



KONGJIAN XINXI XITONG JIANMO
FANGZHEN YU PINGGU JISHU

空间信息系统建模 仿真与评估技术

熊伟 刘德生 简平 张睿 等著

Spatial Information System
Modeling and Simulation
Technology Assessment



国防工业出版社
National Defense Industry Press

空间信息系统建模仿真 与评估技术

熊 伟 刘德生 简 平 张 睿 樊鹏山 著
杨凌云 陈治科 郭 超 刘呈祥 翟 优



国防工业出版社

• 北京 •

内 容 简 介

本书共分为8章,其中第1章概述主要阐明空间信息系统的概念、内涵和发展现状;第2章主要介绍空间信息系统建模仿真中所需要的物理基础知识;第3章主要论述空间信息系统的体系结构建模技术;第4章论述空间信息系统的MAS建模技术;第5章主要论述了基于复杂网络的空间信息系统的建模与分析;第6章介绍了基于HLA的空间信息系统的仿真技术;第7章主要论述基于STK的空间信息系统仿真技术;第8章主要论述空间信息系统的效能评估技术。

本书可以作为通信与信息系统、系统科学等学科的硕士、博士研究生的教材和参考书,也可以作为科研院所相关专业工程技术人员的参考材料。

图书在版编目(CIP)数据

空间信息系统建模仿真与评估技术/熊伟等著. —北京:国防工业出版社, 2016.9

ISBN 978-7-118-11063-0

I. ①空… II. ①熊… III. ①空间信息系统 - 仿真模型 - 研究 IV. ①P208.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第214612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)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 21¼ 字数 381千字

2016年9月第1版第1次印刷 印数1—2000册 定价98.00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

空间具有“站得高、看得远、全球覆盖”的天然优势,是世界大国强国争夺的一个新的战略制高点,成为当今世界军事领域激烈竞争的焦点。而空间信息系统是以外层空间的各类卫星为平台,利用网络技术把天基平台上的侦察监视、导弹预警、通信中继、导航定位和气象观测等载荷设备有机地连接在一起组成的空间信息网络,它能够极大地增强信息的获取、处理、传输与分发能力,改变传统战争的作战样式,使航天强国在侦察、预警、导航等一系列行动中获得不对称的信息优势。

空间信息系统的建设与发展是一个复杂的系统工程,它充分体现了—个国家的科学技术水平和综合国力,每个国家对待空间信息系统的建设都非常慎重和严格。再加上系统本身具有技术高新尖、研制成本高、试验环境复杂等特点,使得航天大国都采用地面仿真与验证的模式进行系统的论证、研制、试验、验证与应用。

空间信息系统的建模仿真与评估技术是在计算机仿真技术的理论与方法基础上发展起来的,它已成为认识与改造空间信息系统的重要技术手段。通过在实验室中运用建模仿真手段对空间信息系统的研制需求、运行过程和应用效果进行有效模拟,甚至对空间信息系统深层次运行机理和规律都能够给出直观逻辑推理和理论分析所不能预见的一些特性,建模仿真方式具有良好的可控性、无破坏性、可重复性和经济性等优点。同时,研究空间信息系统的评估技术可以开展对信息的定量分析,能够科学评价系统设计方案的优劣、系统运行的成效,甚至预测系统的发展方向,为空间信息系统的优化提供坚实的技术支撑。

本书主要围绕空间信息系统建模仿真与评估的技术问题展开。主要介绍了空间信息系统的基本概念、内涵和运行机理,系统阐述了空间信息系统的体系结构建模技术、多 Agent 的建模技术、基于复杂网络的建模技术、基于 HLA 的仿真技术、基于 STK 的仿真技术,并深入论述了空间信息系统的定量分析技术、系统效能评估等技术,并结合具体的实例论证了技术和方法的有效性。

本书共分为 8 章,其中第 1 章由熊伟研究员编写;第 2 章由刘德生副研究员编写;第 3 章由简平助理研究员编写;第 4 章由郭超博士、樊鹏山讲师编写;第 5 章由陈治科博士编写;第 6 章主由熊伟研究员、樊鹏山讲师编写;第 7 章由张睿

