支持哪些作战活动,活动由哪些服务支持完成等相关信息。采用可追踪矩阵的形式进行描述,某行某列的元素表示为六元组, $ServiceToActivity = (ID, RelationDescription, ServiceID, ServiceName, ActivityID, ActivityName)$,其中 *ID* 表示映射关系 *ID*, *RelationDescription* 表示映射关系描述内容, *ServiceID*、*ServiceName* 表示服务的 *ID* 和名称, *ActivityID*、*ActivityName* 表示作战活动的 *ID* 和名称。

2.5 SOV-5 服务与系统资源之间的映射

SOV-5 主要描述体系结构设计中服务视图与系统视图之间可追溯关系,分析服务由哪类军事系统资源封装,也可以分析服务在系统视图中的部署信息。采用可追踪矩阵的形式进行描述,某行某列的元素表示为六元组, $ServiceToSystem = (ID, RelationDescription, ServiceID, ServiceName, SystemID, SystemName)$,其中 *ID* 表示映射关系 *ID*, *RelationDescription* 表示映射关系描述内容, *ServiceID*、*ServiceName* 表示服务的 *ID* 和名称, *SystemID*、*SystemName* 表示系统资源的 *ID* 和名称。

本节主要分析 C⁴ISR 体系结构服务视图产品的描述内容,并通过服务视图产品中涉及的主要描述内容进行形式化描述,确定服务视图产品间的逻辑关系。如图 2 所示,SOV-1 中通过成员服务定义和描述体系结构上下文中涉及的服务实例;SOV-2 利用服务群实现对 SOV-1 中成员服务的功能聚类;SOV-3 服务交互过程模型用于支持作战视图中作战任务过程的执行,其中的服务节点对应于 SOV-2 中的某个服务群,而并不指定 SOV-1 中描述的具体成员服务实例;SOV-4 和 SOV-5 用于描述服务视图与作战视图、系统视图之间的可追溯映射关系。通过上述服务视图产品之间的关系,可以解决作战视图中作战任务

过程与系统视图中具体军事系统资源之间的分离,提高体系结构设计的适应性和可靠性。

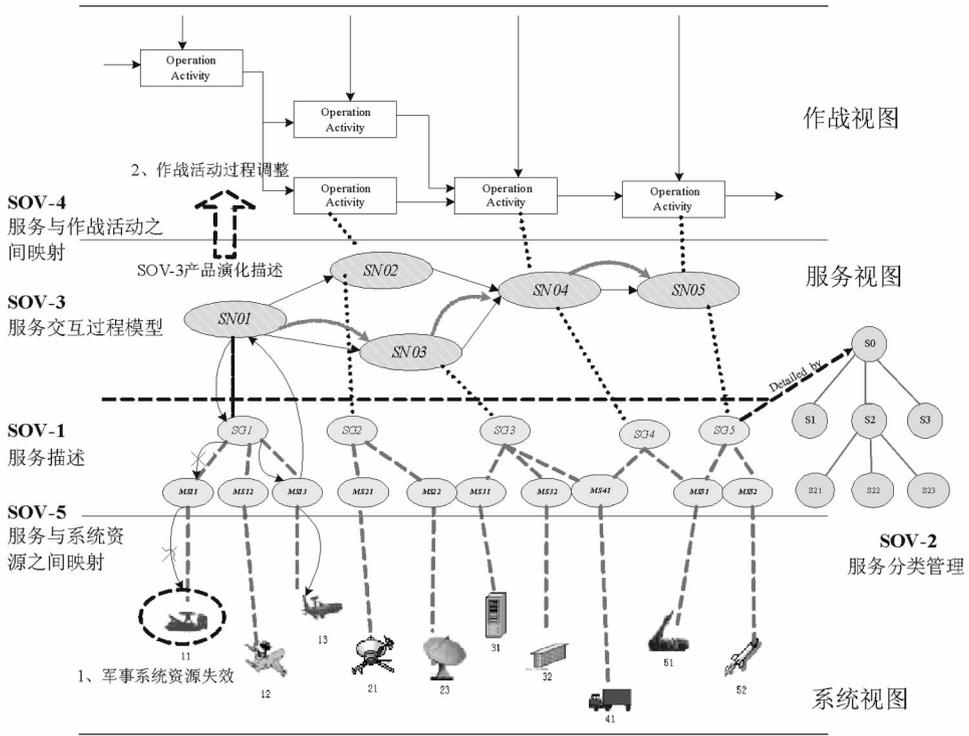


图2 C⁴ISR体系结构服务视图产品间的关系

Fig.2 Relationship between products of service view within C⁴ISR architecture

为了在 C⁴ISR 体系结构设计层面描述和分析“网络化作战”中所对应 C⁴ISR 系统在未来战场运行应用中的演化需求。服务视图中 SOV - 3 产品通过描述服务与服务之间的动态交互过程,可以支持作战视图描述中作战活动过程的完成,因此,在体系结构设计层面,可以利用 SOV - 3 产品演化描述来分析和指导所对应 C⁴ISR 系统运行应用过程中因作战活动过程调整情况造成的系统演化需求和演化过程。

