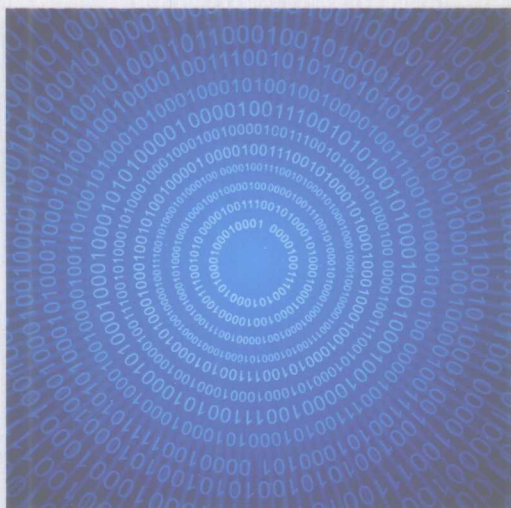


效能评估方法研究

Xiaoneng Pinggu Fangfa Yanjiu



董尤心 主审
张杰 唐宏 苏凯 等著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

效能评估方法研究

董尤心 主审

张杰 唐宏 苏凯 徐启建 著
杨熔炉 段涛 辛文启 罗峰 李俊

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书以系统的效能评估为主线,着重突出效能评估的新理论、新方法,在研究分析效能评估的基础理论、经典效能评估方法等基本原理的基础上,提出了基于组合赋权效能评估方法、基于多属性决策的效能评估方法、基于灰色关联的效能评估方法、基于粗糙熵的效能评估方法和体系结构评估方法等理论和方法,为提高效能评估的分辨率、合理性、可用性提供了新的研究思路。本书适合理工科大学研究生和教师阅读,也可供相关研究领域的科研人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

效能评估方法研究 / 张杰等著. —北京: 国防工业出版社, 2009. 7

ISBN 978 - 7 - 118 - 05815 - 4

I. 效... II. 张... III. 管理学—研究
IV. C93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 136290 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 13½ 字数 236 千字
2009 年 7 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 28.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422
发行传真:(010)68411535

发行邮购:(010)68414474
发行业务:(010)68472764

序

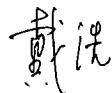
从功能单一的装备到结构复杂的军事信息系统(又称 system of systems),其效能评估越来越受到各方的关注。与技术性能、总体性能评估相比,系统的作战效能评估关系到使命任务完成的程度,并贯穿于军事信息系统生命周期的始终,历来是学术界、军事界和工业界同仁研究的重点和热点。

人类探索真理有三大手段:理论分析、科学试验和模拟仿真,军事信息系统的作战效能评估也不例外。经典的兰彻斯特方程、指数法仍具有理论指导意义,但在精确性、灵活性方面有所欠缺。战争实验(war game)或实兵实装的军事演习已成为评估、验证系统作战效能最直接的手段,通过精心设计的场景、案例或想定,使其评估结论具有不可置疑性。但不管演习过程组织多么严密,想定多么合理,它只是系统任务使命样本空间中的一个特例,难以反映“在指定的作战空间(battle space)内完成多样化军事使命的程度。”因此,模拟仿真或藉助计算机强大的计算能力必将成为作战效能评估的主要手段。

数据是分析的素材,测量是评估的基础,包括各种定性或定量的数据,也包括主观评判或客观测试获得的数据。但这些原始数据仅在一定误差范围内是准确的,也就是说,原始数据的有效位是有限的,经过若干次演算之后,其有效位数还会进一步下降。因此,效能分析中数值计算的最终结果都是不“精确”的。作战效能评估一般要经历从定性分析到定量分析,再从定量分析到定性分析这样一个过程。不十分“精确”的数值分析结果仅是定性评估的参考依据。目前社会上有许多成果评估、业绩评估……量化指标越来越细,评估过程越来越繁,并有过分迷信定量统计分析结果的倾向。在提倡学习实践“科学发展观”的今天,当我们从事信息系统作战效能评估研究时,务必要重现原始数据的采集和测量。

