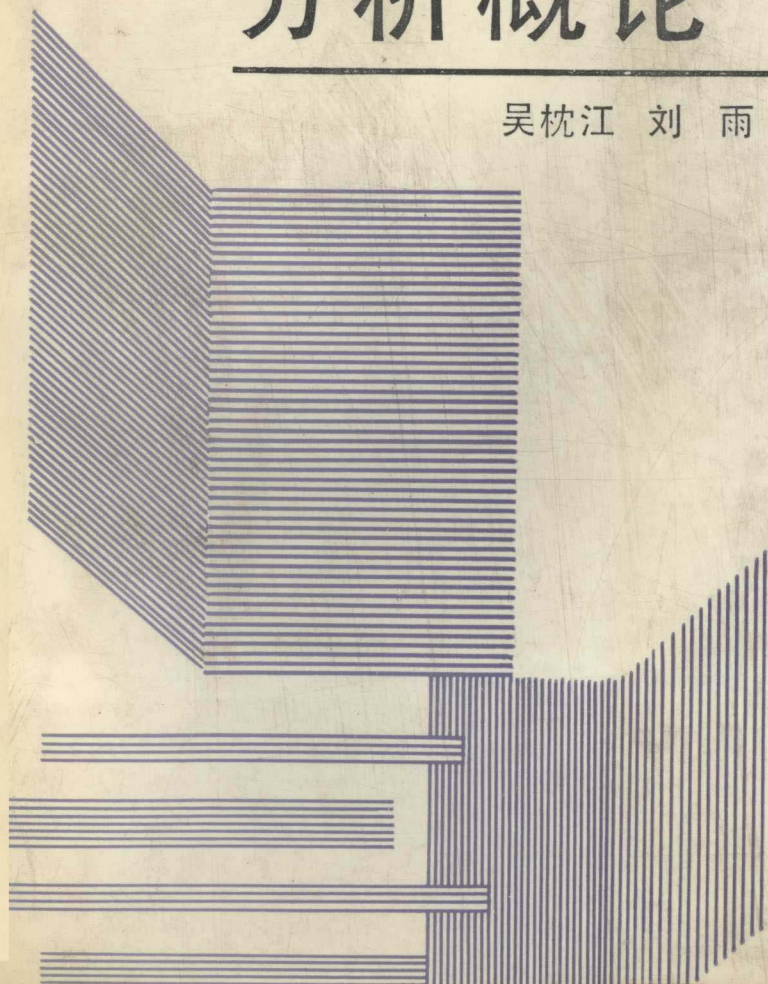


● 研究生教材 ● 研究生教材

指挥控制系统 分析概论

吴枕江 刘 雨 等编著



■ 研究生教材 ■

吴枕江 刘 雨 刘景伊 孙茂印 编著

指挥控制系统 分析概论

国防科技大学出版社

ISBN 7-81024-193-1

定价：(平) 5.80元

(静) 7.80元

[湘]新登字009号

内 容 简 介

指挥控制系统分析是一个新兴领域,已有不少研究成果。本书的目的就是要介绍其中的一些重要分析方法和它的研究概况。全书共八章,主要内容有两军作战模型、Petri网分析法和指挥控制系统各种功能的分析。书中各章节具有一定的独立性,读者可根据自己的兴趣选择阅读。

本书可用作有关研究生和高年级本科生的教材,也可供从事指挥控制、通信与计算机网络、柔性制造系统、交通管制等领域工作的研究和管理人员参考。

指 挥 控 制 系 统 分 析 概 论

吴枕江 刘 雨 刘景伊 孙茂印 编著

责任编辑:胡见堂 朱淑娥

*

国防科技大学出版社出版发行

新华书店总店科技发行所经销

国防科技大学印刷厂印装

*

开本: 850×1168 1/32 印张: 14 字数: 350千

1992年10月第1版第1次印刷 印数: 1200册

ISBN 7-81024-193-1

E·12 定价: (平)5.90元

(精)7.90元

《研究生教材》出版说明

研究生教育是我国高等教育的重要组成部分。研究生必须打下本门学科坚实的理论基础和掌握系统的专门知识，并具有从事科学研究工作以及担任专门技术工作的能力。

为加强研究生课程建设，满足研究生教学的需要，我们组织出版研究生系列教材。教材编著者都是我校多年从事研究生培养工作，有丰富教学和科研经验的教师。

为了保证研究生通过课程学习，在本门学科上掌握坚实的基础理论和系统的专门知识，在组织编写研究生教材的过程中，首先，强调突出重点，注意反映课程的基本内容和基本知识，以保持教材基本内容的相对稳定性和系统性，以及对本课程有一定的覆盖面。同时，要求教材的编写要着眼于研究生未来的工作和现代科学技术发展

