

文章编号: 1001- 2486(2009) 01- 0135- 06

武器装备体系能力空间描述研究*

赵青松, 谭伟生, 李孟军

(国防科技大学 信息系统与管理学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 武器装备体系能力是武器装备体系研究的重要组成部分。从形式上对武器装备体系能力进行了描述, 给出了其相关性质。从不同角度分析和定义了武器装备体系能力间的关系, 给出了武器装备体系能力空间的结构特点, 构建了武器装备体系能力子系统。从能力的个体、能力的关系、能力的系统三个层面对武器装备体系能力空间进行了描述, 为武器装备体系及其能力的研究奠定了一定的基础。

关键词: 武器装备体系; 能力; 能力关系; 能力空间; 能力子系统

中图分类号: E917 **文献标识码:** A

Research on Description of Weapon Equipment System of Systems Capability Spaces

ZHAO Qing-song, TAN Wei-sheng, LI Meng-jun

(College of Information System and Management, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: The weapon equipment system of systems capability is an important part of the weapon equipment system of systems. In this paper, the weapon equipment system of systems capability is described formally, and the character is given. The weapon equipment system of systems capability spaces is analyzed and the relation between the capabilities is defined from different viewpoints. The weapon equipment system of systems capability subsystem is built. Based on the single capability, capability relation and capability system, the weapon equipment system of systems capability is discussed, which establishes the basis for the study of the weapon equipment system of systems and the weapon equipment system of systems capability.

Key words: weapon equipment system of systems; capability; capability relation; capability spaces; capability subsystem

武器装备体系是在一定的战略指导、作战指挥和保障条件下, 为完成一定作战任务, 而由功能上互相联系、相互作用的各种武器装备系统组成的更高层次系统^[1-3]。武器装备体系的能力是由其所属的装备系统共同提供, 能力是从作战指挥人员角度描述的, 比较宽泛, 有利于反映武器装备体系与作战之间的关系^[4-6]。在“基于能力”取代“基于威胁”的防务理论后, 美军建立了基于能力的联合需求分析机制, 开发了联合能力集成与发展系统 JCIDS^[7-8]; 杨镜宇等给出了战争系统体系需求的描述框架和基于效果的体系能力规划^[9]; 鲁延京对武器装备体系能力相关概念进行了界定, 并研究了基于 UML 的武器装备体系能力描述方法^[10]; 罗鹏程等提出了武器装备体系作战能力和作战效能的概念, 研究了指标聚合关系及其处理方法^[11]; 傅攀峰等研究了影响空战武器体系超视距空战能力的三种子能力及其性能指标^[1-2]。

本文从武器装备体系能力空间中的武器装备体系能力、能力之间的相互关系以及武器装备能力子系统三个方面对武器装备体系能力空间进行了比较全面的描述。

1 武器装备体系能力

一般意义上, 能力(Capability)是为完成某项任务所具备的本领。武器装备体系的能力是武器装备体系执行或完成作战任务所具备的“本领”或应具有的“潜力”。

* 收稿日期: 2008- 07- 20

基金项目: 国家部委资助项目(513300102)

作者简介: 赵青松(1975-), 男, 讲师, 博士生。

武器装备体系的能力描述形式上由可分辨的标识符和释义两个部分构成。

Capability: [*IDENTIFIER*, *ONTOLOGY*]

id: *IDENTIFIER*;

int erpret: *IDENTIFIER* \leftrightarrow *PONTOLOGY*

$\forall id_1, id_2: IDENTIFIER \text{ int erpret}(id_1) = \text{int erpret}(id_2) \Rightarrow id_1 = id_2$

其中, *IDENTIFIER* 是能力标识符集合, 由简洁易懂的描述性领域术语或概念组成。式中的约束条件指明: 由于自然语言里存在同义词, 所以允许同一能力存在多个形式不同、含义一致的名称。*ONTOLOGY* 表示客观世界知识的集合, 由特定应用领域里的全部本体组成, 用于定义能力的含义。

对能力含义的解释存在三种途径:

(1) 由领域本体定义;