张杰等同志根据多年工作的经验,编写了“效能评估方法研究”一书,为此付出了艰辛的劳动。该书层次清晰,深入浅出,既介绍了层次分析法等8种经典的评估算法,又介绍了组合赋权法等5种综合性的评估方法,是一本不可多得的教科书和工具书。作者不仅详细介绍了这些方法的数学原理和 workflows,而且

概述了每种方法的特点及适用范围,为用户针对性运用提供了参考。其中有些方法不仅适用于作战效能评估,还可应用到系统的性能评估、需求分析和设计优化等领域。相信该书的出版,对推动军事信息系统的理论研究和促进前沿技术在军事系统工程中的应用将具有积极的意义。



中国工程院院士
二〇〇九年五月四日

前 言

系统的效能是指系统在规定条件下满足特定任务需求的程度,对系统效能的评估、综合评价是一个复杂的系统工程,130 多年前,对效能的分析、评估就已经纳入研究范畴,业界从不同角度对系统的效能进行分析和评价,相继衍生出可靠性工程、维修性工程、测试性工程、综合保障性工程等研究分支,这些分支的研究都是建立在系统工程方法论基础之上的。方法论是系统效能研究的基础,特别是对军事电子信息系统而言,由于复杂的作战场景、作战环境等因素的影响,系统效能分析将变得更加困难。本书以系统的效能评估为主线,着重突出效能评估的新理论、新方法,在研究分析效能评估的基础理论、经典效能评估方法等基本原理的基础上,提出了基于组合赋权效能评估方法、基于多属性决策的效能评估方法、基于灰色关联的效能评估方法、基于粗糙熵的效能评估方法以及基于未确定测度的体系结构评估等理论和方法,为提高效能评估的分辨率、合理性、可用性提供了新的研究思路。

全书的组织结构共分 8 章。

第 1 章绪论介绍了效能评估的基本概念、效能评估的步骤以及效能评估的三个层次。

第 2 章着重介绍了效能评估的基础理论,分析了确定指标体系的理想条件、原则和方法,给出了指标分类,在此基础上,对定性指标的量化标度做了进一步的深入研究,从五个不同角度对典型标度进行了分析比较,给出了评价结论,并改进和完善了指标矩阵的规范化方法。

第 3 章对经典的效能评估理论进行了综述,主要对层次分析法、ADC 方法、系统效能分析法、模糊综合评估法、灰色白化权函数聚类法、模拟评估法、指数法、探索性评估法进行了详细分析,并列出了大量的参考资料,以供读者在相关方面进一步深入研究。

第 4 章、第 5 章、第 6 章、第 7 章主要对效能评估的新算法进行了深入研究。第 4 章提出基于组合赋权理论的效能评估算法,在给出重要性权重、信息量权重、独立性权重的计算方法的基础上,提出了基于最小二乘和对数最小二乘原理

的组合赋权算法。第5章提出了基于多属性决策理论的效能评估算法,将多属性决策理论引入到系统的效能评估中,分别提出了基于主成分的TOPSIS算法、基于集值统计的模糊权重确定算法、混合TOPSIS算法。第6章将灰色关联理论与TOPSIS方法相结合,提出了基于灰色关联决策、灰色区间关联和基于AHP灰色综合效能评估算法。第7章提出了基于粗糙熵的效能评估算法,运用粗糙集理论对来自仿真或实验的数据进行预处理。

第8章、第9章主要针对效能评估中一类特殊类型的评估—体系结构的验证评估方法开展了深入研究,主要对国内外典型的体系结构评价方法如ATAM, SAAM等方法进行了比较评估,在此基础上,构建了体系结构验证评估的指标体系,其次,从单指标评估,综合评价,未确定测度三个角度提出了三种体系验证评估方法,最后给出了相关方法的应用实例。

