

编号: 1000-6788(2008)S0-0157-06

一类典型复杂系统的优化设计及精度分配

陈杰 窦丽华 张佳

(北京理工大学 信息科学技术学院自动控制系, 复杂系统智能控制与决策教育部重点实验室, 北京 100081)

摘要: 论述了什么是系统的复杂性, 以及研究复杂性的必要性, 针对一类典型复杂武器装备火力控制系统进行复杂性分析, 并依据复杂性的设计思想进行优化设计, 提出了复杂武器装备系统总体优化设计的体系结构, 并对系统设计的一个核心任务, 即精度分配问题运用复杂性方法进行了研究, 既结合了试凑法与模型法的优点又弥补了各自的不足, 可以更有效更完善地解决复杂武器系统的精度分配问题。

关键词: 复杂系统; 武器装备; 精度分配; 优化设计

中图分类号: TP391.9

文献标志码: A

Optimization design and accuracy assignment of a typical complex system

CHEN Jie, DOU Li-hua, ZHANG Jia

(Automatic Department of Information Science Technology Academy, Ministry of Education Significant Laboratory of Complex System Intelligent Control and Decision-making, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: The paper first discusses the complexity of system and the necessity of complexity research. Aimed at a typical complex weapon equipment fire control system, the paper carries on optimization design according to its complexity. It proposes collectivity optimization assignment structure of complex weapon equipment system. The paper carries on deep research of accuracy assignment. The method combines the advantage of experience and model method and offsets their defects. Therefore, it solves the accuracy assignment of complex weapon system effectively and consummately.

Key words: complex system; weapon equipment; accuracy assignment; optimization design

1 引言

在日常生活、工业生产中, 复杂系统随处可见. 控制学科里的复杂系统, 有的是被控对象十分复杂, 有的尽管被控对象并不十分复杂, 但被控对象所处的环境十分复杂, 并且对该对象的控制又有特殊的高要求, 这类复杂系统可能呈现出高度的非线性、多态稳定性、时间不可逆性、分岔、突变、混沌、自组织、自适应、高度不确定性和实时性等特性。

就武器装备系统而言, 有一类系统由于其复杂性、多样性和特殊性, 使得总体方案的确定十分困难. 当前的研究方法尚缺乏系统化、科学化. 过去, 该类武器装备系统设计方案的确大多凭专家的知识 and 经验, 但随着系统进一步向现代化、复杂化和信息化方向发展, 传统的设计方法显出一定的局限性, 突出表现为设计周期长、各部件与总体之间存在协调与匹配问题, 使得总体设计质量和周期往往难于保证。

目前武器装备系统设计中的精度分配, 主要用实际工程中的“试凑法”进行. 近年来还陆续出现了基于数学模型的精度分配方法^[1]、基于模糊综合评判的精度分配方法^[2]和基于价值分析的精度分配方法^[3]. 这些方法用精确的模型来描述精度分配问题. 但是武器装备系统是一个实时的、多传感器的、多被控量的典型复杂武器控制系统, 其本身存在有很多复杂的因素无法用精确的模型来描述, 该类复杂系统主要表现在:

收稿日期: 2007-10-19

资助项目: 教育部重点实验室复杂系统智能控制与决策资助

作者简介: 陈杰(1965-), 男, 福建人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为复杂系统多目标优化与决策、非线性控制、非线性控制、火力与指挥控制。

- 1) 系统结构的复杂性 :由几十个分系统组成、输入量多达几十个以上 ;
 - 2) 系统功能的复杂性 :多种部件相互融合构成多功能的嵌入式系统 ;
 - 3) 系统性能指标的复杂性 :精度指标和系统反应速度指标分别有几类多达几十项 ;
 - 4) 系统环境的复杂性 :不同的工作环境大大增加了系统的复杂程度 ;
 - 5) 系统构成的涌现性和耦合性 :各分系统、分系统部件相互耦合呈现了其涌现性 .
- 本文旨在解决该类复杂武器装备系统的精度分配问题 ,对系统进行优化设计 .

2 系统总体设计的体系结构

针对复杂系统的设计问题 ,建立以智能决策、群决策、分布式决策、并行工程为知识支撑的复杂系统设计的分布式群决策支持系统 ,如图 1 所示 .

