



海军工程大学“2110工程”资助

# 智能指挥 控制系统

周丰 刘忠 吴玲 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

E07

1031



NUAA2013067027

E07  
1031-1

# 智能指挥控制系统

周丰 刘忠 吴玲 编著



国防工业出版社

· 北京 ·

2013067027

图书在版编目(CIP)数据

智能指挥控制系统 / 周丰, 刘忠, 吴玲编著. —北京: 国防工业出版社, 2013. 8

ISBN 978 - 7 - 118 - 08801 - 4

I. ①智... II. ①周... ②刘... ③吴... III. ①智能系统 - 指挥控制系统 IV. ①E072

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 188684 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)

三河市腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

\*

开本 850 × 1168 1/32 印张 6 $\frac{7}{8}$  字数 176 千字

2013 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 26.00 元

---

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 88540777

发行邮购: (010) 88540776

发行传真: (010) 88540755

发行业务: (010) 88540717

# 前 言

指挥控制系统(简称指控系统)的逐步智能化是今后一段时间内指控系统发展的主流方向,目前指控系统中的信息处理环节无法发现和利用信息中存在的联系和规则,仅仅凭借指挥人员自身的专业知识和作战经验,难以从海量的战场数据中迅速、准确地获取清晰、有用的战场信息并有效地指挥作战。可以说,对信息的深层次处理和对武器的有效协同控制,已成为夺取战争胜利的“瓶颈”和“焦点”,鉴于现代战争中智能化装备的使用以及对信息处理能力需求的不断提高,指挥控制系统逐步实现智能化的需求变得越来越迫切。

全书共分八章。第1章对指挥控制系统模型进行了拓展,第2章给出了作战任务描述,第3章介绍了指控系统态势发觉,第4章介绍了指控系统的主动感知任务管理,第5章给出了作战任务管理中任务分配模型与仿真,第6章阐述舰艇编队对空防御目标智能分配,第7章阐述舰艇编队对空武器协同运用智能决策,第8章给出了舰艇编队指挥控制系统的智能化组网方法。

本书是将几位作者的研究成果经过进一步的组织和加工而完成的,另外,陈志刚、顾东杰、潘剑撰写了部分章节,同时,也参考了国内外许多专家学者的文章和专著,他们的著作为本书提供了丰富的营养,我们引用了其中的部分素材,使得本书能更好地反映相关研究领域的历史渊源和最新进展,在此向他们一并致谢。

本书在编写过程中得到了各级领导和机关业务部门的关心和支持,特别是国防工业出版社的大力支持及具体指导为本书出版创造了许多便利条件,在此表示衷心的感谢。

受到作者学术水平的限制,书中难免存在一些疏漏和不足,敬请读者批评、指正。

# 目 录

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| 第 1 章 指挥控制系统模型的拓展 .....          | 1  |
| 1.1 经典指控系统模型 .....               | 2  |
| 1.1.1 SHORE 指挥控制模型 .....         | 2  |
| 1.1.2 Lawson 指挥控制模型 .....        | 3  |
| 1.1.3 OODA 环指挥控制模型 .....         | 4  |
| 1.1.4 M - OODA 环指挥控制模型 .....     | 5  |
| 1.1.5 CECA 指挥控制模型 .....          | 6  |
| 1.1.6 扩展 CECA 指挥控制模型 .....       | 7  |
| 1.2 Imisec 指控系统模型的体系结构 .....     | 8  |
| 1.2.1 Imisec 指挥控制模型的框架 .....     | 8  |
| 1.2.2 Imisec 指控系统模型的构成和功能 .....  | 10 |
| 1.2.3 Imisec 指控模型态势分析的闭环运行 ..... | 13 |
| 1.3 国内外指控系统智能化的研究现状 .....        | 14 |
| 第 2 章 任务描述 .....                 | 18 |
| 2.1 任务的概念 .....                  | 18 |
| 2.2 任务模型描述 .....                 | 20 |
| 2.3 美军标准化作战任务描述 .....            | 24 |
| 2.3.1 联合任务清单 .....               | 24 |
| 2.3.2 典型任务分类 .....               | 26 |
| 第 3 章 指控系统态势发觉 .....             | 30 |
| 3.1 信息挖掘的理论基础 .....              | 30 |
| 3.1.1 信息挖掘的功能 .....              | 30 |
| 3.1.2 信息挖掘的方法 .....              | 31 |