本书的作者都是长期从事军事电子信息系统效能评估的科研人员,唐宏对本书的立题和总体结构作了统一筹划,撰写了第1、2、8、9章;张杰做了全书的统编和修改工作,并撰写了4、5、7、8、9章,徐启建、辛文启、罗峰参与了上述内容的撰写;苏凯撰写了第2、3、6章,杨熔炉、段涛、李俊等参与了上述内容的撰写。另外,在本书撰写的过程中得到了各方面的大力支持和热情鼓励,以及许多专家和同仁的指导和帮助,中国工程院院士、解放军理工大学博士生导师、总参某研究所戴浩研究员对本书的立意和特点提出了指导意见,并欣然作序,极为精辟中肯,总参某研究所所长董尤心研究员在百忙之中审阅了全稿,并在全书撰写和出版过程中给予了很多指导和帮助,此外书稿的出版还得到了总参某研究所尹浩研究员、蒋晓原研究员、海军航空工程学院范洪达教授、通信指挥学院叶西荪教授的帮助和指点,耿小宁、张玉光、孟海军、谈学超、冯占远、郭振、李金峰等总参某研究所指挥所中心的全体同志参与了部分章节的撰写工作,白皓、庄旭负责全书的编辑、校对、修订工作,在此一并表示感谢。

本书的部分研究成果分别受到中国博士后科学基金、国防预研基金、军内科研项目等课题的资助,通过本书,我们希望把在效能评估科研和实践过程中采用过的、积累的一些新方法贡献出来,为促进效能评估、综合评价领域的科研,出一点微薄之力。由于作者水平有限,加之时间仓促,不妥之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

作者
2009年5月于北京

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 效能的基本概念	1
1.1.1 效能的定义	1
1.1.2 效能的分类	2
1.2 效能评估的基本步骤	2
1.3 效能评估的层次	3
1.3.1 基于效能的分析	3
1.3.2 基于效能的优化	3
1.3.3 基于效能的设计	4
第 2 章 效能评估的基础理论	5
2.1 指标体系确定	5
2.1.1 指标体系确定的理想条件	5
2.1.2 确定指标体系的原则	6
2.1.3 确定指标体系的方法	6
2.2 指标值的预处理	8
2.2.1 定性指标值的量化	8
2.2.2 定量指标的规范化	9
2.3 标度分类及选择	12
2.3.1 标度分类	12
2.3.2 标度的分析比较	13
参考文献	22
第 3 章 经典效能评估方法	23
3.1 层次分析法	23
3.1.1 层次分析法基本思想	23

3.1.2	AHP 法的基本步骤	23
3.1.3	AHP 法的计算方法	24
3.1.4	AHP 法的特点	26
3.1.5	AHP 法的适用范围	26
3.2	ADC 分析法	27
3.2.1	ADC 分析法的基本思想	27
3.2.2	ADC 分析法的基本步骤	27
3.2.3	ADC 分析法的计算方法	27
3.2.4	ADC 分析法的特点	28
3.2.5	ADC 分析法的适用范围	29
3.3	系统效能分析法	29
3.3.1	SEA 法的基本思想	29
3.3.2	SEA 法的基本步骤	30
3.3.3	SEA 法的特点	30
3.3.4	SEA 法的适用范围	31
3.4	模糊综合评估法	31
3.4.1	模糊综合评估法基本思想	31
3.4.2	模糊综合评估法的评估步骤	32
3.4.3	模糊综合评估法的计算方法	32
3.4.4	模糊综合评估法的特点及适用范围	34
3.5	灰色白化权函数聚类法	34
3.5.1	灰色白化权函数聚类法的基本思想	34
3.5.2	灰色白化权函数聚类法的基本步骤	35
3.5.3	灰色白化权函数聚类法的特点	37
3.5.4	灰色白化权函数聚类法的适用范围	37
3.6	系统动力学评估方法	38
3.6.1	系统动力学方法的基本步骤	38
3.6.2	系统动力学模型	38
3.6.3	系统动力学方法的特点	41
3.6.4	系统动力学方法的适用范围	41
3.7	指数法	41
3.7.1	指数法的基本思想	41
3.7.2	指数法的基本步骤	41
3.7.3	指数法的特点	42