助理研究员和杨凌云助理研究员编写;第8章由熊伟研究员和刘呈祥博士编写。熊伟研究员对全书进行了统稿。在编写的过程中,得到了李智教授、张雅声教授、张恒源博士、朱华翔工程师、宋翊宁助理研究员等的大力支持,在此表示感谢。

本书编写得到了2110工程的资助,对此表示感谢。由于作者理论水平和实践经验有限,书中存在的缺点和错误在所难免,敬请广大读者批评指正。

著 者
2016年6月

目 录

第1章 空间信息系统概述	1
1.1 空间信息系统概念和结构	2
1.1.1 空间信息系统的概念	2
1.1.2 空间信息系统的结构	5
1.1.3 空间信息系统的复杂性	6
1.2 空间信息系统的发展现状与趋势	8
1.2.1 空间信息系统发展现状	8
1.2.2 空间信息系统发展趋势	12
1.3 空间信息系统的建模仿真技术	13
参考文献	15
第2章 空间信息系统的物理基础	17
2.1 轨道的基本知识	17
2.1.1 万有引力定律	17
2.1.2 开普勒三定律	18
2.1.3 轨道根数	19
2.1.4 绕地航天器轨道类型	20
2.1.5 影响航天器轨道的因素	20
2.1.6 常用名词	21
2.2 时间基准及其转换	22
2.2.1 时间系统	22
2.2.2 各时间系统间的关系	24
2.2.3 历元的取法和年的长度	26
2.3 坐标系统与转换	27
2.3.1 坐标系系统	27
2.3.2 坐标系转换	33
参考文献	42

第3章 空间信息系统的体系结构建模技术	44
3.1 体系结构概述	44
3.1.1 体系结构的概念	44
3.1.2 体系结构在复杂系统研究中的作用	45
3.1.3 体系结构开发一般流程	46
3.1.4 体系结构框架	48
3.2 空间信息系统体系结构建模方法	52
3.2.1 以数据为中心的体系结构建模思想	52
3.2.2 结构化分析方法	54
3.2.3 面向对象设计方法	56
3.2.4 基于活动的方法	60
3.2.5 面向服务的体系结构建模方法	61
3.3 体系结构模型描述技术	67
3.3.1 IDEF0 建模方法	67
3.3.2 IDEF1X 建模方法	68
3.3.3 数据流图	70
3.3.4 服务描述方法	70
3.4 基于 IDEF3 的体系结构流程仿真方法	71
3.4.1 任务时序和逻辑关系描述模型	71
3.4.2 IDEF3 技术	73
3.4.3 流程分析方法	73
3.5 典型空间信息系统体系结构建模与分析	76
3.5.1 作战体系结构视图建模	76
3.5.2 系统体系结构视图建模	85
3.5.3 服务流程描述与验证	95
参考文献	101
第4章 空间信息系统的 MAS 建模技术	103
4.1 MAS 建模理论与方法	103
4.1.1 Agent 基本理论	103
4.1.2 MAS 建模方法	105
4.2 基于 MAS 的空间信息系统建模	110
4.2.1 空间信息系统建模框架	110
4.2.2 空间信息系统实体分析与划分	111

4.2.3	空间信息系统实体 Agent 模型	114
4.2.4	空间信息系统组织和交互模型	130
4.3	空间信息系统的 MAS 建模实例	135
4.3.1	系统建模分析	136
4.3.2	个体 Agent 的建模	137
4.3.3	侦察卫星仿真系统的模型结构	144
	参考文献	147
第 5 章	基于复杂网络的空间信息系统建模与分析	149
5.1	复杂网络演化模型	149
5.1.1	复杂网络理论概述	149
5.1.2	复杂网络演化模型	151
5.2	空间信息系统信息交互分析	155
5.2.1	系统组成分析	155
5.2.2	信息交互分析及描述	156
5.3	空间信息系统网络演化模型构建	157
5.3.1	节点及其连接关系类型	158
5.3.2	空间信息系统静态网络演化模型构建	159
5.3.3	空间信息系统动态网络演化模型构建	160
5.3.4	空间信息系统网络演化模型验证	161
5.4	空间信息系统网络特性与整体能力分析	162
5.4.1	空间信息系统网络特性分析	162
5.4.2	空间信息系统整体能力分析	163
	参考文献	164
第 6 章	基于 HLA 的空间信息系统的仿真技术	166
6.1	基于 HLA 的仿真系统结构	166
6.2	基于 HLA 的空间信息系统仿真总体设计	168
6.2.1	分布式协同仿真集成框架设计	168
6.2.2	集成框架开发流程	173
6.2.3	基于 HLA 的空间信息系统仿真	176
6.3	空间信息系统仿真集成关键技术	184
6.3.1	数字模型集成技术	184
6.3.2	基于 HLA 的协同仿真技术	198

