

基于扩展 IDEF3 方法的作战任务描述及效能评估

程 恺¹, 张宏军¹, 黄 亚¹, 盛国华²

(1. 解放军理工大学 工程兵工程学院, 江苏 南京 210007;

2. 解放军 94909 部队, 江苏 南京 210022)

摘 要:针对部队作战过程建模复杂、作战效能评估困难的研究现状,提出了一种基于扩展 IDEF3 的作战任务建模及效能评估方法。在定义部队作战相关概念的基础上,引入了作战行动效能扩充行为单元的描述属性。通过作战任务的分解和“串并联”模型框架的计算方法,对部队作战的具体过程进行形式化描述,给出了部队针对特定任务的作战效能评估方法。最后以某防空旅执行防空任务为例进行了说明,研究表明将该方法应用于部队作战效能的评估是有效的。

关键词:作战行动;作战效能;IDEF3;“串并联”模型

中图分类号:E911;TP311.5

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)02-0198-05

Combat Mission Description and Effectiveness Evaluation Based on Extended IDEF3 Method

CHENG Kai¹, ZHANG Hong-jun¹, HUANG Ya¹, SHENG Guo-hua²

(1. Engineering Institute of Engineer Corps, PLA University of Science & Technology, Nanjing 210007, China;

2. Unit 94909 of PLA, Nanjing 210022, China)

Abstract: Facing the complexity of military operational process modeling and the difficulty of operational effectiveness evaluation, based on extended IDEF3, this paper proposes a method of combat mission modeling and effectiveness evaluation. Based on the concept related to military operation, introduce the combat action effectiveness to expand the description properties of behavior units. By the combat mission decomposition and the "series-parallel connection" model framework calculation, formally describe the specific process of military operation and put forward the operational effectiveness of assessment method aiming at specific task. Finally, take an air defense brigade performing air defense mission for example to explain the method. The research indicates that this method used to evaluate the operational effectiveness is available.

Key words: combat action; operational effectiveness; IDEF3; series-parallel connection model

0 引 言

现代战争的特点是参战力量多、信息化程度高、战场不确定因素增加,指挥员能否准确地评估下属部队完成特定任务的作战效能,是赢得战争胜利的一个十分重要的因素。国内外作战效能的评估主要是针对武器装备^[1,2],对部队这一类由人、武器装备和编制体制组成的复杂系统的作战效能研究较少^[3]。由于作战过程的复杂性,建立其过程模型的数量庞大,需要一种恰当的结构来组织模型并且能够清晰地表示不同模型之间的相互关系;另外,部队作战效能的评估必须依赖于准确的基础数据和合理的作战行动描述,但是现阶段

均没有统一的方法和技术。

目前,部队作战效能的评估在国内还处于起步阶段,缺乏完整的理论体系。文中根据部队作战过程建模的特点和效能评估的需要,采用扩展的 IDEF3 模型来描述部队作战任务过程,并在此基础上根据作战行动的效能评估部队完成特定任务的作战效能。

1 基本概念

在针对部队作战建模及效能评估的过程中,主要涉及到的基本概念包括以下三个方面:作战行动、作战任务和作战效能,通过给出具体定义并进行形式化描述,规范作战训练领域的基本概念及其相互关系。

1.1 作战行动

定义1:作战单元在给定战场环境下的不可分或不必要再分的基本战斗行为,是部队作战过程中抽象出来最基本、最底层的要素。

收稿日期:2010-06-23;修回日期:2010-09-18

基金项目:国家自然科学基金资助项目(70971137)

作者简介:程 恺(1983-),男,博士生,研究方向为作战效能评估、作战模拟;张宏军,博士生导师,教授,研究方向为军事运筹、系统分析。

形式化描述: $Act = \{A_BeginCon, A_Name, A_EndCon\}$, 其中:

$A_BeginCon$: 表示进入条件, 即作战行动开始的必要数据输入或者物质准备;

A_Name : 表示行动名称, 即作战行动的具体名称, 例如冲击、突破、占领等等;

A_EndCon : 表示退出条件, 即作战行动完成或者终止的时机, 包括主观和客观的因素。

1.2 作战任务

定义 2: 在一定的战场环境和时间约束下, 作战单位为了完成所承担的责任或达到特定的作战目的, 而进行的一系列相互关联的作战行动的有序集合。

形式化描述: $Task = \{T_Name, T_Target, T_Time, T_Relation, T_Rule\}$, 其中:

T_Name : 表示任务的名称, 通常是上级单位下达的总体作战任务;

T_Target : 表示任务的完成条件指标或目标;

T_Time : 表示任务在时间上的约束, 具体包括任务开始时间和任务结束时间;

$T_Relation$: 表示作战行动之间的关系集合, 即行动之间时序和逻辑关系的集合;

T_Rule : 表示任务在执行过程中必须按照军事基本规则的限定。

1.3 作战效能

与作战能力描述系统静态的作战“潜力”不同, 作战效能是一个相对动态的概念, 描述的是在对抗条件下, 作战系统表现出完成作战任务的有效程度^[4]。部队针对特定作战任务的效能不但与自身的特性、数量有关, 而且与武器装备、人员编配、战术运用等因素有关, 具体可分为作战行动效能和作战任务效能。

1.3.1 作战行动效能

作战行动作为作战任务的基本组成要素, 是作战单元在战场环境中所具备的能力或功能属性, 其中作战单元可以根据作战规模的需要, 按照部队的编制级别进行划分, 例如可分为营、连、排、班等。因此可将作战行动的效能定义为: 作战单元在规定的条件下和规定的时间内, 成功完成作战行动的概率, 表示为: $e = \{e \mid 0 \leq e \leq 1\}$ 。

1.3.2 作战任务效能

部队是一种复杂的人、武器综合的复杂系统, 其作战效能尚未形成统一的定义。部队的作战效能不但基于自身的基本作战效能, 而且与战场环境、作战指挥、目标特性以及防御能力也有十分密切的关系。在文中的作用中将部队针对特定任务的作战效能定义为: 部队在规定的条件下和规定的时间内, 成功完成特定作战任务的概率, 表示为: $E = \{E \mid 0 \leq E \leq 1\}$ 。

作战效能定义中规定的条件可概括为以下四个方面:

- 1) 战场环境, 如地形、天候、电磁、气象等;
- 2) 编配方式, 即武器装备的编配以及人员数量的编配等;
- 3) 战术原则, 即部队作战的方式、方法;
- 4) 人员素质, 取决于训练水平。

作战任务由一系列作战行动构成, 部队由不同级别的作战单位组成, 为了使作战效能评估更加有针对性, 将部队的作战效能分成以下四个方面:

- (1) 基层部队(不可再细分)完成单个作战行动(不可再细分)的效能;
- (2) 基层部队完成特定作战任务(由多个作战行动组成)的效能;
- (3) 部队(由多个基层部队组成)完成单个作战行动的效能;
- (4) 部队完成作战任务的效能。

2 作战任务的描述方法

IDEF3 (Integrated Computer Aided Manufacturing DEFinition method 3) 建模方法^[5-8]的核心是通过过程流网 PFN (process flow network) 来获取对过程的准确描述, 其基本元素包括: 行为单元 (UOB, Units of Behavior), 交汇点 (junction), 连接 (link)。

在定义与部队作战相关概念的基础上, 为了使各作战单位更好地理解作战任务的过程以及满足效能评估的需要, 通过引入作战效能扩展行为单元的描述属性, 利用 PFN 对作战任务进行图形化描述, 表示相互关联的作战任务和作战行动序列。

2.1 行为单元的扩展

行为单元 UOB 用以描述一个组织或一个复杂系统中“事情进行得怎样”的情况, 在作战任务描述中可以描述作战行动、作战子任务和总体作战任务的属性及其相互之间的逻辑关系^[9]。

因此, 行为单元可以形式化为五元组 $U = \langle U_Name, U_Number, U_Efficiency, U_Time, U_Description \rangle$, 其中: U_Name 表示行为单元的名称, 具体为作战行动或作战任务的名称; U_Number 表示行为单元的编号(全局唯一); $U_Efficiency$ 表示行为单元的作战效能, 具体为作战行动或作战任务的效能; U_Time 表示规定作战行动或任务的完成时间; $U_Description$ 表示行为单元的描述信息, 即已有信息文字上的列举。行为单元图形化的表示方式是行为单元盒子, 如图 1 所示。