(2) 组合能力由其子能力定义, 即存在定义函数 $dfinition: PCapability \rightarrow Capability$, 通过一定的逻辑运算, 把多个能力映射到含义等价的被定义能力上;

(3) 自然语言注释, 通过释义函数 *int erpret*, 用客观世界知识对能力进行定义或解释。

无论能力采用何种定义方法, 最终都可溯源到其领域本体。

武器装备体系能力项是武器装备体系能力的实例, 表示武器装备体系的能力在不同环境(如不同的使命任务、不同的作战环境)下可能的取值, 反映了武器装备体系能力自身的可变化性。 $dom(f)$ 为能力 f 的能力项的集合, 称为 f 的值域。能力与能力项之间是一种例化关系。在武器装备体系中, 能力项就是能提供相应能力的武器单元或者武器装备系统等。

2 武器装备体系能力空间

武器装备体系是各种要素在规模结构、配比结构、技术水平等方面的不同组合以及在战场感知、信息主宰、后勤保障、精确打击等方面的有机联系。武器装备体系能力作为武器装备体系所具有本体的抽象, 具有如下的体系特点:

(1) 层次性: 能力之间往往存在层次结构;

(2) 协作性: 能力元素之间的相互作用和相互配合的不同, 能够实现不同的目标;

(3) 松耦合性: 能力具有自治性, 相互之间可以独立存在;

(4) 多目标性: 能力的目标存在多个, 而不是只有一种特定的目的;

(5) 涌现性: 在协作性的基础上, 能力往往具有“整体大于部分之和”的特征, 表现出强烈的涌现特性。

在联合作战环境下, 一个特定的作战使命的完成需求一系列的武器装备体系能力的支持, 这些能力之间要进行相互的协同配合, 而不是孤立地存在。与特定使命任务相关的武器装备体系能力及能力之间的关系构成了一个武器装备体系能力空间 $\Omega = \langle F, D \rangle$, F 为能力集合, D 为能力之间关系的集合。

武器装备体系能力只有在特定情况下才是构成一个能力空间的成分, 而在其他情况下不是必需的。根据可选性的不同, 可以把武器装备体系能力划分为以下类型:

(1) 必备能力(mandatory capability)

必备能力是武器装备体系能力空间的组成部分, 当且仅当它的父能力是能力空间的一个成分。即

$$f: Capability, parent(f) \in \Omega \Rightarrow f \in \Omega$$

(2) 多选能力(alternative capability)

多选能力反映一种排他选择或异或关系, 即

$$\forall f: F, \exists ! g: Capability, f \neq g \wedge g = parent(f), \exists ! h: F, g \in \Omega \Rightarrow h \in \Omega$$

(3) 复选能力(or-capability)

复选能力指在一组武器装备体系能力中存在一个或多个能力是能力空间的组成部分, 即

$$\forall f: F, \exists ! g: Capability, f \neq g \wedge g = parent(f), \exists h: F, g \in \Omega \Rightarrow h \in \Omega$$

在武器装备体系能力空间中, 能力之间的关系主要包括:

(1) 聚合关系 (Aggregation)

聚合关系指明一个能力和多个能力之间是整体(称为父能力)与部分(称为子能力)的关系,并且父能力与子能力具有相同的生命期。

$aggregation = \{x: Capability, y: pCapability \mid x \llcorner y, x = \bigcup y\}$, 其中, x 是父能力, y 的每个元素都是 x 的子能力。

聚合关系是反自反的、反对称的和传递的,不存在递归的聚合关系,对聚合关系的遍历会形成一个树结构的链,高层父节点具有较粗的粒度。

(2) 泛化关系 (Generalization)

泛化关系指明一个能力(超能力)与另一个能力(子能力)是一般和特殊的关系。子能力不仅含有超能力的全部特性,而且为每种特性附加了更多信息。

$Generalization = \{x, y: Capability \mid \exists z, z \in y, x = y \cup format(z)\}$, 其中, y 是超能力, x 是子能力, z 是新增部分,函数 $format$ 将 z 的内容转换为匹配 x 与 y 的形式。