参考文献	205
第7章 基于STK的空间信息系统的仿真技术	207
7.1 STK 软件简介	207
7.1.1 概述	207
7.1.2 STK 的功能	209
7.1.3 STK 的模块	209
7.2 航天器的在轨机动任务仿真	212
7.2.1 霍曼转移原理	212
7.2.2 轨道机动仿真应用	213
7.3 有效载荷任务仿真	227
7.3.1 传感器对象	227
7.3.2 传感器基础属性	235
7.3.3 覆盖分析模块使用	238
7.3.4 有效载荷任务仿真应用	243
7.4 空间信息系统视景仿真技术	248
7.4.1 STK 三维模型的构建	249
7.4.2 大地形的生成	257
7.4.3 特效的应用	263
7.4.4 三维场景的生成	265
参考文献	272
第8章 空间信息系统效能评估	273
8.1 空间信息系统效能评估概述	273
8.1.1 空间信息系统效能评估相关概念	273
8.1.2 空间信息系统效能评估总体思路	273
8.1.3 空间信息系统效能评估流程步骤	274
8.2 空间信息系统指标体系构建	275
8.2.1 空间信息系统指标体系构建原则与目标	276
8.2.2 空间信息系统指标体系构建流程	277
8.2.3 空间信息系统指标体系的构建	279
8.3 空间信息系统指标体系量化	287
8.3.1 指标的分类	287
8.3.2 定量指标的规范化方法	288

8.3.3	定性评估指标的量化和归一化	289
8.4	空间信息系统效能评估方法研究	290
8.4.1	空间信息系统效能评估方法研究	290
8.4.2	空间信息系统效能评估指标权重模型	301
8.5	空间信息系统实例分析	306
8.5.1	天基空间目标监视仿真系统	306
8.5.2	天基空间目标监视系统方案设计	307
8.5.3	天基空间目标监视系统效能评估指标	311
8.5.4	评估指标信息获取及处理	312
8.5.5	指标权重的确定及分析	316
8.5.6	方案评估及结果分析	319
	参考文献	323
	附表	324

第1章 空间信息系统概述

未来战争是陆海空天电五维一体的战争,控制空间、夺取制天权和制信息权,被视为未来战争中夺取战略优势的重要目标,因此空间成为未来大国战争中争夺的一个新的战略制高点,也成为当今世界军事领域激烈竞争的焦点。空间具有“站得高、看得远、全球覆盖”的天然优势,在空间部署信息系统能够极大地增强信息获取能力,改变传统战争的作战样式,使航天强国在侦察、预警、导航等一系列行动中,可以获得不对称优势,因此空间信息系统一直是各国争先发展的领域。

空间信息系统(Space Information System, SIS)作为实现控制空间、夺取制天权和制信息权的关键,“是以空间平台技术、组网技术、传感器技术、数据链技术、通信技术、通信保密技术、信息融合技术、目标识别技术、安全防护与对抗技术为支持,以外层空间的各类卫星为平台,利用网络技术把天基平台上的侦察监视、导弹预警、通信中继、导航定位和气象观测等载荷设备有机地连接在一起组成的空间信息系统网络,其主要功能是实现空间信息的获取、处理、传输、存储管理与分发、信息安全保证等,为各军兵种作战力量和作战行动提供侦察、监视、预警、通信、导航、定位、气象观测、战场测绘等空间信息服务保障。