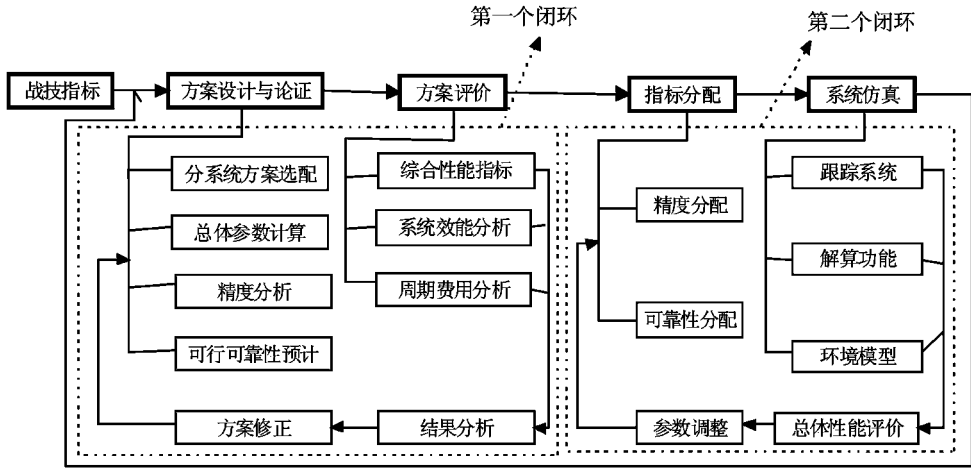


图 1 总体设计体系结构图

设计主要由两个闭环组成 ,第一个闭环进行方案论证与方案评价 ,第二个闭环实现指标分配与武器装备系统仿真功能 .优化设计工作围绕着两个闭环进行 .在第一个闭环中 ,首先明确任务、设计目的是什么 ,即根据设计武器装备系统的各个过程 ,从系统反应时间、系统精度、首发命中率、毁伤概率等主要指标出发 ,总师及分总师组可通过分布式群决策支持系统确定该武器装备系统的类型 ,尽可能多地请有关专家提意见和建议 .然后确定该武器装备系统的主要结构框架 ,最后根据这个结构框架选定武器装备系统的类型 .

3 系统精度分配方法

20 世纪 80 年代末 90 年代初 ,钱学森提出了“从定性到定量的综合集成方法”^[4-6]作为研究复杂系统和复杂巨系统的方法论 .武器装备系统本身具有极高的复杂性 ,同时武器系统的误差源数量繁多 ,因此在进行分析时可将其精度分配问题归为复杂系统的研究问题 ,可以从系统科学和思维科学的角度分析武器装备系统设计中的精度分配 .

现阶段实际工程中应用的“试凑法”是从整体相似的角度来确定武器装备系统的精度分配方案 ,然后针对某个不满足要求的地方进行一定的改进 ,这种方法可以看作是整体论的一种方法 .确定了具体精度分配模型的各种精度分配方案将整个武器装备系统分为很多子系统和部件 ,分析清楚每个子系统和部件的关系之后 ,通过简单组合来完成对整个武器装备系统的分析 ,这属于一种还原论的方法 .

本文将综合集成的思想应用于武器装备系统设计中的精度分配问题 ,形成精度分配的综合集成方法 .这种思想吸收了两种分配方法的长处 ,同时也可以弥补各自的局限性 ,既超越了还原论方法 ,又发展了整体论方法 ,实现了数学模型与专家经验的完美结合 .

3.1 系统定性分析

在武器装备系统设计人员进行精度分配时,所依据的条件就是提出的作战性能指标要求,不同的指标要求,武器装备系统的组成结构也会有所不同,从而使得精度分配所要具体研究的对象也有所区别。

系统定性分析的第一个过程,首先是由武器装备系统各方面专家组成专家体系,以构成定性综合集成的基本条件。专家体系中的每个专家都有自己掌握的科学理论、经验知识,都能从一个方面或一个角度去研究问题。然后,让专家体系针对所提出的性能指标要求,对武器装备系统的基本功能组成提出经验性假设和判断。虽然是经验性假设和判断,但是往往许多原始创新思想以及本质上的变更都是从这里产生。比如根据性能指标以及战术技术性能要求,可能确定不同类型的武器装备系统,如从扰动式火控系统过渡到指挥仪式火控系统等。在这个阶段,专家们的科学理论、经验知识、以至专家智慧,通过结合、磨合和融合,从不同层次、不同方面和不同角度去研究复杂系统的同一问题,就会获得全面认识。