泛化关系是传递的、反对称的和反自反的,遍历泛化关系同样会形成一个树结构关系链,在超方向上经过一个或几个泛化关系的能力称为祖先,反之为后代。一个能力不能既是自己的祖先又是自己的后代,也就是说,不允许出现泛化环。在复杂情况下,子能力可能有多个超能力,称为多重泛化。

(3) 协作关系 (Collaboration)

协作关系是指在一定环境中若干武器装备体系能力或能力子系统,通过互操作有目的地完成一个行为。为了完成一个行为,每个协作能力都是特定协议的参与方。

$Collaboration = \{x, y: Capability \mid \exists information(x, y)\}$

协作关系是传递的、对称的和反自反的,遍历协作关系会形成一个交换序列,队列中的元素是协作能力之间的一次信息、资源等的交换。函数 $information(x, y)$ 表示能力 x 与 y 之间的信息、资源等的交换关系。

在上述能力间关系的基础上,武器装备体系能力空间构成一种多维的、层次状的体系结构:

(1) 层次性 (Hierarchy)

武器装备体系能力空间呈现出层次状体系结构。如果整个武器装备体系能力看作是一个顶级的知识体,它直接属下的每个领域则是对它的一个划分,这些被分割的领域又可以划分成更小的领域,循环重复直至满足需求为止。相应地,每个领域可以使用一个能力空间加以表示,每个能力空间也迭代地分解成多个能力子空间。

有且只有一个根节点表示能力空间 Ω 的根能力 $root$, 当 $n > 1$ 时,除了 $root$ 之外的每个能力 f_1, f_2, \dots, f_n 分别对应了一个树节点 $\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_n$, 这些节点又可能是一棵能力树,依次表示能力空间的子空间 $\Theta_1, \Theta_2, \dots, \Theta_n$ 。层次函数 $level: Capability \rightarrow N$ 反映武器装备体系能力之间的偏序关系,即 $level(f_1) < level(f_2) < \dots < level(f_n)$ 。能力空间中能力的层次值反映了武器装备体系能力划分粒度的大小。

(2) 多维性 (Multi-dimensionality)

在对武器装备体系能力空间的划分中,能力的任何一个可能的直接子能力(或子空间)都可看作是它的一维,在这种意义下,武器装备体系能力空间是一种多维模型。

对于任意的武器装备体系能力空间 Ω , 至少存在一种 Ω 的有限个非空子空间的划分 $partition(\Omega) = \Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_n$, 满足正交性 $\Omega_i \cap \Omega_j = \phi, i \neq j, i, j = 1, 2, \dots, n$ 和闭合性 $\Omega = \bigcup_{i=1}^n \Omega_i$, 称 $partition(\Omega)$ 为 Ω 的完美划分。根据武器装备体系能力空间划分的粗细程度不同,有不同的完美划分,其中存在有最小子空间个数的完美划分决定了武器装备体系能力空间的维数。

(3) 可扩展性 (Extendibility)

根据武器装备体系能力的协作性和涌现性特点,在不改变武器装备体系能力原有含义的前提下,以其为基础可以定义出新的武器装备体系能力,即对于任意的能力 Ω , 可能存在 $\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_n$, 使得 $\Omega =$