的需要，注意反映国内外的最新研究成果和发展趋势，具有一定的学术水平，使研究生能迅速接近该学科发展的前沿。当然，在教材的结构和阐述方法上，要求条理清楚，叙述严谨，论证充分，文字简炼，符合人们的认识规律。这样，使研究生通过课程学习不仅得到足够的科学训练，培养了能力，发展了智力，而且有利于教师传授知识和研究生自学。总之，力求使研究生教材具备系统性、先进性、科学性和可读性。

尽管我们主观上希望研究生教材质量高一些，并在教材的选题、组稿、编审出版各个环节，都力求精益求精，但由于我们对出版研究生教材的经验不足，缺点错误在所难免，敬请同行专家和广大读者指正。我们希望通过研究生教材的出版，能为我国，特别是军队的研究生教育事业奉献微薄之力。

国防科技大学研究生院

一九九一年九月

前 言

指挥控制系统的理论研究已有10余年历史,虽然还没有一个统一的理论,但已有不少研究成果。我国在这一领域的研究正在开始,并获得越来越多的重视。为了进一步推动在这一领域内的研究工作,把已有成果和主要研究方法作系统的介绍是很有意义的。

指挥控制系统是一个很特殊的系统。首先,它是一个大规模控制系统,因为它的功能就是指挥与控制众多的资源(人和武器)同对方进行战斗。但又有别于它,因为一般的控制系统所讨论的只是现实的物理装置,而指挥控制系统是一个人机系统。不尽如此,由于在现代战争中,指挥司令部往往是由若干个指挥员所组成,因而它应是一个由多人组成的队决策组织。在这样一个组织中,各指挥员在地区上分散,为了一个共同的目标而协同作战。这一特点进一步决定了它是一个分布式异步并行处理的决策系统,有别于完全分散或完全集中的系统。

由于以上所述特点,因此指挥控制系统的理论分析涉及到控制理论、人机系统、通信理论、运筹学等学科,任一学科都不能单独包含它。由于它与以上学科之间的内在联系,所以各学科的新进展必将对指挥控制系统的分析有所促进,反之亦然。

指挥控制理论分析的题目很大,显然难以包罗万象。有鉴于此,本书除了介绍一些常见的方法外,想以具有代表性的分布式队决策为线索介绍有关方法,如 Petri 网分析,分布式假

设检验,分布式资源分配等。也许这样更能体现出指挥控制系统分析的总体概况和目前的研究水平。本书在内容上可分三个层次。第一层次为对抗双方的作战模型,可以说是总体分析。第二层次为Petri网分析法,它评估某一方的指挥控制系统的性能与结构。由于Petri网的发射条件和运行规则的灵活性,使得它可以有效地模化分布式异步并行处理系统,这正是指挥控制系统的突出特征。第三层次为指挥控制各种功能的分析。为了对它进行更深入的研究,可把一个指挥控制系统分解成若干功能来分析。第一章绪论中提到有8个指挥控制功能,任何功能的分析均属于这一层次的研究范围,但本书仅研究其中两项最重要的功能:信息获取和决策功能。情况评估(第四章)分析信息获取功能;任务选择和资源分配(第六、七两章)分析决策功能。

除此之外,本书把人机系统和队决策的分析贯穿于整书。如规范-描述研究法(第五章)讨论如何把人的因素纳入到指挥控制系统模型中去,其他各章也多次用到这一方法。本书除第一、二两章外,其余各章都是讨论队决策的各种问题。而第八章的队决策是讨论一般性问题,在作更深入的研究时具有一定的指导意义。以上两问题的介绍是本书的重要内容。