这个过程是以专家体系的形象思维为主,可以根据现有的武器装备系统资料以及现有的专家经验和知识,来共同完成信息、知识和智慧的定性综合集成。由于武器装备系统的复杂特性,使得无法用完全精确的模型来描述,因而要根据性能指标要求,确定基本功能组成框架,完全凭计算机是永远无法达到的,必须依靠专家的知识以及以往成功案例的经验确定武器装备系统特定指标下的功能组成。

提出了经验性的假设和判断以后,就要验证在这种功能组成的前提下,能否提出一种合理而最优的精度分配方案,这主要是通过后面两个过程实现。

3.2 定性定量相结合综合分析

为了用严谨的科学方式去证明或验证定性综合集成阶段所得到的经验性判断,我们需要把定性描述上升到系统整体的定量描述,从专家的定性描述中提取出定量描述,这主要通过模型和模型体系来进行。武器装备系统的精度分配的定量描述是确定各组成子系统和部件的精度参数和具体型号。

武器装备系统的精度分配的定量描述可以通过两种方法可以获得:

1)继续依靠专家的经验 and 知识对武器装备系统进行精度分配,可以使用“试凑法”。但是完全依靠专家的经验 and 知识来进行精度分配的方案存在经验不足或者相互冲突等一些缺点。

2)从不同角度提取特定组成结构的武器装备系统的分配算法,从数学模型角度为精度分配提供理论依据,如基于数学模型的精度分配方法、基于模糊综合评判的精度分配方法和基于价值分析的精度分配方法等。这些方法还需要结合武器装备系统的理论模型来进行定量分析。即首先根据具体武器装备系统子系统和部件的定量描述,提取出特定武器装备系统组成的优化模型,然后依据合适的算法给出一个初步的精度分配方案。

由于武器装备系统的复杂性和非线性,使得这两种方法单独使用均会伴有很大的缺陷。因此我们考虑将上述两种方法结合起来。这样,当专家经验不足或者专家意见不一致时,基于模型的算法就可以为分配提供理论依据。而基于各种理论的分配模型,由于种种限制,可能得出不合理的分配精度,这时就需要结合专家经验和知识来进行相应的调整和修正,达到合理分配的效果。最终得到定性定量相结合的综合集成流程图如图2所示。

确定了假设条件下的系统各部件的精度分配值后,就需要结合武器装备系统的特性进行多次仿真和试验,并通过系统设计初期所提出的指标体系来对这个初步方案给予评价。如果不合适,则需要作相应的修改,一方面仍然需要根据专家的经验 and 知识来修改,另一方面也可以用优化模型中的定量描述指导专家进行修改。例如在误差传递关系分析过程中得到的各误差源传递关系的定量描述,可以指导专家哪个误差源对最终误差的影响较大,以及该如何修正、修正多少等。

这个过程需要多次重复进行,从而把专家能考虑到的因素都形成定量的认识,得出在经验性判断下较为合适的精度分配参数。

3.3 从定性到定量的综合集成

定性综合分析形成问题的经验性假设与判断的定性描述,经过定性定量相结合综合分析获得定量描

述.专家体系再进行综合集成,在这次综合集成中,有了定量的认识就比之前只有专家的定性认识增添了更多的信息,这时再由专家体系对仿真和试验的定量结果进行综合集成.经过研讨,专家们有可能从定量描述中获得证明或验证经验性假设和判断正确的定量结论.如果是这样,也就完成了从定性到定量综合集成.但这个过程通常不是一次能完成的,往往要反复多次.如果定量描述还不足以支持证明和验证经验性假设和判断的正确性,专家们会提出新的修正意见和实验方案,再重复以上过程.这里专家体系包括总设计师、各分总设计师以及相关的专家和设计师等,由他们从武器装备系统的各个方面对结果进行综合集成分析,来确定经验性假设与判断的正确性.