|       |                        |    |
|-------|------------------------|----|
| 3.1.3 | 信息挖掘的过程 .....          | 34 |
| 3.2   | 态势发觉中的目标分群 .....       | 35 |
| 3.2.1 | 目标分群的定义 .....          | 35 |
| 3.2.2 | 目标分群的层次 .....          | 36 |
| 3.2.3 | 目标分群的步骤 .....          | 37 |
| 3.2.4 | 编群结构的动态维护 .....        | 38 |
| 3.3   | 基于变色龙聚类的目标编群算法 .....   | 40 |
| 3.3.1 | 变色龙算法的一般理论 .....       | 41 |
| 3.3.2 | 变色龙算法目标分群的步骤 .....     | 43 |
| 3.3.3 | 变色龙算法目标分群的算例 .....     | 45 |
| 3.4   | 基于信息挖掘的空间关系发觉 .....    | 46 |
| 3.4.1 | 空间关系挖掘的目的 .....        | 46 |
| 3.4.2 | B. Clarke 空间分析方法 ..... | 47 |
| 3.4.3 | 空间关系挖掘在态势发觉中的应用 .....  | 48 |
| 第4章   | 指控系统的主动感知任务管理 .....    | 51 |
| 4.1   | 主动感知任务管理的概述 .....      | 51 |
| 4.1.1 | 传感器协同的主要任务 .....       | 51 |
| 4.1.2 | 传感器协同的分层处理 .....       | 52 |
| 4.1.3 | 主动感知任务管理的系统结构 .....    | 53 |
| 4.1.4 | 主动感知任务管理的实现步骤 .....    | 56 |
| 4.2   | 主动感知任务管理中的任务分解 .....   | 59 |
| 4.2.1 | 任务分解的描述 .....          | 59 |
| 4.2.2 | 任务分解的步骤 .....          | 61 |
| 4.3   | 感知任务的集聚和分配 .....       | 63 |
| 4.3.1 | 感知任务的集聚 .....          | 63 |
| 4.3.2 | 感知任务的分配 .....          | 64 |
| 4.4   | 协同感知环境构建 .....         | 65 |
| 4.5   | 共享态势视图的形成 .....        | 65 |
| 4.6   | 感知任务的冲突消解 .....        | 67 |
| 4.6.1 | 冲突产生的原因 .....          | 68 |

|            |                             |            |
|------------|-----------------------------|------------|
| 4.6.2      | 冲突的典型特性 .....               | 68         |
| 4.6.3      | 冲突解决的步骤 .....               | 69         |
| 4.7        | 主动感知任务管理中的任务再调度 .....       | 71         |
| <b>第5章</b> | <b>任务管理中任务分配模型与仿真 .....</b> | <b>74</b>  |
| 5.1        | 仿真案例描述 .....                | 74         |
| 5.2        | 任务分配模型和求解算法 .....           | 79         |
| 5.2.1      | 任务分配数学模型 .....              | 79         |
| 5.2.2      | 任务分配求解算法 .....              | 82         |
| 5.3        | 任务分配问题求解 .....              | 84         |
| 5.3.1      | 任务分配求解中的启发式信息 .....         | 84         |
| 5.3.2      | 加权的优先级排序法 .....             | 87         |
| 5.3.3      | 仿真求解算法流程 .....              | 92         |
| 5.4        | 仿真结果及分析 .....               | 94         |
| 5.5        | 计划辅助生成 .....                | 103        |
| 5.5.1      | 多 Agent 辅助决策的建模 .....       | 105        |
| 5.5.2      | 基于 DBN 的多 Agent 计划生成 .....  | 113        |
| <b>第6章</b> | <b>对空防御目标智能分配 .....</b>     | <b>117</b> |
| 6.1        | 对空防御中的指挥控制 .....            | 117        |
| 6.2        | 基于多智能体的对空目标分配 .....         | 120        |
| 6.3        | 区域防御协调 .....                | 126        |
| 6.3.1      | 对威胁目标拦截的成功概率 .....          | 126        |
| 6.3.2      | 区域防御协调的实现 .....             | 127        |
| 6.4        | 中心协调 .....                  | 129        |
| 6.5        | 合同网协调 .....                 | 131        |
| 6.6        | 类 Brown 法 .....             | 132        |
| 6.7        | 各种协调机制的比较分析 .....           | 137        |
| <b>第7章</b> | <b>武器协同运用智能决策 .....</b>     | <b>138</b> |
| 7.1        | 武器协同运用决策的体系结构 .....         | 140        |
| 7.1.1      | 问题的基本描述 .....               | 140        |
| 7.1.2      | 基于智能体的体系结构 .....            | 141        |