$$\bigcup_{i=1}^n \Omega_i。$$

3 武器装备体系能力子系统

武器装备体系能力项空间是武器装备体系能力空间的实例,武器装备体系能力空间表达了武器装备体系能力的内涵,武器装备体系能力项空间表达了武器装备体系能力的外延。

武器装备体系能力的实例化是指从 $dom(f)$ 中选取满足特定需求语境的武器装备体系能力项的过程,记为 $\tau(f)$ 。能力向量 $Y = (f_1, f_2, \dots, f_n)$ 的实例化可表示为 $\tau(Y) = (\tau(f_1), \tau(f_2), \dots, \tau(f_n))$ 。对武器装备体系能力空间 Ω 中包含的每一项能力 f_1, f_2, \dots, f_n 分别进行实例化,可以得到武器装备体系能力空间的实例集合,记为 $T(\Omega)$ 。 $t \in T(\Omega)$ 称为 Ω 的一个实例,表示为 $t = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n)$, $\tau_i \in dom(f_i)$ 称为 t 在武器装备体系能力 f_i 上的投影,可记为 $t[f_i]$ 。 t 在武器装备体系能力集合 X 上的投影记为 $t[X]$ 。武器装备体系能力的能力项数目表征了能力本身的复用性,能力空间的实例数目则表征了能力空间可被复用的潜力,武器装备体系能力的复用性表征了武器装备体系划分的合理性。复用性高则表明了武器装备体系能力适应不同使命任务或者作战环境的程度强,也表明了这种能力的定义和划分较合理。

实际上,武器装备体系能力的可选性可以转化为其能力项的可选性。对于任意非必选能力 f ,可以通过在 f 的值域 $dom(f)$ 中加入一个空能力项 I_ϕ 将其转化为必选能力。当 f 未被选中时,则认为 f 被实例化为能力项 I_ϕ 。

武器装备体系能力空间中的能力根据实例之间关系的不同,可以划分为以下依赖类型:

(1) 取值依赖: 武器装备体系能力集合 X 与 Y 是武器装备体系能力空间的能力子集。对实例化空间 $T(\Omega)$ 中的任意两个实例 t_1 和 t_2 , 如果 $t_1[X] = t_2[X] \Rightarrow t_1[Y] = t_2[Y]$, 则称 Y 能力取值依赖于 X , 记为 $X \rightarrow Y$, 表示 X 的一个实例唯一地确定了 Y 的一个实例。

(2) 多值依赖: 武器装备体系能力集合 X, Y 与 Z 是武器装备体系能力空间中的能力子集, 并且 $Z = F - X - Y$ 。能力多值依赖 $X \twoheadrightarrow Y$ 成立, 当且仅当对 Ω 的实例化空间 $T(\Omega)$ 中的任意实例 t 在 (X, Z) 上的每一个实例值对应一组 Y 的值, 这组值仅取决于 X 值而与 Z 值无关。

武器装备体系能力的取值依赖/多值依赖刻画了两组武器装备体系能力项之间的依赖关系, 称为“值-值”依赖, 即一组武器装备体系能力的实例取值唯一或多值决定了另一组武器装备体系能力的实例取值。

武器装备体系能力的语义依赖是指武器装备体系能力之间存在的语义关联关系。根据武器装备体系能力类型的不同, 能力语义依赖可能有多种类型, 一般地, 使用谓词 $P(X)$ 表示武器装备体系能力集合 X 中包含的能力之间要满足 P 的约束。 P 的具体表达形式可视具体的约束类型而定。语义依赖与能力本身的取值无关, 它刻画了能力本身“型”之间的约束, 属于“型-型”依赖。

一个武器装备体系能力子系统定义了特定领域的一个武器装备体系能力子空间。武器装备体系能力子系统模型可表示为 $C(cid, froot, F, D, PS, RS)$, 其中 cid 为 C 的唯一标识; $froot$ 为武器装备体系能力子系统空间的根能力, 是武器装备体系能力子系统所能够提供的最大粒度的能力; F 为武器装备体系能力子系统空间包含的能力集合; D 为能力之间依赖关系集合; PS 为武器装备体系能力子系统所能提供的能力集合; RS 为武器装备体系能力子系统所需求的能力集合。

按照值域的大小, 武器装备体系能力子系统包含的能力可分为两类:

(1) 固定能力: 满足 $|dom(f)| = 1$ 且 $dom(f) \neq I_\phi$ 的能力 f 称为固定能力;

(2) 可变能力: 满足 $|dom(f)| > 1$ 的能力 f 称为可变能力。

不同的武器装备体系能力子系统通过交互实现完整的武器装备体系能力空间。武器装备体系能力子系统之间存在的关系由各自包含的能力之间的能力依赖决定, 可分为 3 类: 组合、依赖和关联。组合关系由“能力需求-能力提供”关系所导致, 依赖关系由能力取值/多值依赖所导致, 而关联关系则由能力语义依赖所导致。