目前我国已经发射了侦察、导航、通信中继、空间监视等各种类型的卫星,卫星系统已经初具规模,建设和发展空间信息系统是各种类型的卫星发展到一定规模的必然趋势。通过建立空间信息系统,可以实现各种功能卫星的互联互通互操作,提高资源利用率,发挥空间的巨大优势。空间信息系统涉及因素众多,结构和功能复杂,是一个典型的复杂巨系统。其研制技术难度高,资金投入大,其发展在需求、技术、资金及时间等诸多方面都存在很大的不确定性,因此也就具有很高的风险,所以在发展空间信息系统的每个阶段,都需要经过充分的论证、评估、方案比较等。面向全球发展的一体化网络化空间信息系统是一项复杂庞大的系统工程,不仅受经济技术建造周期等客观条件制约,特别还受到国家在该领域战略发展架构等的影响,其总体方案的经济性、可行性、可用性论证,各种实施方案的对比分析等,都需要仿真系统的支撑。美国等国家在发展空间信息系统的过程中,投入大量的人力、物力和财力对空间信息系统关键技术开展一系列的论证、研究和演示验证等活动。此种研究方式

成本高,耗费代价巨大。而我国正处于发展的关键时期,必须充分合理利用科研经费,探索适合自己的空间信息系统发展方式,发挥建模、仿真等系统分析手段在系统前期论证、评估、方案比较、建设以及后期系统管理控制,甚至技术人员培训等方面的作用,可以减少重复投资、节约经费、避免走弯路。空间信息系统的建模仿真主要是对系统的组成节点及其相互之间的动态关系进行研究和模拟,反映空间信息在网络中的流向和变化情况,其主要目的和需求体现在五个方面:

(1) 分析现阶段空间信息系统中的薄弱节点和关键节点,研究系统加强或防护措施。

(2) 分析现阶段空间信息系统能否顺利完成给定的信息支援任务。面向任务分析系统资源需求,评估已有资源与任务需求的差距,研究采取何种系统调整的措施能够完成特定任务。

(3) 评估特定空间装备和空间信息系统的效能,论证空间装备和空间信息系统的发展规划,评价空间信息系统组成方案的优劣,提出系统改进建议。

(4) 为了研究或研制新的空间信息系统应用技术和装备提供一个概念演示和验证环境,降低成本,减少风险,加快研究或研制进程。

(5) 作为陆、海、空、天联合作战模拟的组成部分,用于在空间信息支援下的联合作战模拟训练、战法分析和作战方案评估。

为此,本书对空间信息系统相关的建模仿真与评估技术进行了阐述,可作为从事空间信息系统研究和建设的相关技术人员的参考。

1.1 空间信息系统概念和结构

1.1.1 空间信息系统的概念

1. 空间信息系统的定义

目前,研究人员对空间信息系统的认识并不统一,存在多种空间信息系统的定义,如:

定义 1 空间信息系统是以空间平台技术、组网技术、传感器技术、数据链技术、通信技术、通信保密技术、信息融合技术、目标识别技术、安全防护与对抗技术为支持,以外层空间的各类卫星为平台,利用网络技术把天机平台上的侦察监视、导弹预警、通信中继、导航定位和气象观测设备有机连接在一起组成的空间信息网络。

定义 2 空间信息系统是以卫星和卫星组网、高精度侦察、传感器、数据链、

移动宽带通信、通信保密信息融合、目标识别、安全防护等技术为支持,以各类卫星(航天器)为平台,通过星间、星地链路把平台上的侦察监视、导弹预警、通信中继、导航定位和气象观测等载荷设备以及地面信息应用和保障设备有机地连接在一起,构成功能完备、互联互通的信息网络。

定义3 空间信息系统是由高、中、低轨道上带有多种有效载荷的各类航天器,地面信息网络(含测控网络)和应用系统组成的、通过通信链路实现无缝连接,实现对陆、海、空基信息系统的综合集成与提升,形成具有信息获取、信息融合处理、信息传输与分发和信息攻防对抗等功能的天、空、地智能一体化分布式信息系统。