3.7.4	指数法的适应范围	42
3.8	探索性评估法	42
3.8.1	探索性分析方法的基本思想	42
3.8.2	基于仿真的探索性分析方法	43
3.8.3	基于计算实验的探索性分析方法	44
3.8.4	探索性分析方法的特点	45
3.8.5	探索性分析方法的适应范围	46
	参考文献	46
第4章	组合赋权效能评估方法研究	48
4.1	重要性权重计算	48
4.1.1	两两赋值法	48
4.1.2	环比系数法	49
4.2	信息量权重计算	50
4.2.1	基于信息熵的赋权法	50
4.2.2	基于离差最大化的赋权法	51
4.3	独立性权重计算	51
4.4	基于组合赋权思想的权重确定	52
4.4.1	主观、客观赋权法的优缺点	52
4.4.2	指标权重的组合赋权法研究	53
4.4.3	权系数的确定	60
4.5	基于兼容度的各种算法比较分析	61
4.6	效能分析评估实例	61
4.6.1	评估实现	62
4.6.2	算法分析	64
	参考文献	65
第5章	基于多属性决策的效能评估方法研究	66
5.1	定量指标效能评估方法研究	66
5.1.1	初步筛选法	66
5.1.2	TOPSIS 原理	67
5.1.3	基于主成分的 TOPSIS 方法研究	69
5.1.4	实例分析	73
5.2	基于集值统计的模糊权重确定算法研究	77

5.2.1	区间数特征向量法	77
5.2.2	基于集值统计模糊权重的确定	79
5.2.3	决策者权重	80
5.2.4	一致性检验	81
5.2.5	应用实例	81
5.3	定性与定量相结合的 TOPSIS 方法研究	84
5.3.1	基本概念	84
5.3.2	规范化方法	85
5.3.3	模糊 TOPSIS 算法实现	87
5.3.4	应用实例	89
	参考文献	90
第 6 章	基于灰色关联理论的效能评估方法研究	92
6.1	灰色理论的基本概念	92
6.1.1	灰色系统的基本原理	92
6.1.2	灰数及白化	92
6.1.3	灰色关联分析概述	94
6.2	基于灰色关联决策的效能分析算法研究	95
6.2.1	灰关联分析模型	95
6.2.2	基于灰色关联决策的效能分析算法原理	98
6.2.3	实例分析	99
6.3	基于灰色区间关联的效能分析算法研究	101
6.3.1	灰色区间关联原理	102
6.3.2	最大关联度算法	104
6.3.3	最小关联度算法	104
6.3.4	综合关联度算法	104
6.3.5	实例分析	105
6.4	基于 AHP 的灰色效能评估算法研究	107
6.4.1	基于 AHP 灰色效能评估模型	107
6.4.2	实例分析	109
	参考文献	111
第 7 章	基于粗糙熵的效能评估方法研究	112
7.1	粗糙集的基本概念	112

7.1.1	知识系统	112
7.1.2	不可分辨关系	112
7.1.3	近似与粗糙	113
7.1.4	区分矩阵	113
7.2	基于粗糙集的仿真数据预处理	114
7.2.1	基于粗糙集的仿真数据预处理步骤	114
7.2.2	基于 BBC 算法的仿真数据离散化	114
7.2.3	基于 HORAFA 算法的仿真数据约简	117
7.2.4	实例分析	118
7.3	基于粗糙熵的效能评估算法研究	121
7.3.1	粗糙熵	121
7.3.2	基于粗糙熵的效能评估算法	123
7.3.3	基于兼容度的算法比较分析	125
	参考文献	128
第 8 章	经典体系结构验证评估方法	129
8.1	基本概念	129
8.1.1	体系结构	129
8.1.2	体系结构框架	129
8.1.3	体系结构视图	131
8.2	体系结构评估现状	134
8.2.1	结构性评估的基本描述	135
8.2.2	基于场景的体系结构评估方法	136
8.2.3	基于度量和预测的体系结构评估方法	138
8.2.4	美军体系结构验证评估研究进展	141
8.2.5	美军体系结构框架与产品的设计、定制过程	146
8.3	典型体系结构验证评估方法分析与比较	148
8.3.1	相关术语	148
8.3.2	SAAM 方法分析	148
8.3.3	ATAM 方法分析	151
8.3.4	ALPSM 方法分析	152
8.3.5	ALMA 方法分析	153
8.3.6	SBAR 方法分析	155
8.3.7	SAAMCS 方法	156