3 服务交互过程的结构化描述

SOV - 3 服务交互过程模型作为服务视图的核心产品,支持作战视图中作战任务过程的执行,当作战视图中作战任务过程调整时,需要分析 SOV - 3 产品的演化描述。为此,本节依据 OWL - S 本体语法规范^[13-15]对 SOV - 3 进行结构化描述,使得 SOV - 3 产品的演化描述可以转化过程本体的变化操作。

定义 5 服务交互过程模型中的过程 (Process) 可以表示为五元组 $Process = \langle Participant, Input, Output, Precondition, Result \rangle$, 其中 *Participant* 表示过程的参与者集合(服务群 SG); *Input* 表示过程输入集合; *Output* 表示过程输出集合; *Precondition* 表示过程前提条件集合; *Result* 表示过程的输出结果集合。

定义 6 SOV - 3 服务交互过程模型 SIP 可以结构化描述为: $SIP = (P, C, CO, F, PER, DF)$, 其中:

(1) *P* 表示服务交互过程模型 SIP 中过程 (Process) 的集合, $P = P_a \cup P_s \cup P_c$, 其中 *P_a*、*P_s* 和 *P_c* 分别表示原子过程、抽象过程和组合过程集合;

(2) *C* 代表 SIP 中控制构造子集合, $C = C_{seq} \cup C_{split} \cup C_{splitjoin} \cup C_{anyorder} \cup C_{choice} \cup C_{ite} \cup C_{rw} \cup C_{ru} \cup C_{per}$ 其中九种符号分别代表 OWL-S 过程模型中 Sequence、Split、Split + Join、Any-Order、Choice、If-Then-Else、Repeat-While、Repeat-Until 和 Perform 等九种类型控制构造子集合,用于描述 Process 之间的关系;

(3) *CO* 表示 SIP 中组合过程与控制构造子关系集合, $\forall cp \in P_c, \forall c \in C, \langle cp, c \rangle \in CO \Rightarrow ComposedOf(cp, c)$;

(4) $F: C \rightarrow 2^C$ 是过程模型 SM 中控制构造子之间的映射函数,用于获取控制构造子的子构造子集合;

(5) $PER \in C_{per} \times P$ 是过程模型中 Perform 类型控制构造子与过程间调用执行关系的集合;

(6) $DF = DF_{val} \cup DF_{bind}$ 是过程模型中数据流集合,其中:

DF_{val} 是赋值型数据流,形式上 $DF_{val} = \{ \langle val, desPer, i \rangle \mid desPer \in PER \wedge i \in desPer.P.Input \}$;

DF_{bind} 是绑定型数据流,形式上 $DF_{bind} = \{ \langle srcPer, o, desPer, i \rangle \mid srcPer, desPer \in PER \wedge o \in srcPer.P.Output \wedge i \in desPer.P.Input \}$ 。

4 服务交互过程演化的结构化描述

首先给出服务交互过程模型的变化操作的定义,结合上面服务交互过程本体描述中涉及的具体元素对其基本变化操作进行抽象和枚举分析,在此基础上对组合变化操作进行进一步分析。

定义 7 服务交互过程模型的变化操作 $ch \in DesChange$ 是服务交互过程本体描述之间的映射,即 $ch: S \rightarrow S'$ 。形式上, $ch = \langle name, args, preconditions, postconditions \rangle$, 其中: $name$ 表示变化操作的名称; $args$ 表示变化操作的参数; $preconditions$ 表示变化操作的前提条件; $postconditions$ 表示变化操作的后续结果。

定义 8 给定服务交互过程的本体描述 S_{ip} 和变化操作 ch , 假设 $S_{ip'} = ch(S_{ip})$, 称变化 ch 在 S_{ip} 上能够成功实施当且仅当: $ch.preconditions(S_{ip}) = true \wedge ch.postconditions(S_{ip'}) = true$ 。

根据变化粒度的不同,变化操作可以划分为基本变化和组合变化两种变化操作。

定义 9 基本变化操作是指仅对服务交互过程本体描述中单个元素修改的变化,基本变化对服务交互过程模型的修改不可分割,不能分解。如果基本变化 ch 对服务交互过程的本体描述中某个元素进行增加扩展称为增性变化,反之称为减性变化。服务交互过程基本变化操作如表 1 所示。