$C_1(f_{root}, F, R, PS, RS)$ 与 $C_2(f_{root}, F, R, PS, RS)$ 属于同一个能力空间 Ω 。

(1) 如果 $\exists f_1 \in PS(C_1), \exists f_2 \in RS(C_2)$, 且 $f_1 = f_2$, 则 C_1 与 C_2 之间存在组合关系, 表示为 $C_1 \xrightarrow{f_1=f_2} C_2$;

(2) 如果 $\exists X \subseteq F(C_1), \exists Y \subseteq F(C_2)$, 使得 $X \rightarrow Y$ 或 $X \rightarrow \rightarrow Y$ 在能力空间 Ω 中成立, 则 C_1 与 C_2 之间存在依赖关系, 表示为 $C_1 \xrightarrow{X \rightarrow Y} C_2$ 或 $C_1 \xrightarrow{X \rightarrow \rightarrow Y} C_2$;

(3) 如果 $\exists X \subseteq F(C_1), \exists Y \subseteq F(C_2)$, 使得 $P(X \cup Y)$ 是能力空间 Ω 中的一个能力语义依赖, 则 C_1 与 C_2 之间存在语义关系, 表示为 $C_1 \xrightarrow{P(X \cup Y)} C_2$ 。

4 示例

空军武器装备体系的作战任务包括夺取制空权、空中进攻、空中封锁、防空作战、空中支援和空降作战等。空空作战是指歼灭敌机和飞航式空袭兵器, 主要用于争夺制空权、防空、掩护其他航空兵的战斗行动、阻止敌人空运、空投、空降和航空侦察等任务。空空作战子体系包括作战平台(歼击机、歼击轰炸机、无人歼击机等)和武器(空空导弹和航炮等)。

超视距空战能力指所有具备空战作战能力的飞机和空战导弹执行超视距打击任务的能力。随着机载火控雷达技术、机载光电探测技术尤其是中远距空战导弹的发展, 超视距空战模式已成为一种重要的空战模式。拥有超视距空战能力的一方在空战中将具有更高的获胜率。超视距空战能力已成为空战武器体系争夺制空权, 防空、掩护其他航空兵的战斗行动, 阻止敌人空运、空投、空降和完成航空侦察等任务的必备能力。

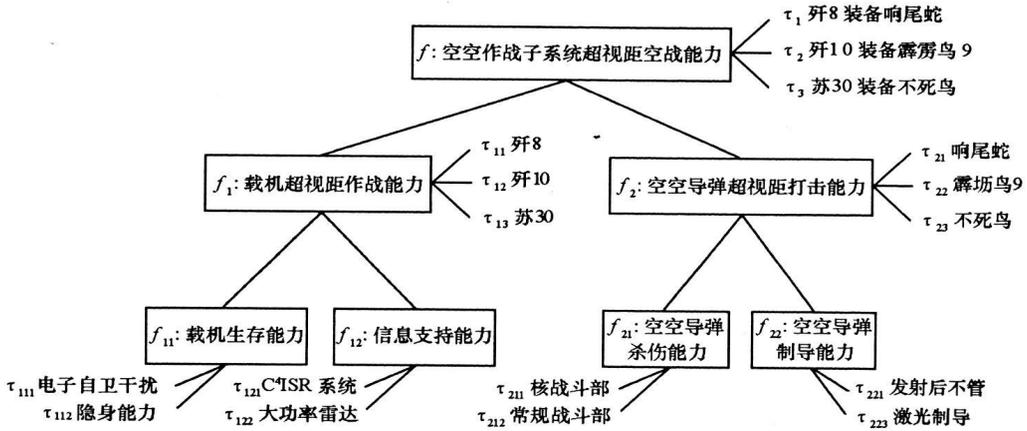


图 1 空空作战子系统超视距空战能力空间(部分)

Fig. 1 Air-to-air long distance fight capability space (part)