2.2 作战任务分解

作战任务分解是揭示作战任务内涵的基本活动, 将上级赋予比较原则性的作战任务细化成若干具体的

且相互关联的子任务和作战行动的过程,从而明确本级单位的具体作战行动,实现部队协同作战,更好地完成总体作战任务。

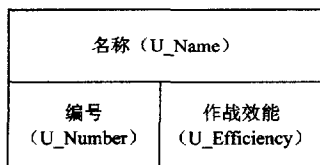


图 1 行为单元盒子图

IDEF3 建模的一个优点是可以对行为单元进行分解,将过程由粗到细分层次表述,描述多种抽象层次,这与作战任务划分为作战行动相似,将作战任务的分解映射到行为单元的分解,映射关系如图 2 所示。

该图是一种静态关系的映射,即将作战任务、作战子任务和作战行动间的隶属关系映射为父、子行为单元之间的关系;作战行动之间以及同层次作战子任务之间的时序和逻辑关系特性,需要通过交汇点和连接来表示,从而描述它们之间的动态关系。

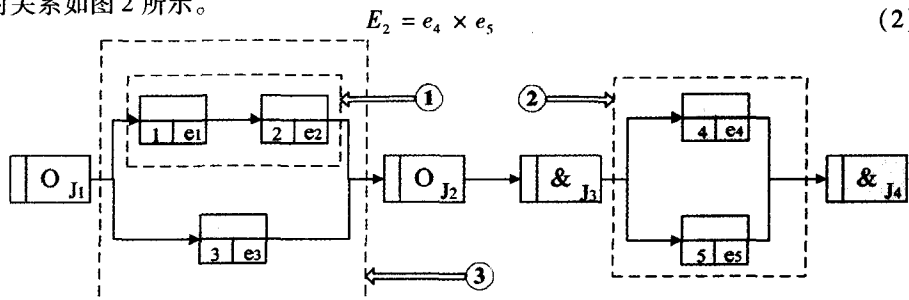


图 3 PFN 图

如果 J_3 、 J_4 分别为扇出、扇入的或型交汇点 (O), 则 4 号和 5 号行动单元可以看成是一个基本的并联系统,那么其效能评估的数学模型通用框架为:

$$E_2 = 1 - (1 - e_4) \times (1 - e_5) \quad (3)$$

如果 J_3 、 J_4 分别为扇出、扇入的异或型交汇点 (X), 表示并联的两个行动单元是概率执行的, 那么其效能评估的数学模型通用框架为:

$$E_2 = a \times e_4 + b \times e_5 \quad a + b = 1 \quad (4)$$

3.3 混联系统的效能计算

如图 3 所示, 1 号、2 号和 3 号行为单元构成系统③——基本混联系统。 J_1 、 J_2 分别为扇出、扇入的或型交汇点 (O), 则可以将 1 号 2 号行动单元看成串联系统, 与 3 号行动单元并联组成一个混联系统, 那么其效能评估的数学模型通用框架为:

$$E_3 = 1 - (1 - E_1) \times (1 - e_3) \quad (5)$$

如果 J_1 、 J_2 分别为扇出、扇入的与型交汇点 ($\&$), 则 1 号 2 号行动单元串联, 与 3 号行动单元组成一个

——基本串联系统, 其作战行动的效能分别为 e_1 和 e_2 , 那么该系统效能评估的数学模型通用框架为:

$$E_1 = e_1 \times e_2 \quad (1)$$

3.2 并联系统的效能计算

4 号和 5 号行为单元构成系统②——基本并联系统, 根据交汇点 J_3 类型的不同, 其效能评估的数学模型框架也是不同的。

如图 3 所示, 4 号和 5 号行为单元从物理连接上看是并联的, 但从作战效能的角度看它们是串联的, 因为 J_3 为扇出的与型交汇点 ($\&$), 即要求 4、5 号行动单元必须都成功执行, 其作战行动的效能分别为 e_4 和 e_5 , 那么该系统效能评估的数学模型通用框架为:

$$E_2 = e_4 \times e_5 \quad (2)$$

3 任务的作战效能计算方法

效能评估问题的重点在于如何把底层评价指标合理组织, 综合计算出最终的效能值。目前常用的方法有专家评定法、数学解析法、试验统计法和模拟仿真法等, 但这些方法都有一定的适用范围, 且受人为因素影响较大。通过将“串并联”模型框架^[10]引入到 IDEF3 建模过程中, 利用其对并发、条件等复杂逻辑关系的组织描述能力, 给出部队作战效能的计算方法, 从底层单项作战行动效能计算得到最终部队完成特定作战任务的效能。