陈丹怀同志、郭桂蓉教授、刘馨宝教授、欧阳鄂教授等先后审阅了本书,提出许多宝贵意见,对本书的编写和出版给予了重要的帮助与支持,对此,我们表示深切的谢意。

编者还要感谢陈国顺和曹志刚两同志的帮助,陈国顺同志曾参加第四、五两章中部分内容的编写。

由于我们水平有限,书中难免存在缺点和错误,希望读者批评指正。

编者

1992年4月

• 目 录 •

第一章 绪 论

一	什么是指挥控制系统	(1)
二	两类军事指挥系统	(3)
三	指挥系统的一般问题	(5)
四	基本研究方向	(8)
五	研究概况	(14)

第二章 作战模型与分析

第一节	Lanchester 方程的随机模型	(21)
一	确定型 Lanchester 方程	(21)
二	随机模型	(22)
三	稳态解 $P_{x,y}(\infty)$ 的性质	(31)
第二节	马尔可夫模型	(34)
一	马尔可夫损耗-增援模型	(34)
二	马尔可夫纯损耗模型	(37)
三	纯损耗模型的平均损耗率	(39)
第三节	炮战参考模型	(43)
一	参考模型	(43)
二	对抗位置问题	(44)
三	火炮边移动边射击	(47)
四	目标还击情况下的火炮位置问题	(49)
第四节	概率逻辑模型	(51)

一	模型的建立	(53)
二	冲突结果	(54)
第五节	突变论模型	(57)
一	突变论模型一般概念	(57)
二	歧点型突变模型	(60)
三	蝴蝶形突变模型	(61)
第六节	MCES分析法	(62)
一	MCES概念	(63)
二	MCES应用实例	(67)

第三章 Petri 网在 C^3 系统中的应用

第一节	绪论	(71)
第二节	Petri 网基本理论	(74)
一	基本定义	(74)
二	S-不变量和T-不变量	(81)
三	Petri 网理论与图论	(84)
四	时间 Petri 网	(87)
第三节	决策组织的描述与分析	(92)
一	信息论方法	(93)
二	单个决策员模型与分析	(102)
三	两人决策组织模型与分析	(111)
第四节	决策组织结构的设计	(118)
一	决策组织的 Petri 网交互模型	(118)
二	约束条件	(120)
三	算法描述	(122)
四	应用举例	(130)
第五节	确定型决策组织的性能分析	(134)
一	引言	(134)

二	最大流通率的计算	(137)
三	执行顺序表分析	(154)
第六节	随机型 Petri 网的性能分析	(169)
一	马尔可夫链分析法	(169)
二	随机事件图性能分析方法	(175)
第七节	小结	(198)
附 录	SEG 状态概率分布递推算法	(199)

第四章 情况评估中的假设检验问题

第一节	导言	(203)
第二节	集中式假设检验问题	(203)
第三节	分散式假设检验问题	(209)
一	问题的描述	(209)
二	分析与求解	(211)
三	在最小错误概率函数下的解	(216)
四	举例	(217)
五	数据合成	(219)
第四节	分布式假设检验的队决策问题	(220)
一	队决策问题	(220)
二	问题的描述	(221)
三	一般问题的解	(224)
四	举例	(225)
五	定理证明	(230)
第五节	分散决策与检验问题的复杂性	(241)
一	复杂性的分类	(241)
二	无通讯合作问题	(242)
三	分散检测	(244)
四	队决策	(245)

第五章 规范-描述研究法

第一节 导言	(246)
第二节 三阶段设计法	(249)
一 第一阶段(规范阶段)	(249)
二 第二阶段(描述阶段)	(258)
三 第三阶段(综合阶段)	(275)
四 组织测试	(284)
第三节 队决策实验研究模型	(285)
一 导言	(285)
二 实验方案	(286)
三 实验装置的排队网模型	(289)

第六章 任务选择

第一节 任务选择的动态决策模型	(295)
一 导言	(295)
二 模型研究的思路	(299)
三 系统动态方程	(303)
四 感知模型	(306)
五 信息处理器	(307)
六 决策策略	(316)
七 模型的结果	(323)
第二节 任务选择的排队模型	(326)
一 模型的描述与分析	(327)
二 最佳控制策略的结构与特性	(337)
三 数值结果	(345)
附录	
1. Luce选择公理	(349)

2. P1—P4 证明	(353)
-------------------	-------

第七章 资源分配

第一节 单决策员随机资源分配	(362)
第二节 两决策员随机资源分配的规范-描述模型	(368)
一 实验描述	(369)
二 规范模型	(370)
三 初级规范-描述模型	(373)
四 模型的修正	(378)
第三节 大规模资源分配问题	(380)
一 资源调度	(380)
二 决策树的产生	(387)
三 减小计算量的方法	(391)