定理 1 对于服务交互过程模型演化描述而言,表 1 所列的基本变化操作集是完备的。

证明: 对于任意的两个服务交互过程模型 $SIP1$ 和 $SIP2$, 可以通过以下两个步骤将 $SIP1$ 修改为 $SIP2$:

(1) 通过如下步骤可以将服务交互过程模型 $SIP1$ 中所有的元素清空:

(a) 通过变化 $ch15(-)$ 删除过程模型中所有的数据流;

(b) 采用变化 $ch11(-)$ 删除过程模型中所有的过程执行;

(c) 采用变化 $ch4(-) \sim ch7(-)$ 删除所有的过程的 $IOPR$ 等属性, 并采用变化 $ch2(-)$ 删除过程模型中所有的过程;

表 1 服务交互过程基本变化操作集

Tab.1 Service interaction process basic change operation collection

服务交互过程描述元素	ch	增性变化 $ch(+)$	减性变化 $ch(-)$	
Name	1	AddName(sip)	RemoveName(sip)	
Process	2	AddProcess(p)	RemoveProcess(p)	
	3	AddParticipant(p, par)	RemoveParticipant(p, par)	
	4	AddInput(p, i)	RemoveInput(p, i)	
	5	AddOutput(p, o)	RemoveOutput(p, o)	
	6	AddPrecondition(p, pre)	RemovePrecondition(p, pre)	
	7	AddResult(p, r)	RemoveResult(p, r)	
	Service Interaction Model	Control	8	AddCtrlConstruct(c)
9			AddCtrlCstrCond($c, cond$)	RemoveCtrlCstrCond($c, cond$)
10			AddComposedOf(p, c)	RemoveComposedOf(p, c)
Construct		11	AddPerform(per, p)	RemovePerform(per, p)
		12	AddSubCtrlCstr(c, c')	RemoveSubCtrlCstr(c, c')
		13	AddSeqCCRel(c, c')	RemoveSeqCCRel(c, c')
		14	AddElseCtrlCstr(c, c')	RemoveElseCtrlCstr(c, c')
Data Flow	15	AddDataFlow(df)	RemoveDataFlow(df)	

(d) 采用变化 $ch9(-)$ 、 $ch10(-)$ 、 $ch12(-) \sim ch13(-)$ 删除所有控制构造子的条件和彼此间的关联;

(e) 最后采用变化 $ch8(-)$ 删除所有的控制构造子。

(2) 显然, 采用与步骤(1)互逆的步骤和增性变化操作, 能够采用有限的变化操作构建 $SIP2$ 。由于步骤(1)能够通过有限的基本变化组合将服务描述 $SIP1$ 中所有的元素删除, 而 $SIP2$ 也能够通过步骤(2)进行构建, 因此表 1 所示的基本变化操作集对于服务交互过程模型的变化是完备的。证毕。

定义 10 服务交互过程模型的组合变化操作 $changeOfcomposition$, 其中 $changeOfcomposition \in DesChange$, 指经过有限步骤基本变化操作组合, 使得服务交互过程模型 $SIP1$ 修改为 $SIP2$, 即 $changeOfcomposition(SIP1) = SIP2$ 。

从功能来讲基本变化操作可以满足服务交互过程变化描述的需求, 但体系结构设计层面, 基本变化不够直观, 不便于体系结构设计人员之间沟通交流。例如, 因指挥员调整作战任务过程执行次序而带来的服务交互过程模型的变化, 可通过调整服务交互过程本体描述的控制构造子来实现。如图 3 所示, 图中左侧为变化前服务交互过

程本体描述,根据上层作战视图的要求将过程执行 P2 离开 S2 控制构造子,转化为 S1 下控制的过程执行,由于这样的操作比较常见,可以将其设为组合变化 $MoveSubCtrlConstruct(P2, S1, S2)$,将其取代基本变化操作序列 $C = \{RemovePerform(P2, S2), Add-Perform(per, S1)\}$ 。在分析服务

交互变化的过程中,C⁴ISR体系结构设计人员可以根据需要将常用的变化提出来,这样的组合变化操作抽象层次更高,与作战视图中作战过程变化的需求更加直接,便于以后体系结构描述演化过程中对服务交互过程变化描述的重用操作。