定义4 空间信息系统是由不同轨道上多种类型的卫星系统,按照空间信息资源的最大有效综合利用原则,通过互联互通和信息交换,构成的智能化综合信息系统。该系统综合了军民两用的多种卫星系统,包括侦察监视、导航定位、军事通信、资源探测、环境与灾害监测等,具有对多源信息的安全、可靠、实时、不间断、智能化、面向用户的获取、处理、融合、提升、传输和分发的能力,并具有一定自主运行管理和网络重构能力。

其他关于空间信息系统的概念描述还可见参见文献[5-8]等。它既不是单一功能的卫星系统,也不是几种单一功能的卫星星座的简单组合,而是通过星间和星地通信链路,将不同轨道、种类和性能的卫星、星座、分布式卫星编队以及地面设施连接起来的一个涉及多种技术、包含多种装备、承担多种任务、具备多种功能的综合性的空间信息网络,因此对空间信息系统开展建模仿真工作也比单一功能的卫星系统或星座组合系统的建模仿真更加困难。

2. 相近概念解析

与空间信息系统内涵相近的词条还有天基综合信息网、空间军事系统、军事航天系统、多卫星系统、航天装备体系等,下面对这些概念进行简要的分析。

1) 天基综合信息网

天基综合信息网,简称天基网,是通过星间、星地链路将不同轨道、种类、性能的卫星、星座及相应的地面设施连接起来组成的互联互通的信息网络,具有对信息的获取、存储、处理、传输及信息的提升与分发功能。天基综合信息网在概念上与空间信息系统非常接近,但存在以下差异:

(1) 天基综合信息网更突出系统本身一体化和节点之间的互联、互通性,而淡化子系统的划分,可抽象为网络。空间信息系统突出任务的综合性,强调系统可划分为子系统和子系统之间的协同,可抽象为体系。

(2) 天基综合信息网是为了解决空间信息系统中的节点连通和信息共享问题,适应当前信息利用的准确性、实时性、可靠性要求,获得更高的信息共享能力

和联合指挥控制能力而提出的网络。

(3) 天基综合信息网是空间信息系统的一种发展形态。空间信息系统的演变经历了单星系统、单一功能的星座系统、多种卫星及卫星星座协同系统等形态。随着航天技术和信息技术的进一步发展,面向综合应用的天基综合信息网成了当前乃至未来几十年空间信息系统的具体发展形态,并可预见空间信息系统成为天基综合信息网后,还将继续向下一个形态——空天地一体化网络发展。

2) 军事航天系统

军事航天系统是军用卫星、军用航天器、导弹系统,以及其他的空间系统所构成的,可以执行多种军事任务的空间系统,是为赢得制天权,确保己方进入空间、利用空间或控制空间,将航天装备系统、航天部队系统和作战指挥决策系统等主要作战要素按照空间作战编成要求配制而成的军事斗争系统。军事航天系统是面向空间军事任务的系统,包括武器装备和信息装备。

空间信息系统则主要利用空间设施和配套地面设施进行信息的获取、处理、传输等过程,是以信息装备为基础的系统,在军事行动中往往起到的是信息支援和保障的作用,在一定程度上是非作战行为的直接参与者。另外,空间信息系统以满足各层次的军事应用为出发点,在战争时期可以用于战场信息支援,在和平时期可用于军事信息收集、军事训练和军事技术研究,并可将其中的部分资源投入民用和商用运行。

3) 多卫星系统

多卫星系统是指能够独立完成一项航天任务各类卫星与其配套地面设施合在一起所组成的系统。它是面向航天任务要求的,系统中的多卫星可以是异构的,整个系统可以是不对称的,在这个方面与空间信息系统有类似之处,但多卫星系统是针对特定应用对象和特定航天任务的,而空间信息系统并不局限于一项任务或一类用户,而是面向各种信息获取和传输用户,将所有卫星体系纳入系统。因此,多卫星系统是空间信息系统的子系统。

4) 航天装备体系

航天装备体系是为了夺取空间优势,更好发挥空间装备的整体性能,由功能上相互联系、性能上相互补充的各种航天装备按照一定结构综合集成的更高层次的装备系统。它强调装备功能互补以完成单一装备无法完成的任务,而对装备间信息关系的刻画不深。航天装备体系是空间信息系统的组成部分,是空间信息系统发挥作用的物质基础。