第八章 队决策问题讨论

一 导言	(395)
二 队决策的一般模型	(400)
三 变异论题	(408)
四 在经济方面的应用	(417)

中英名词对照

参考文献

第一章 绪 论

一 什么是指挥控制系统

谈到军事指挥控制系统，我们曾有不同的名称： C^2 （指挥与控制）， C^3 （加通讯）， C^3I （加上情报）， C^4I （再加上计算机）。其中 C^2 是核心，情报与计算机的加入是为了强调所研究系统的不同成分与功能，实际上它们指的是同一事物^[1]。本书着重于讨论关键性的 C^2 系统，有时称为 C^3 系统或简称指挥系统。

指挥控制系统有众多的定义，美国军事术语词典所引用的是常见的一种。该定义称“ C^3I 系统就是指挥员对其所属部队行使权力、进行管理、发号施令时所需要的设备、器材、程序软件及各种有关人员的总称”。以上是从军用术语解释角度出发进行定义的。MIT 教授 Athans 从学科的观点出发，给出了 C^2 的另一组定义，它对 C^3 理论的发展是很重要的^[2]。下面是所给出的若干定义。

- C^2 过程：军事指挥员(WC)对资源和设备的派遣或配置作出决策，使得上级下达的任务能得以完成。
- C^2 职权与责任：职权指一个特定指挥员能够指示、下命令、部署、移动和控制上级给与他的兵员和武器装备。责任是完成上级下达给他的特定任务。
- C^2 组织：它指分层型式和组织规则，指挥人员通过它并利用在战争领域、地理区间上的 C^2 职权和责任把自

已组织起来。

- C² 系统元素：指物理、技术硬件、软件，它们产生、管理、通讯并显示信息。

典型的 C² 系统元素：

- (1) 感知器（固定的与移动的）；
- (2) 通讯线路（通常为 C² 战术电台和有关装置）；
- (3) 计算机和显示器（硬、软件、微程序语言，决策辅助等）；
- (4) 武器平台和武器系统。

C² 系统：规定元素间联系的物理系统及其结构。因此 C² 系统

- (1) 为在 C² 组织中的不同 WC 产生数据和信息；
- (2) 允许 WC 之间的协作；
- (3) 提供一种手段来执行由 C² 过程产生的决策。

注意，在一个 C² 系统中的元素和 WC 可能分布在很广泛的地区上。明了定义是一件重要的事情，这有利于对 C³ 系统进行分析。从以上分析可知，C³ 系统的功能是给指挥员提供准确而及时的情报，使得指挥员能作出正确的决策，配置与派遣军力，分配必要的资源，完成赋予的任务。为了完成这些任务，指挥员必须建立一个指挥与控制组织结构，以便有效地处理千变万化的战术形势。必要的 C² 组织结构在很大程度上决定于感知器，通讯和武器技术（系统元素）。例如在战术通讯还不存在时，指挥员只能进行开环（即按军事原则）指挥。不同的组织结构在有通讯时将会更有效，这样兵力和资源协调能实时进行（闭环 C²）。感知器和决策人员的分布式特征显然与 C² 系统结构有关联，不可能期待所有的信息均能及时地传到所有决策员那里去。分布式结构将消耗宝贵而脆弱的资源，产生大的时延。以上说明在军事 C² 系统中存在着系统理论

问题，对这一点我们还将进行更进一步的讨论。

现代指挥控制系统的研究在50年代就开始了。从这以后，随着武器系统和计算机的迅速发展，指挥系统已进入到军队各层次。上至军队最高指挥部，下至营团单位，包括战略也包括战术指挥系统。使用范围很广泛，涉及到战斗指挥，部队管理以及后勤支援。就是设计一种武器，如飞机或军舰，都必须把它看成是大指挥系统的一个节点来全面考虑。

指挥系统是在现代化战争条件下辅助指挥员发挥指挥职能，完成作战任务，提高作战效能的必不可少的现代化装备，它是战斗力的一个重要组成部分。好的指挥控制能力和武装部队是同等重要的，因而指挥控制系统是一个十分重要的领域，应该引起我们充分重视。