如果专家体系评定定量结果是不可信的,那么需要进行相应的修正,比如调整优化模型,或者调整计算机中采用的算法等,这些因素在进行精度分配时是属于武器装备系统设计者无法控制和分配的误差源.通过重复上述过程,进行逐次逼近,直到专家们都认为定量结果是可信的,也就完成了从定性到定量的综合集成过程.

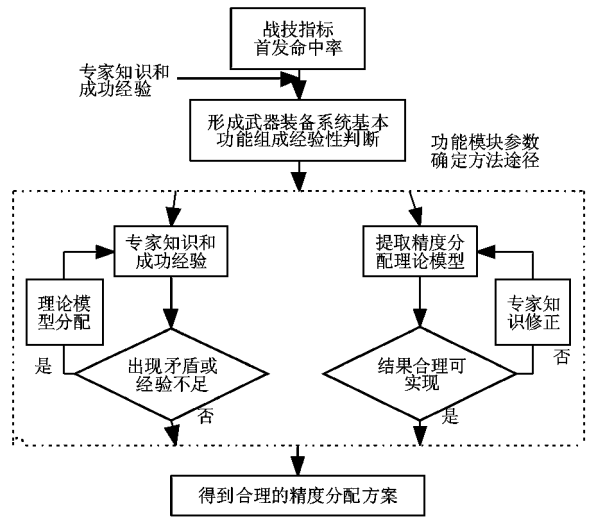


图2 定性定量相结合的综合集成过程

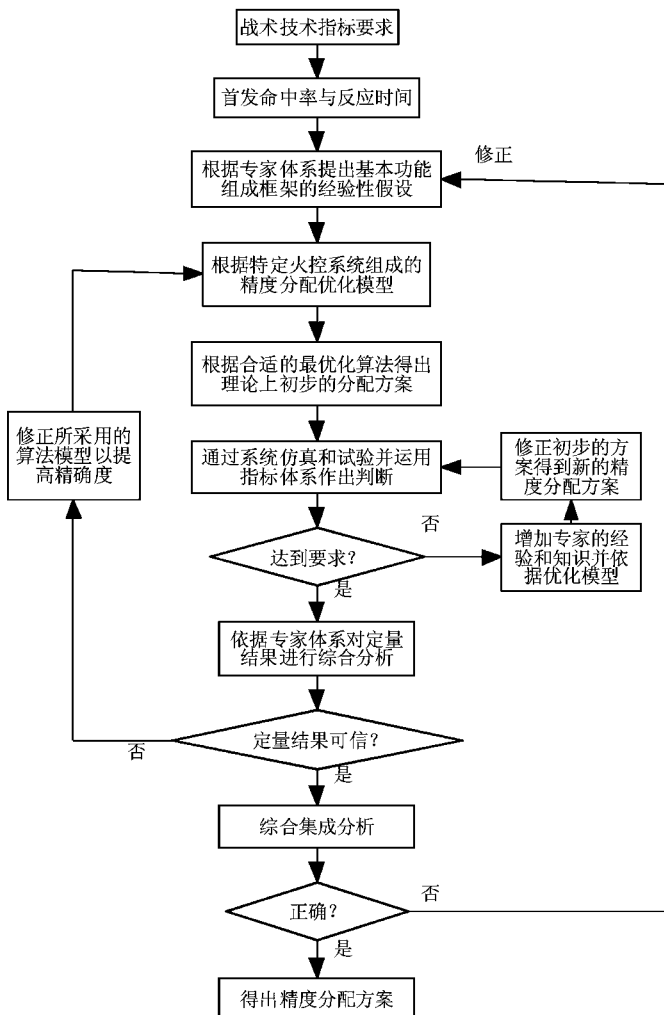


图3 综合集成的精度分配方法工作流程图

如果综合集成所得到的精度分配结果否定了专家的经验性假设和判断,则需要引入新的认识,做出新的经验性判断.对武器装备系统的设计和精度分配而言,必须要调整或修正最初提出的系统功能组成框图,然后再从第一个过程重新开始.这个过程形成外循环,可能需要重复多次才能最终得到合理的设计和精度分配结果.整个循环过程的结束,就是结合专家的经验知识与科学理论,提出一套达到系统性能指标要求的更合理和完善的精度分配优化方案.整个精度分配流程图如图3所示.