“串并联”模型框架主要包括串联系统、并联系统和混联系统三种基本系统单元。一个简单 PFN 如图 3 所示。

3.1 串联系统的效能计算

如图 3 所示, 1 号和 2 号行为单元构成系统①

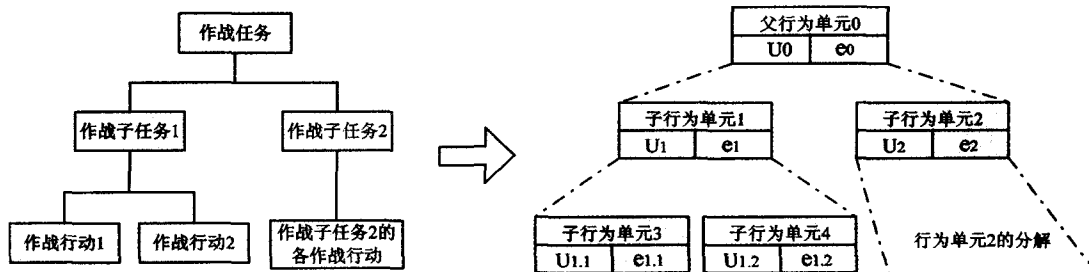


图 2 作战任务与行为单元的映射图

物理连接上并联,逻辑上是串联的系统,那么其效能评估的数学模型通用框架为:

$$E_3 = E_1 \times e_3$$

(6)

同理,如果 J_1 、 J_2 分别为扇出、扇入的异或型交汇点(X),表示并联的两个行动单元是概率执行的,那么其效能评估的数学模型通用框架为:

$$E_3 = a \times E_1 + b \times e_3 \quad a + b = 1$$

(7)

交汇点描述的是行动单元之间的并发、条件等逻辑先后关系,对作战任务的先后完成时间进行约束,它的改变直接导致效能评估框架的变化。在利用 IDEF3 建模的过程中,交汇点有多种类型,无论多么复杂的 PNF 模型图都可以划分成以上几种情况分别计算,但注意交汇点的搭配是有语法规则的,搭配不当会出现结构死锁、同步丢失等逻辑错误,例如“扇入的与”型交汇点与“扇出的或”型交汇点不能匹配等,关于模型的有效性验证,可采用文献[11]介绍的方法,在此不赘述。

4 实例研究

下面以某防空旅防空作战任务为例简要说明基于扩展 IDEF3 的作战任务描述及部队作战效能评估的方法。

某区域,我方某防空旅由警戒雷达、前方观察哨发

现敌方来袭飞机,并通过有线和无线的通讯方式将空情信息传输到后方指挥所。指挥所迅速对来袭目标进行威胁评估,生成决策方案,为指挥员提供辅助指挥决策。由指挥员下达战斗命令,指挥所和部队分别进入一等战斗状态,指示、搜索来袭目标,根据敌方飞机位置、速度信息,先后组织防空导弹、高炮和高射机枪进行火力打击,并进行毁伤评估,战斗结束。该防空旅防空作战任务的 IDEF3 模型如图 4 所示。

利用文献[12]介绍的方法采用相应的行动评估模块,计算得到作战过程中各个单项作战行动效能。根据上文介绍的作战效能评估通用数学模型框架(1)~(7)式,结合各交汇点的属性,计算得到顶级作战任务作战效能,如表 1 所示。

表 1 顶级作战任务作战效能列表

UOB 名称	作战效能	UOB 名称	作战效能
目标发现	0.95	指挥控制	0.84
空情信息获取	0.99	实施抗击	0.64

从表 1 可以看到,该部队在目标发现和空情信息获取两个环节上做得较好,而在指挥控制和实施抗击两个环节上还有待提高。最后由顶级作战任务的作战效能得到此次防空旅防空作战任务的作战效能。采用此方法进行部队作战效能评估,既可以清楚地表述部队作战过程中各种作战行动间复杂的并发、同步等逻辑