8.3.8	ESAAMI 方法	157
8.3.9	JMACA 方法分析	158
8.3.10	方法的分析比较	166
	参考文献	168
第 9 章	体系结构验证评估方法研究	169
9.1	基于 ATAM 和 CBAM 体系结构验证评估方法研究	169
9.1.1	体系结构权衡分析方法(ATAM)	170
9.1.2	成本利益分析方法(CBAM)	181
9.1.3	基于 ATAM 和 CBAM 的综合体系结构评估方法研究	185
9.2	基于场景的体系结构单指标的评价方法研究	189
9.2.1	SBAE 评价方法	189
9.2.2	实例分析	191
9.3	基于未确定测度的体系结构验证评估方法研究	193
9.3.1	体系结构的质量要素	193
9.3.2	体系结构的评价指标体系	194
9.3.3	评价指标间的相关性分析	196
9.3.4	基于未确定测度的体系结构评价方法	199
9.3.5	实例分析	200
	参考文献	202

第1章 绪论

1.1 效能的基本概念

人们在从事某项工作、制造某种产品或构造某个系统等活动时总是从中追求所得的收效,即活动的效果,在军事活动中,尤其是围绕军事装备或系统的活动中,效果则称为效能,用效能来体现军事装备或系统所具有的价值,这里价值是指军事装备或系统能达到的某个或某些任务目标的能力大小。

1.1.1 效能的定义

对系统效能的定义,目前并没有统一的标准,不同的组织提出了不同的定义。

① 美国航空无线电研究公司的定义:“在规定条件下使用系统时,系统在规定时间内满足作战要求的概率”;

② 美国海军的定义:“系统能在规定条件下和规定时间内完成规定任务之程度的指标”或“系统在规定条件下和在规定时间内满足作战需求的概率”;

③ 美国麻省理工学院的 A. H. Levis 等人在评价 C³I 的效能时的定义:“系统与使命的匹配程度”;

④ 美国工业界武器效能咨询委员会(WSEIAC)的定义:“系统效能是预期一个系统满足一组特定任务要求的程度的度量,是系统可用性、可信性和固有能力的函数”;

⑤ 我国军用标准 GJB451A-2005《可靠性维修性保障性术语》中规定的系统效能是:系统在规定的条件下和规定的时间内,满足一组特定任务要求的程度。它与可用性、任务成功性和固有能力的有关。

由此可见,系统效能是一个相对的、定量的值,需要考虑特定的使用环境和特定的任务目标。而系统效能评估是指对系统效能进行设计、分析、评价和优化等。

1.1.2 效能的分类

按照度量方式的不同,效能可以分为指标效能和系统效能。指标效能即对影响效能各因素的度量,如对可靠性的度量、对防护能力的度量等,或者是对某一武器系统的单一目标所能达到程度的度量;系统效能是指从系统角度对影响效能的各因素进行综合评价,最后得到单一的度量值,以便于决策者参考。指标效能的度量较简单,只反映系统的某一个或几个方面,当只关心效能的某一方面时可以考虑指标效能;系统效能需要考虑的因素较多,评估分析具有一定的难度。

按照系统环境不同可以分为自身效能和使用效能。系统的自身效能是指系统本身所蕴涵的能力,是一种相对静态的效能。而使用效能,有时称为作战效能,指在规定条件下,运用军事装备的作战兵力执行作战任务所能达到预期目标的程度。这里,执行作战任务应覆盖军事装备在实际作战中可能承担的各种主要作战任务,且涉及整个作战过程,因此,是任何军事装备的最终效能和根本质量特征,使用效能需要比本身效能考虑更多的因素,如使用环境、目标任务等。

1.2 效能评估的基本步骤

系统效能评估通常包括三个基本内容:首先是定义系统效能的参数,并选择合理的效能度量指标;其次是根据给定的条件,计算效能指标的值;然后是进行多指标效能的综合评价,即由诸效能参数的指标值求出效能综合评价。

归纳起来,系统效能评估流程如图 1-1 所示,包括如下几个基本步骤:

第一步,明确任务,明确系统的效能分析的目标;

第二步,定义系统,对系统进行结构分析,功能分析,工作描述,性能理解;

第三步,选择描述系统效能的变量和参数,变量宜少不宜多,应抓住主要因素,既全面又精练概括,而且要求变量物理意义明确,对系统效能敏感;

第四步,研究确定系统效能度量指标,指标既应切合系统技术特点,又能够确切体现战术任务要求;

第五步,构造系统效能评估模型;

第六步,数据准备,包括系统和对象的先验属性和内在规律性;

第七步,设立评估案例,进行效能分析评估实验;

第八步,对评估结果进行分析和验证,根据发现的问题进行修改和完善。

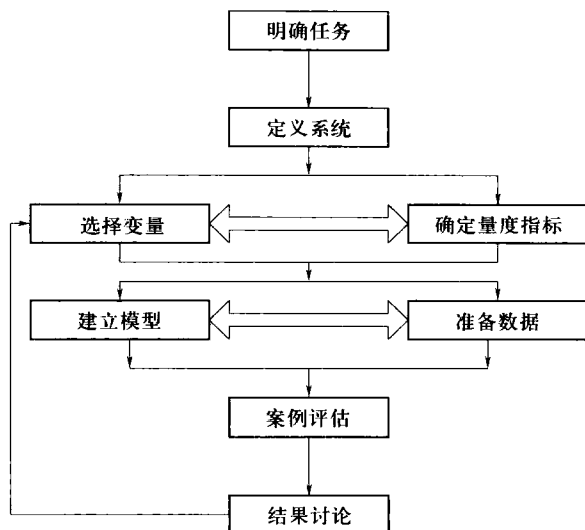


图 1-1 系统效能评估流程

1.3 效能评估的层次

1.3.1 基于效能的分析

效能分析就是根据影响系统效能的主要因素,运用一般系统分析的方法,在收集信息的基础上,确定分析目标,建立综合反映装备达到规定目标的能力测度算法,最终给出衡量系统效能的测度与评估。主要采用的方法有灵敏度分析法、计算机仿真法等。装备效能分析的主要因素包括,装备的可靠性、维修性、保障性、测试性、安全性、生存性、耐久性和人的因素等。

此外,对系统效能的分析,还应考虑系统的结构分析,运用系统工程中的一般系统结构分析方法,针对影响系统效能的各因素所具有的不同特征,分别建立定量分析测度,并在数据分析的基础上,建立不同特性的数学模型,实现系统效能的综合分析与评估,这就是效能分析研究的主要内容。

1.3.2 基于效能的优化

效能的优化是在效能的分析基础上,对系统效能所涵盖的研究内容做优化分析,给出效能优化的结论。在研究装备系统的效能优化问题时,还存在着系统结构的优化问题,如何在一定的费用约束下,获取系统的最佳效能,是效能优化

的另一个关键性问题。

效能的优化问题的研究涉及的应用面很广,例如通信网的网络结构优化问题、系统的结构可靠性优化问题、系统工程实践方案的优化决策、维修及保障计划的优化设计与实施等。可以说在系统的全寿命周期内,从系统的设计、研制、维修、测试、保障等都存在着最优问题。

从优化理论与方法的角度分析,目前,可采用的优化方法除运筹学中的大量优化算法(线性规化、非线性规化、多目标规化、整数规化、动态规化等)之外,还可以采用随机规化、模糊规化、演化规化等大量的智能化理论与方法,这些方法必将进一步推动效能优化问题的研究。

1.3.3 基于效能的设计

基于效能的设计指系统在研发过程中,以效能为目标对系统进行开发设计。基于效能的设计主要包括系统的可靠性设计、维修性设计、保障性设计及系统的测试性设计等。这些设计应融入系统的工程设计之中,即必须在系统科研设计的过程中考虑最终系统所能体现的效能。在系统科研过程中不能仅注重提高系统的固有能力和,还要注意到系统效能度量的多元性,在影响效能的众多主要因素中,如果不综合考虑进行科研设计,将无法获得高效能的系统。