二 两类军事指挥系统

这节要介绍两个不同的指挥系统^{[2], [3]}，目的是要简单的了解一下指挥系统的组成和任务，以便归纳出一些共性的问题进行研究。第一个是海军战斗群的防御，第二个是战略防御即星球大战计划。

1. 海军战斗群防御

海军战斗群(BG)一般由一艘航空母舰和若干护卫舰队所组成。它们用感知器探明情况，用所携带的武器进行防卫和进攻。

对BG的威胁可能来自四面八方，即在地理上是多方位的。威胁的类别各异，如潜艇，水面舰只和飞机。它们可能发射导弹、鱼雷、炮弹或投掷炸弹。各种武器上可能携带的是常规、也可能是核弹头。

由于害怕敌威胁的核打击，而把自己的军舰部署在广阔的地理位置上，因而BG的防卫是多层次的。首先是“外层防御”，

即在敌人能发射远距离导弹之前拦截它，军舰部署得广阔有利于对敌目标的侦察。其次是“区域防御”。最后是“近区防御”，即对近区敌目标给予打击，这可用火炮和近程导弹反击敌人，或者使用干扰设备使敌威胁的进攻失效。

通讯对指挥系统至关重要，它关系到信息的获取与命令的下达是否通畅。首先要求通讯是可靠的，即使在敌人打击和干扰下部分通讯设施和感知器失效时，剩下的部分仍能完成探测与指挥任务。这就要求通讯系统有比较好的结构与性能，感知器有良好的协调与算法等等。其次要求通讯具有保密性。由于舰只分布广阔，军舰之间的通讯容易被截获，故最好使用视距通讯。同时采取什么通讯策略也值得研究，最好的办法是在有必要时才通讯，而不是按惯例把每一件事告诉每一个人，以尽量减小通讯量和暴露的可能性。

对于现代战争条件下的海军战斗群，由于军舰分布广阔和所指挥的装备的复杂性，其指挥职能往往不是由一个人，而是由一个指挥司令部来完成。该司令部有一名总指挥，下设若干战斗指挥员分别指挥反潜、反水面舰只、防空和电子战。各战斗指挥员都是该战斗领域内的专家，他们互相协调以保证战斗的胜利。这样一个司令部的结构叫做“队”，这样的作战指挥称为分布式指挥控制。他们如何协调、利用有限的资源（资源分配）来打击敌目标（任务选择）同样是一个值得研究的问题，海军战斗群防御系统为我们留下了很多理论研究课题。

2. 星球大战的战场管理

星球大战是为对付敌人的洲际导弹的多层次防御系统。敌导弹可从陆基也可以从潜艇发射。洲际导弹的轨道很长，有上升、弹道和重入大气层阶段，因而星球大战过程也可分为多层次防御，每个层次需要不同的感知器、武器和决策时限。感知器可能设置在不同的卫星、飞机和陆基节点上。使用的武器包

括X射线和化学激光器、引导陆基激光的反光镜、电磁发射武器和轨道机动杀伤飞行器等。显然不同层次防御的时限要求也不相同。

星球大战功能的发挥有赖于战场管理的能力。在该系统中大量的感知器信息的加工,作战方案的制定,不同类型武器的选择是人无法胜任的,情景要比海军战斗群复杂得多。这要求使用计算机及分布式算法,在理论上涉及到大系统估计、优化与控制,这也是一个十分困难的理论课题。不仅如此,决策过程的实施还要考虑轨道力学和漏网敌威胁可能造成的破坏,因此问题的分析比海军战斗群更困难。

三 指挥系统的一般问题

虽然每个军事指挥系统有自己独特的一套任务,然而所有这些系统有其共性,可以将这些公共问题抽象出来进行研究。我们发现很多民用系统的管理与控制也有相似的问题,如民航订票、交通管制、计算机网络、电话交换和柔性制造系统等。上述任何领域中的进展都会为其他领域提供帮助。

1. 功能分解

考查一下各种指挥系统,为了保证任务的完成,它们都有一些共同的功能要执行,这些功能是:

(1) 威胁探测。以不同感知器的数据为基础,探测敌威胁的存在与属性。

(2) 目标跟踪。控制感知器跟踪目标,不断地给出有关敌威胁的数据。

(3) 鉴别。鉴别真假目标,除去诱饵。

(4) 识别。进一步识别真威胁的信息、抽取特征,为决策提供足够的根据。

(5) 战斗规划。在上述步骤的基础上制定出作战方案。