|              |                          |            |
|--------------|--------------------------|------------|
| 7.2          | 软、硬武器协同运用决策流程 .....      | 144        |
| 7.3          | 武器协同运用决策的算法模型 .....      | 146        |
| 7.3.1        | 基于合同机制的分布式任务分配 .....     | 146        |
| 7.3.2        | 基于交换合同的中间协作 .....        | 148        |
| 7.4          | 武器协同运用决策的设计与实现 .....     | 151        |
| 7.4.1        | JADE 技术规范 .....          | 151        |
| 7.4.2        | JADE 中的 Agent .....      | 153        |
| 7.4.3        | 软、硬武器协同运用决策仿真系统设计 .....  | 156        |
| 7.4.4        | 仿真研究 .....               | 164        |
| <b>第 8 章</b> | <b>指挥控制系统智能化组网 .....</b> | <b>168</b> |
| 8.1          | 智能化组网的概念 .....           | 168        |
| 8.1.1        | 指控系统组网 .....             | 169        |
| 8.1.2        | 即插即用的基本概念 .....          | 171        |
| 8.1.3        | 中间件的基本概念 .....           | 173        |
| 8.2          | 中间件技术的运用 .....           | 174        |
| 8.2.1        | 中间件的设计目标 .....           | 174        |
| 8.2.2        | 中间件系统架构体系及管理层次结构 .....   | 176        |
| 8.2.3        | 中间件资源节点管理器的功能需求 .....    | 182        |
| 8.2.4        | 中间件资源节点管理器的设计 .....      | 184        |
| 8.3          | 网格资源的管理 .....            | 185        |
| 8.3.1        | 网格资源策略管理模块 .....         | 185        |
| 8.3.2        | 网格资源适配器管理模块 .....        | 194        |
| 8.3.3        | 网格资源节点管理器模块 .....        | 198        |
| <b>参考文献</b>  | <b>.....</b>             | <b>202</b> |

## 第 1 章 指挥控制系统模型的拓展

在现代战争中,夺取信息优势成为战场活动的首要任务;掌握和使用信息资源的能力和水平,成为战争胜负的关键。随着大量观测器材的应用,作战指挥人员面临的问题不再是信息太少,而是信息太多。激增的数据背后隐藏着许多重要的信息,但同时,有的信息是冗余的,有的信息是完全无关的。此时,指控系统在显示目标信息时不应该仅仅是简单的罗列,而应该是将最重要的信息及时、准确地提交给决策者,使之能够对战场态势进行更高层次的分析。提供过多的不相关的信息会干扰和误导指挥人员,使之感到困惑。目前的指控系统中的信息处理环节无法发现数据中存在的关系和规则,仅仅凭借指挥人员自身的专业知识和作战经验,难以从海量的战场数据中迅速、准确地获取清晰、有用的战场信息。可以说,对信息的及时处理和对武器的有效使用,已成为夺取战争胜利的“焦点”和“瓶颈”,鉴于现代战争中智能化装备的使用以及对信息处理能力需求的不断提高,指挥控制系统必须逐步实现智能化的需求变得越来越迫切。

当前,智能信息处理技术的不断发展为指挥控制系统实现智能化提供了技术上的可能。但是,现实是:一方面,智能技术蓬勃发展,以新算法(遗传算法、神经网络)和新概念(边操作边学习,系统自组织)为代表的研究成果不断出现;另一方面,尽管在一些局部上利用智能信息处理方法实现了某些智能的功能,但是,作为一个整体,指挥控制系统始终不能智能地完成从目标发现到信息处理直至引导武器打击的所有环节。指控系统工程师更关心的是系统的互联、互通,而对于指控系统的智能化,却认为那几乎是遥不可及的事情。这使我们不得不去思考:究竟是什么样的力量在

阻碍着智能信息处理技术进入指挥控制系统的信息处理流程呢?从哪一个环节进行突破才能使智能信息处理技术应用于指控系统,从而使指控系统具有智能化呢?