虽然以上系统与空间信息系统在概念上存在差异,但它们在结构、功能、任务过程方面与空间信息系统有很多相似之处,因此关于这些系统的建模与仿真的方法和技术可为空间信息系统建模、仿真所借鉴。

1.1.2 空间信息系统的结构

空间信息系统是由各种功能的航天器和地面设施通过星间、星地链路互联而构成的系统,其可以从不同的角度划分为多种结构。

1. 按承担任务划分的结构

依据承担的任务,是空间信息系统最常见的结构划分方式,可分为侦察监视卫星系统、预警探测卫星系统、导航定位卫星系统、气象和测绘卫星系统、通信中继卫星系统以及地面信息应用和保障系统等子系统。各子系统通过通信中继卫星系统完成互联,成为面向综合任务的空间信息系统,如图 1-1 所示。

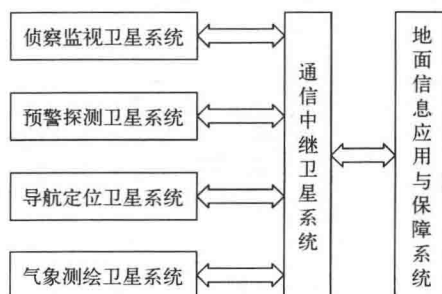


图 1-1 按承担任务划分空间信息系统的结构

2. 按空间位置划分的结构

根据空间位置的差异,空间信息系统包括空间子系统和地面子系统,如图 1-2 所示。空间子系统包括空间通信网(主要由通信中继卫星系统组成)、空间应用航天器(包括侦察监视卫星、预警探测卫星、气象测绘卫星等)、导航卫星星座;地面子系统包括地面测控和数据传输系统、地面指挥控制系统、地面信息应用系统,共同构成地面信息应用与保障系统。

3. 按信息利用过程划分的结构

空间信息系统包括空间信息获取、空间信息传输、空间时空基准、空间信息应用以及空间信息系统指挥控制五大系统,如图 1-3 所示。

4. 其他结构

根据空间信息系统拓扑结构,空间信息系统包括节点和链路,其中节点是空间信息系统中各航天器、地面设施的抽象,而链路是航天器之间、航天器与地面设施之间通信交互的抽象。无论以何种方式划分空间信息系统的结构,空间信息系统结构都具有以下特点:

(1) 由多个子系统构成。

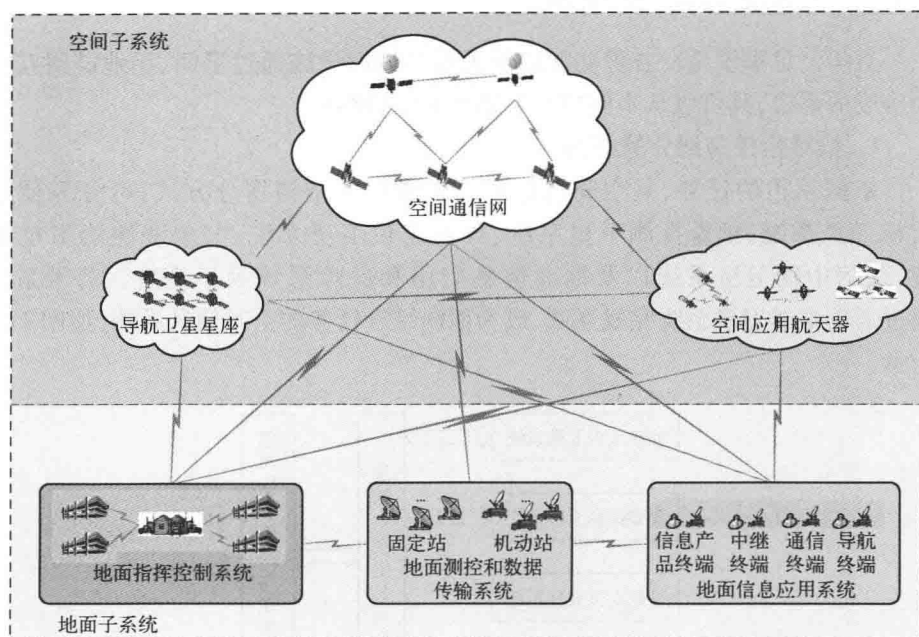


图 1-2 按空间任务划分空间信息系统的结构

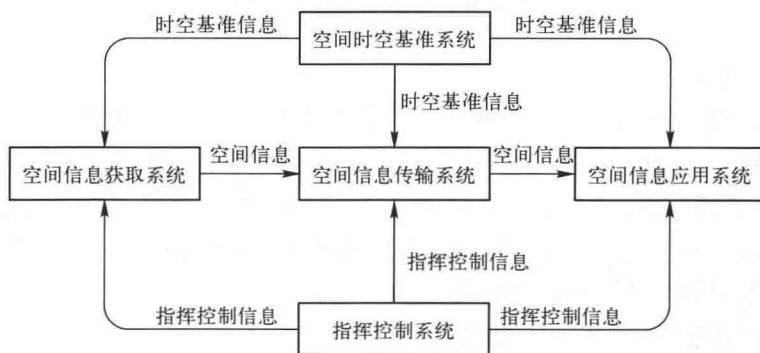


图 1-3 按信息利用过程划分空间信息系统的结构

(2) 子系统之间既不完全独立又不相互依存,但是有很强的相互作用。

(3) 各子系统协同完成共同目标与使命。

因此,空间信息系统是一种体系(System of Systems, SoS)。

1.1.3 空间信息系统的复杂性

研究者们已经充分认识到空间信息系统的复杂系统本质,开展了空间信息

系统的复杂性研究,探索与之复杂性相适应的建模仿真方法。通过对空间信息系统的复杂性进行分析,研究者指出:①空间信息系统具有开放性、非线性、动态性、多尺度性、有序性和自组织性、随机性与不确定性、层次性与高维性等特点;②空间构型具有动态特性和时空复杂性,卫星本身又具有自治性、反应性以及卫星之间、卫星与地面站之间的协同与合作等特点;③含有众多异构主体,具有非线性和突现性,空间主体具有一定的智能性和自主性,并在不断的运行演化中体现出明显的不稳定性和不可预测性。空间信息系统的复杂性来源于以下三个方面:

1. 空间实体的复杂性

空间信息系统的复杂性首先来自其组成实体的复杂性,表现在以下方面。

(1) 类型多样:空间信息系统包含飞行器系统(如卫星、空间站),地面系统(如测控站、观测中心)和环境中纷繁复杂的各类实体。

(2) 功能多样:空间信息系统所包含实体功能各异,涉及空间信息获取、传输、处理、存储和转发等,不同功能实体共同协作,完成空间信息系统整体功能,如侦察、预警、导航、测绘等。

(3) 数量众多:空间信息系统包含高、中、低轨各类飞行器,数目众多,且不同功能、不同类型的航天器和地面设施在数量上差别很大。

(4) 时空特征各异:不同实体的生存时段相对独立,并且部分实体的寿命呈随机特性;不同实体的位置、速度姿态等空间特性,取决于各自的复杂动力学和运动学规律。

(5) 自治程度不同:有些实体具有一定的信息处理能力,能够进行自我调整,以适应不同的任务,而有的实体则是简单地对外来的信息做出反应。随着自主飞行器技术的发展,空间信息系统实体的自治程度的差异性将越来越明显。

2. 空间交互的复杂性

空间交互是空间实体之间的信息传递,是空间信息系统复杂性的另一个重要来源,表现在以下方面。

(1) 空间信息的复杂性:空间信息是空间交互的内容,不同类型的实体在交互时所传递的空间信息各不相同,按照应用,有目标指示、空间环境、指挥控制、导航定位等信息;按电磁频谱,有可见光、红外、紫外和 SAR 等信息;按形式,有图像、声音、文本、视频等信息,各类信息具有各自的特征描述。

(2) 空间链路的复杂性:空间链路是空间交互得以进行的渠道,所建立链路的接通/切断取决于任务过程的需求,不同的实体之间的链路采用不同的制式,对不同影响因素的敏感程度不同。