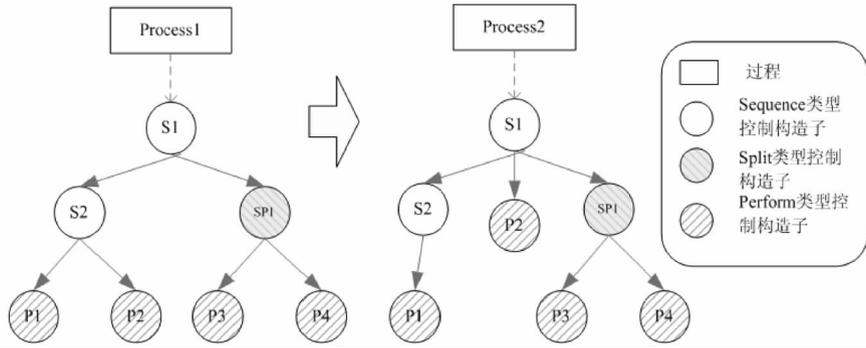


图3 服务交互过程模型变化示意图

Fig.3 Sketch map of Service interaction process's change

5 总结

本文基于 NATO 元模型(NMM)提出了一种 C⁴ISR 体系结构服务视图描述框架,作为中间层视图,服务视图解决了作战任务过程和具体军事系统资源实现之间的分离,为响应作战视图中作战任务过程变化,对服务视图产品进行了形式化描述,重点借鉴 OWL-S 对 SOV-3 服务交互过程模型进行了结构化描述,将服务交互过程模型的演化描述转化为服务交互过程本体描述的修改操作,最后提出了服务交互过程模型基本变化和组合变化操作的定义,证明了基本变化操作集的完备性。

在进一步的研究工作中,将完善 C⁴ISR 体系结构工具集中服务视图产品的建模环境,就本文提出的服务交互过程模型的演化描述转化为 C⁴ISR 体系结构修改操作语言(Architecture Modify Language),并研究修改操作之后体系结构语法和语义一致性验证,以保证修改操作的正确性。

参考文献:

- [1] 罗爱民. 基于信息模型的 C⁴ISR 体系结构设计与分析方法研究[D]. 长沙:国防科技大学, 2006.
- [2] DoD Architecture Framework Working Group. DoD Architecture Framework Version 2.0 Volume I: Architect's Guide [R]. The United States: Department of Defense, 2009 May 18th.
- [3] DoD Architecture Framework Working Group. DoD Architecture Framework Version 2.0 Volume II: Product Description [R]. The United States: Department of Defense, 2009 May 18th.
- [4] DoD Architecture Framework Working Group. DoD Architecture Framework

Version 2.0 Volume III: Desk book [R]. The United States: Department of Defense, 2009 May 18th.

- [5] The NATO C3 Board. The NATO Architecture Framework Version 3.0 [R]. North Atlantic Treaty Organization; http://www.nhq3s.nato.int/Browser.asp?Target=_docs/NAF_v3, November 2007.
- [6] NATO Consultation, Command and Control Board (NC3B). Introduction to NATO Architecture [R]. NATO Architecture Framework Version 3, <http://www.nato.int>, 2009.
- [7] NATO Consultation, Command and Control Board (NC3B). Transition Guidance NAF v2 to NAF v3 [R]. <http://www.nato.int>, 2008.
- [8] The MODAF Development Team. The MOD Architecture Framework Version 1.2 [R]. The UK: Ministry of Defense, 22 September 2008.
- [9] Naccache H, Gannod G C. A Self-Healing Framework for Web Services [C]//IEEE International Conference on Web Services (ICWS 2007), 2007: 398 - 345.
- [10] Liu X M, Bouguettaya A. Managing Top-down Changes in Service-Oriented Enterprises [C]//Proceedings of IEEE International Conference on Web Services (ICWS 2007). July 9 - 13, 2007, Salt Lake City, Utah, USA.
- [11] 鲍爱华. 语义 Web 环境下组合服务演化方法及其关键技术研究 [D]. 长沙:国防科技大学, 2009.
- [12] 喻坚, 韩燕波. 面向服务的计算——原理和应用 [M]. 北京:清华大学出版社, 2006.
- [13] 刘晨, 韩燕波, 陈旺虎, 等. MINI——一种可减小变更影响范围的本体演化算法 [J]. 计算机学报, 2008, 31(5): 711 - 720.
- [14] 鲍爱华, 袁金平, 姚莉, 等. 基于扩展着色 Petri 网的 Web 服务本体描述语言过程语义分析方法 [J]. 计算机集成制造系统, 2008, (09): 1856 - 1864.
- [15] Horridge M, Bechhofer S, Noppens O. Igniting the OWL 1.1 Touch Paper: The OWL API [C]//OWLED 2007, 3rd OWL Experienced and Directions Workshop, Innsbruck, Austria, June 2007.