我们认为:没有系统地从顶层设计的观点将智能信息处理的先进算法及概念,与指控系统通过“观测——评估——决策——行动”完成对敌目标打击的工程化需求相结合,是当前指挥控制系统未能实现智能化的主要原因。

为了对指挥控制过程中的各个环节的作用以及各环节之间的协作操作进行全面、整体的了解,需要对指挥控制过程进行建模,对指挥控制过程进行建模方法可以分为定性分析方法<sup>[1,2]</sup>和定量分析方法<sup>[3-13]</sup>,这里只局限于对定性分析方法的讨论。

对指挥控制过程进行建模,将有利于把与指挥控制相关的各种概念、关系组织成一个内在协调一致的逻辑系统,对指挥控制过程进行描述和解释的目的正是要模拟和改进此过程,本章将在给出几种典型指挥控制描述模型的基础上,对指挥控制系统模型进行推广与拓展,并将信息处理的智能化思想渗透到指挥控制流的各个环节,突破现代指控系统智能化的主要瓶颈,拓展现代智能信息处理在指控系统中的应用空间。

## 1.1 经典指控系统模型

### 1.1.1 SHORE 指挥控制模型

实施决策的过程可简单地用一个 SHORE 模型来刻画,如图 1.1.1 所示。

指挥控制系统本身可看做一个特大型、极复杂的实时资源管理系统,其决策制订过程实质上是基本的人的决策方式在过程、组织、设备、资源等方面的一个扩展,将指挥与控制过程与 SHORE 模型相对应,J. G. Wohl 于 1981 年提出了 SHORE 指挥控制模型,如图 1.1.2 所示。

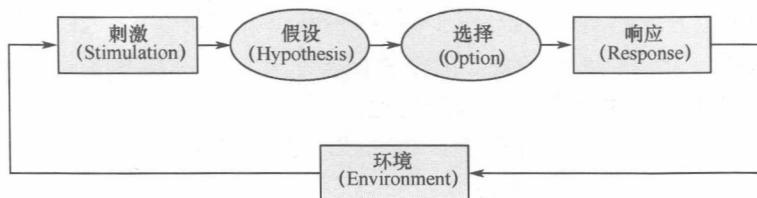


图 1.1.1 SHORE 决策过程模型

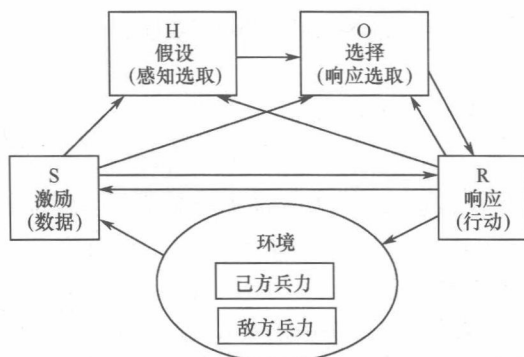


图 1.1.2 SHORE 指挥控制模型

此模型的含义是外部世界的变化刺激人的大脑,使之根据变化的情况提出相应的各种假设,对各假设进行推理,选择一个最为恰当的响应方案,将此响应方案施加到外部世界,引起外部世界新的变化,新的变化又将引起新的决策过程,该模型是一种基于认知科学的指挥控制模型,它突出了对指挥控制过程中认知活动的解释,但对控制过程的特点反映不足。

### 1.1.2 Lawson 指挥控制模型

1981 年, J. S. Lawson 提出了一种基于控制过程的指挥控制模型<sup>[1]</sup>, 如图 1.1.3 所示。

该模型的主要不足是对人的作用描述不够,以至于在应用中受限。

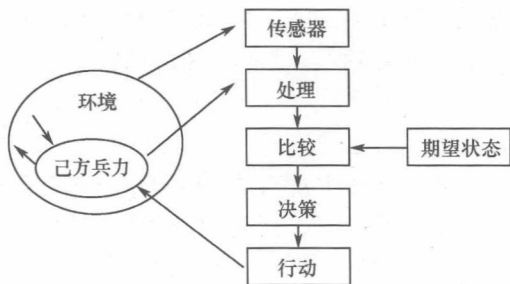


图 1.1.3 Lawson 指挥控制模型

### 1.1.3 OODA 环指挥控制模型

John R. Boyd 于 1987 提出了作战过程的“观测—评估—决策—行动”模型,即 OODA (Observe, Orient, Decide, Act) 环模型,也称为指挥控制环,如图 1.1.4 所示。