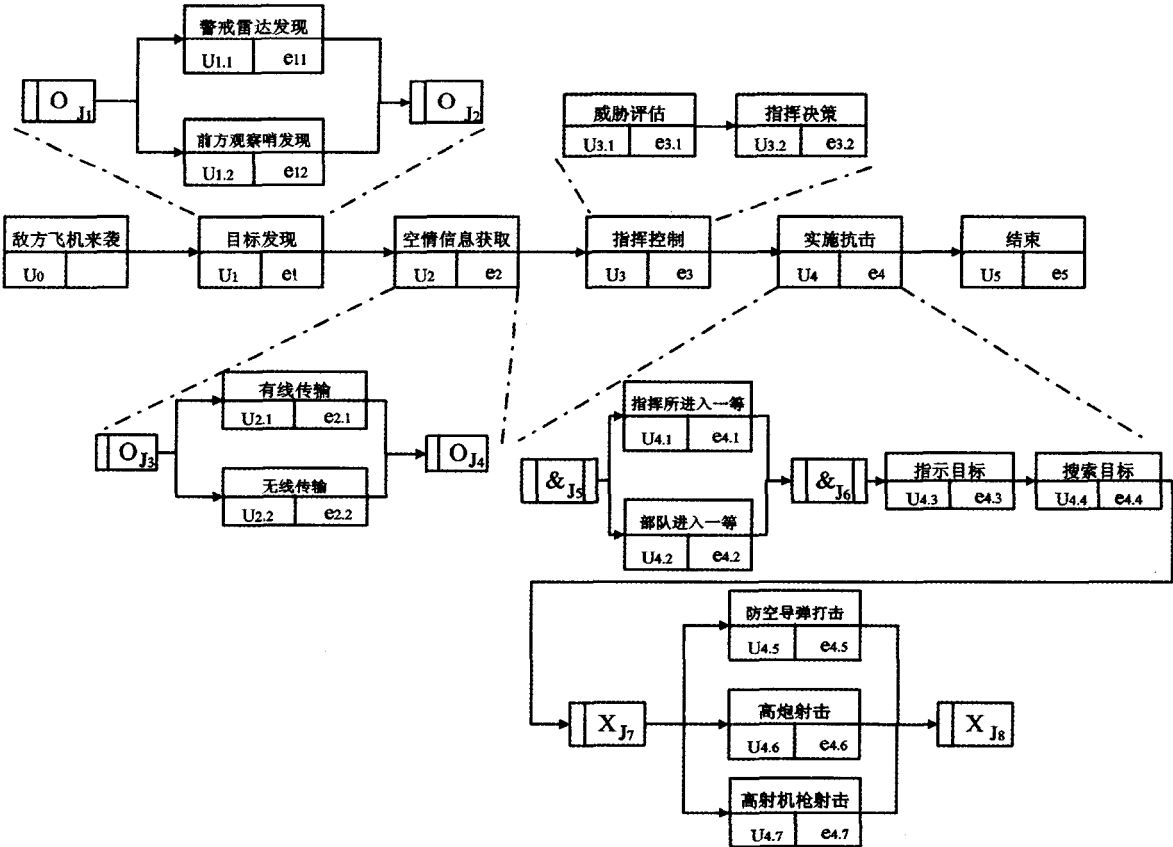


图 4 某防空旅防空作战任务的 IDEF3 模型图

辑关系,又可以由作战行动效能计算得到不同级别作战任务的作战效能,从而发现部队作战过程中的薄弱环节,进行针对性的训练,提高部队总体作战能力。

5 结束语

IDEF3 建模方法简单易学,便于理解和掌握,具有严格、清晰、明确的语法,建立的模型易于交流和维护。文中利用扩展的 IDEF3 模型对部队作战过程进行形式化描述,达到各作战系统对任务的共同理解;同时,基于作战行动效能并结合 IDEF3 模型对部队的作战效能进行了评估,减小了主观定性因素对评估的影响。一方面,部队作战效能评估是一个比较复杂的问题,应继续研究如何扩充效能评估框架以适应部队多种作战样式的效能评估;另一方面,部队效能评估的效果很大程度上取决于作战行动效能,如何利用部队训练效果数据准确地得到作战行动的效能数据,将是下一步研究的重点。

参考文献:

- [1] 傅攀峰,罗鹏程,周经纶.对武器装备体系效能评估的几点看法[J].系统工程学报,2006,21(5):548-552.
- [2] 李秉,王凤山,李晓军.一种弹炮结合武器系统作战效能评估方法[J].计算机技术与发展,2009,19(6):217-220.