图 1 描述了部分空空作战子系统超视距空战能力的构成, 作为一个武器装备体系的能力空间, 根能力是空空作战子系统超视距空战能力, 即 $f_{root} = f$, 其子能力为 $child(f) = \{f_1, f_2\}$, 载机生存能力的父能力是 $parent(f_{11}) = f_1$ 。在此能力空间中, $f_{11}, f_{12}, f_{21}, f_{22}$ 是原子能力, f, f_1, f_2 是复合能力。

能力空间构成的能力树的层次数为 3, 其中 $level(f) = 0, level(f_1) = level(f_2) = 1$ 。在能力空间对应的能力项空间中, 有 $dom(f) = \{\tau_1, \tau_2, \tau_3\}, dom(f_1) = \{\tau_{11}, \tau_{12}, \tau_{13}\}$ 。能力空间中存在依赖关系有 $\{f\} \rightarrow \{f_1, f_2\}, \{f_1, f_2\} \rightarrow \{f_{11}, f_{12}, f_{21}, f_{22}\}$ 等。

存在空空作战子系统超视距空战能力子系统 $C_f(f, f, \{f, f_1, f_2, f_{11}, f_{12}, f_{21}, f_{22}\}, \{\{f\} \rightarrow \{f_1, f_2\}, \dots\}, \{f\}, \{f_1, f_2, f_{11}, f_{12}, f_{21}, f_{22}\})$ 和空空导弹超视距打击能力子系统 $C_{f_2}(f_2, f_2, \{f_2, f_{21}, f_{22}\}, \{\{f_2\} \rightarrow \{f_{21}, f_{22}\}, \dots\}, \{f_2\}, \{f_{21}, f_{22}\})$, 能力子系统 C_f, C_{f_2} 之间存在依赖关系 $C_f \xrightarrow{X \rightarrow Y} C_{f_2}$ 。

5 结论

武器装备体系能力具有高度抽象性、层次性、功能性等特点,是对武器装备体系进行描述的重要方面。

给出了武器装备体系能力的描述方法,分析了武器装备体系能力空间的结构特点,讨论了其相关性质,分析了能力间的相互关系,对武器装备体系能力空间进行了一个比较全面的描述。

参考文献:

- [1] DoD Architecture Framework Working Group. DoD Architecture Framework Version 1.0 Volume I: Definitions and Guidelines[R]. U. S. : Department of Defense, 2003.
- [2] 黄力, 罗爱民, 罗雪山. C⁴ISR 体系结构概念研究[J]. 国防科技大学学报, 2004(1): 81- 83.
- [3] The Joint Chiefs of Staff. Joint Vision 2020[R]. US Government Printing Office, 2000.
- [4] Lerahan J. Agile Assessment Techniques Evaluating Mission Capability Portfolio Ensembles in Complex Adaptive Architectures[R]. Space and Naval Warfare System Center North Charleston SC, 2005.
- [5] Morgan, Michael J. The Bunker-busting Nuke: Essential Capability or Destabilizing Weapon[R]. National War Coll, Washington DC, 2002.
- [6] John K. Love An Analysis of the Twenty-nine Capabilities of the Marine Corps Expeditionary Unit (Special Operations Capable) [R]. 1998.
- [7] McQuay W K. Collaborative Environment for Capability-based Planning[C]// Proceedings of SPIE Enabling Technologies for Simulation Science, 2005: 318- 327.
- [8] The Joint Capability Integration and Development System (JCIDS) [R]. PM- 2001- ISE, 2003.
- [9] 杨镜宇, 司光亚, 胡晓峰. 战争系统体系能力需求的建模与仿真[J]. 系统仿真学报, 2006(12): 3599- 3602.
- [10] 鲁延京. 基于能力的武器装备体系需求视图产品研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2006(12).
- [11] 罗鹏程, 傅攀峰, 周经伦. 武器装备体系作战能力评估框架[J]. 系统工程与电子技术, 2005(1): 72- 75.
- [12] 傅攀峰, 罗鹏程, 周经伦. 空战武器体系超视距空战能力指标研究[J]. 系统工程与电子技术, 2004(8): 1072- 1075.