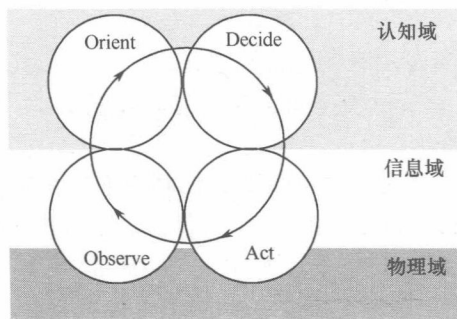


图 1.1.4 观测评估决策行动环指挥控制模型

在 OODA 环模型中,OODA 环具有周期性,周期的大小与作战的兵力规模、空间范围、作战样式有关,一个周期的结束是另一个周期的开始,OODA 环以嵌套的形式关联,例如在舰队作战系统中,最小的 OODA 环是近距武器系统的火力闭环控制环,在单舰层级上有 OODA 环,即舰艇指挥控制环,在编队层次同样有 OODA 环,这些指挥控制环相互嵌套,内环周期短,外环周期长。

OODA 环模型克服了 J. G. Wohl 的基于认知科学模型和 J. S. Lawson 的基于控制过程模型的不足,得到了广泛的应用,此模型在解释指挥控制战中敌我互动关系时比较成功。

OODA 环作为军事指控决策的认知模型,可用于分析决策处理过程中敌我双方的军事力量对比。合理的认知模型可在各种战场情况下精确地描述指挥员的所想以及预测其他行动,可以为军事分析家和决策者提供必要的指控信息帮助,使得他们可以更加有效地决策;可利用它制订军事训练计划、作战条令以及作战计划;通过理解思维的工作原理,可为  $C^2$  组织或者决策者提供有力的战场分析手段。

OODA 环理论为  $C^2$  的研究人员提供了一种描述冲突的方法,冲突表现在 OODA 环的时间竞争上,OODA 环试图描述清楚一般意义上的决策处理过程的各个阶段,因此,在每个指挥层次上都采用了 OODA 环的思想,给定层次上的指控决策环受制于其更高层指控决策环,而快的决策环就能掌握主动。

OODA 环理论存在三方面缺点:

(1) 缺乏模型过程之间反馈或前馈环表示,不能有效地表示  $C^2$  系统的动态决策性。

(2) 采用抽象的  $C^2$  决策模型,没有对 OODA 环提供更具体的描述。

(3) 采用严格的线性模型,这使得每个序列的过程不能适应于不同层次的决策者。

#### 1.1.4 M - OODA 环指挥控制模型

M - OODA (Modified OODA) 环修正可获得  $C^2$  决策的动态控制性能<sup>[15]</sup>。主要的改进包括:

(1) 将定位放在整个处理过程的中心,使观测过程的处理变得更为清晰。决策者可从扩展的 OODA 模型中清楚地了解信息的前馈和反馈环。

(2) 增加 OODA 环中观测和定位之间的循环,变成可反复观

测的动态环,由时间约束和不确定性因素两个标准控制。分析时间不够或出现了不可接受的不确定性因素时,反复过程中断,激活决策过程,选择合适的行动。

(3) 基于识别处理模型(RPD)的修正 OODA 模型,包括 5 个高层操作:观测、评估、决策、指示、执行,反映了一般的决策过程。

(4) 执行决策环(EDC)模型,比 OODA 环模型复杂,在两方面扩展了 OODA 环:①在 OODA 环中增加了前馈和反馈环以清晰地反映它们之间的控制关系,描述了与时间变量、态势认识程度、所选择行动以及可行性调整等相关的处理流程;②增加了许多与所选择的决策行动相关的过程。

### 1.1.5 CECA 指挥控制模型

CECA(Critique - Explore - Compare - Adapt)认知模型<sup>[16]</sup>(如图 1.1.5 所示)基于现代目标认知理论、思维理解的构造理论、心理模型和理论,表现为:

- (1) 设计合理的作战行动并评估行动的效果。
- (2) 以高层操作目标来评价计划的相关性和有效性。

CECA 环比 OODA 环更符合自然决策过程,但 CECA 模型并未建立 CECA 环框架与指控实践之间的联系、心理模型和通信之间的联系等。

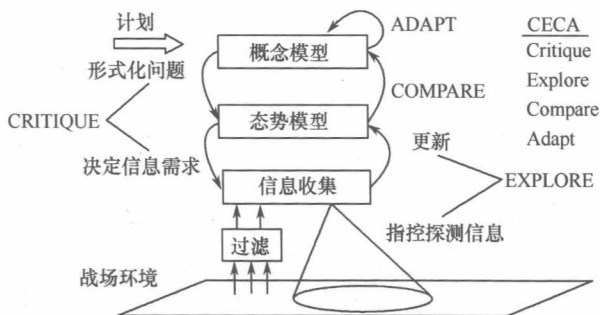


图 1.1.5 CECA 模型

### 1.1.6 扩展 CECA 指挥控制模型

扩展 CECA 指控认知模型如图 1.1.6 所示,将指控分解成观测、信息处理、指挥处理和通信,将整个  $C^2$  组织看做耦合的 2 个网络,即信息网络和指挥网络。由信息网实现 CECA 环中的态势模型,由指挥网构建 CECA 环中的概念模型。信息和指挥的分配和路由确定了组织的策略以及对信息的管理,信息网络和指挥网络的拓扑结构、通信成本和能力限制构成了组织结构约束。

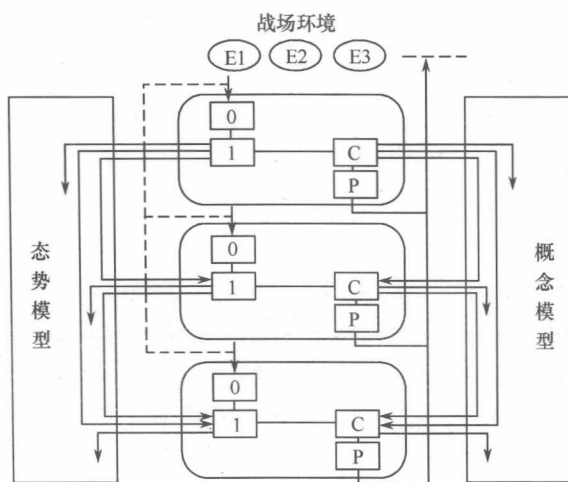


图 1.1.6 扩展 CECA 指挥控制模型

信息/指挥网络混合系统认知模型中,每个平台由 O 观测、I 信息、C 控制、P 处理四部分组成,具有监视、决策、处理和通信功能;接收三类信息流,即本平台观测的信息流、其他平台发送的信息流和指挥流;完成以下任务,即监视事件、接收信息流、融合接收的信息和执行决策,将接收的信息分解为可转换成指挥的信息和传递给其他平台的信息,将指挥信息变成该平台须执行的任务和传递给其他平台的指挥信息,由平台处理指挥任务。

## 1.2 Imisec 指控系统模型的体系结构

### 1.2.1 Imisec 指挥控制模型的框架

为了适应瞬息变化的战场环境,使指挥员不被信息的汪洋大海所淹没,从海量数据中准确、及时地发现有用信息并做出正确、作战决策,在完成敌方目标的信息并收集和数据融合以后,就需要有一种基于计算机与信息技术的智能化知识获取工具来提取蕴藏在这些数据中的深层信息,并在此基础上提炼出敌方的作战计划或作战企图。信息挖掘技术有望成为解决这个问题的行之有效的工具,它可为指挥员的决策分析提供智能化、自动化的辅助手段,提高系统的智能化程度及决策的科学性和时效性,在现代战争中争取更多的主动权。

在通过信息挖掘获得敌方作战计划或作战企图的推测以后,需要指控系统对作战空间进行主动感知,以获得相对准确的全局态势图像,进而引导探测设备对具有关键意义的信息盲区进行重点探测、对敌潜在目标主动感知以及实现对敌方作战计划或作战企图的进一步确认。引入信息挖掘与主动感知的指控系统模型框架如图 1.2.1 所示。

鉴于该指控系统模型以信息挖掘(Information Mining)、主动感知(Initiative Sensing)和作战协同(Engagement Cooperative)为特色,为了表述方便,以下将其简称为 Imisec 模型。

指控系统认知域中的态势分析被分解为态势感测、态势合成、态势发觉以及态势推演,在 Imisec 模型中分别由信息收集、信息融合、信息挖掘以及计划(意图)识别以及武器协同等环节实现,其中,与态势相关的包括以下几个部分:

(1) 态势感测。指信息从物理域或信息域映射到认知域的一种认知活动,是信息、数据进入认知域的输入过程。有两种感知方式,一种是直接感知方式,通过直接观察完成;另一种是间接感知