(上接第 172 页)

在案例研究中采用了该转换算法,并根据实际应用生产中的业务流程例子进行分析,实现了该业务流程模型的 BPEL 代码实现,显示了算法的实用性和有效性。

目前研究 BPEL 代码转化为 Petri 网模型,然后对系统进行验证分析比较多,而从 Petri 网模型的代码实现则较少。但事实上一般普通建模者不太适合使用 BPEL 语言对业务流程直接进行抽象建模,而 Petri 网与 BPEL 又具有各自的优缺点,分别适合对业务流程进行抽象建模和可执行的业务流程建模,因此研究如何将 Petri 网转换为 BPEL 代码就很有意义和价值。

参考文献:

- [1] 陈艺军,王力生.Web 服务业务流程执行语言(BPEL4WS)引擎架构的研究[J].计算机工程与应用,2004(27):123-125.
- [2] Curbera F, Golan Y, Klein J, et al. Business Process Execution Language for Web Services [EB/OL]. 2006-02-16 [2007]. <http://dev2dev.bea.com/techtrack/BPEL4WS.jsp>.
- [3] 罗海滨,范玉顺.工作流技术综述[J].软件学报,2000,11(7):899-907.

- [3] 杨晓恕,张宏军,马勇波.合同战术训练评估系统体系结构[J].计算机工程,2008,34(15):54-56.
- [4] 付东,方程,王震雷.作战能力与作战效能评估方法研究[J].军事运筹与系统工程,2006,20(4):35-39.
- [5] 谢毅,唐任仲,缪亚萍.基于 IDEF3 的业务过程仿真模型的存储与获取[J].系统工程理论与实践,2005,25(12):69-75.
- [6] Young Jeong Ki. Conceptual frame for development of optimized simulation based scheduling systems[J]. Expert Systems with Applications,2000,18(1):299-306.
- [7] Sadiq O. Analyzing Process Models Using Graph Reduction Techniques[J]. Information Systems,2000,25(2):117-134.
- [8] Kim C H, Weston R H. The complementary use IDEF and UML modeling approaches[J]. Computers in Industry,2003,50:35-56.
- [9] 李建军,刘翔,黄光奇,罗雪山.一种作战任务分析仿真模型自动生成方法研究[J].系统仿真学报,2007,19(5):1114-1118.
- [10] 金伟新.“串并联”模型框架与作战效能评估[J].系统工程与电子技术,2001,23(7):41-43.
- [11] 宁可,李清,陈禹六.基于仿真方法验证 IDEF3 过程模型的有效性[J].清华大学学报(自然科学版),2005,45(4):540-544.
- [12] 杨晓恕.合同战术训练与管理评估系统关键技术研究[D].南京:解放军理工大学,2008.

- [4] 李龙澍,胡正梁.基于 Petri 网的 UML 形式化建模应用分析[J].计算机研究与发展,2010(4):76-79.
- [5] White S A. Using BPMN to Model a BPEL Process[J]. BPTrends,2005,3(3):1-18.
- [6] Arkin A, Askary S, Bloch B, et al. Web Services Business Process Execution Language Version 2.0 [M]. Working Draft. WS-BPEL TC OASIS, 2005.
- [7] Leymann F, Roller D. Modeling Business Processes with BP-ELAWS[J]. Information Systems and E-Business Management, 2006, 4(3):265-284.
- [8] 毛伟伟,于素萍.基于 Petri 网的 Web 服务动态组合[J].计算机研究与发展,2009(11):61-63.
- [9] Toorn R. Component-Based Software Design with Petri nets: An Approach Based on Inheritance of Behavior[D]. Eindhoven: Eindhoven University of Technology, 2004.
- [10] 袁崇义. Petri 网原理与应用[M]. 北京:电子工业出版社,2005.
- [11] 樊玮,匡载华.基于 UML 的业务流程建模及到 BPEL4WS 的转换[J].航空计算技术,2010,40(1):79-84.
- [12] 谷建鑫,仇建伟.基于 Petri 网的工作流模型[J].计算机工程与设计,2005,26(2):513-515.