4 仿真系统设计^[2]

在对武器系统进行优化设计与精度分配的过程中,仿真系统是必不可少的.整个仿真系统包括六个功能模块:①用户操作管理模块;②环境生成模型;③武器系统数学模型;④时钟管理模块;⑤显示管理模块;⑥数据处理分析模块.仿真系统的功能结构如图4所示,它们之间通过流经其间的数据信号和控制信号联系在一起,构成一个统一的整体.各模块的主要构成及功能如下:

4.1 用户操作管理模块

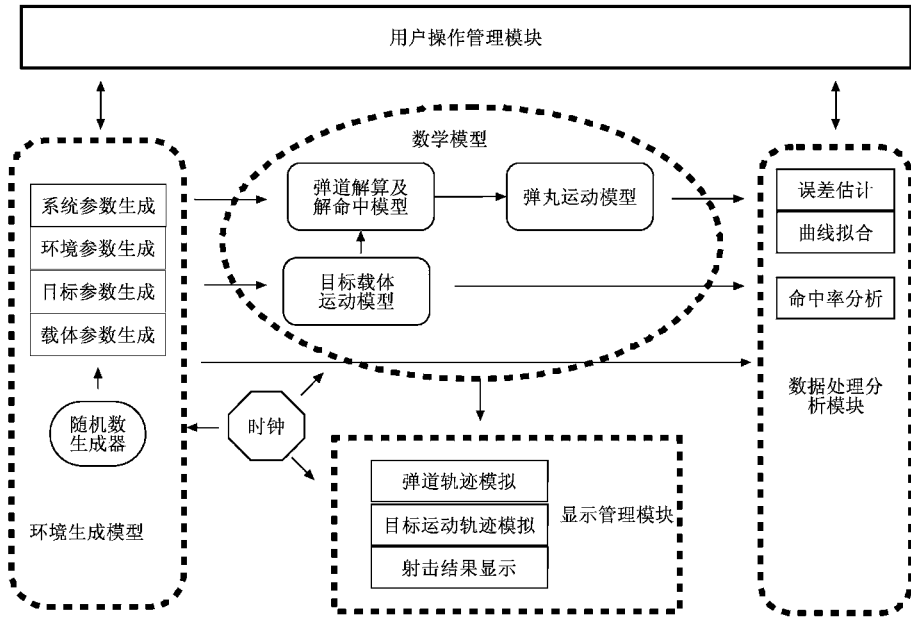


图4 误差分析仿真系统功能结构图

用户操作管理模块为用户提供友好的人机接口界面,是仿真系统与用户进行交互的平台.通过此模块,用户可以设定仿真所需的各种参数,并控制仿真过程的开始和结束.此模块还能够实时向用户提供仿真过程的数据及结果.

4.2 环境生成模块

此模块负责各种仿真输入参数的生成与管理,其中包括环境参数生成、系统参数生成、目标参数生成和载体参数生成四个功能模块.同时此模块还用到随机数生成器来生成符合一定概率分布的数据.

4.3 武器系统数学模型

这一部分包括弹道实时解算、解命中模型以及目标的运动模型.

4.4 时钟管理模块

仿真就是在真实的时空中构造出一个虚拟的时空,并将仿真模型置于该虚拟时空环境中运行的过程,因此时间的概念不可或缺.时钟管理模块在仿真系统中模拟时间的产生和变化,还负责数学模型、环境生成模块和显示管理模块这三个模块的同步.

4.5 显示管理模块

显示管理模块的目的是使整个仿真的过程和射击的结果更加直观和形象化,此模块主要具备三个功

能 弹道轨迹的模拟、目标运动轨迹的模拟和射击结果的显示,为设计者提供尽可能多的有效信息。

4.6 数据处理模块

数据处理模块主要有两个作用:

- 1) 负责对仿真试验的输入输出数据进行处理,包括:进行输出误差的误差估计,获取样本数据的均方差,通过数据拟合和逼近的方法,获得误差源输入精度与火控系统输出精度的传递关系;
- 2) 进行命中率分析,通过判断弹丸落点是否在靶的范围内,统计命中次数与射击次数,求取命中率。

5 结论

本文针对一类典型的复杂武器装备系统,提出运用从定性到定量的综合集成法来进行系统各部件的精度分配,既消除了现行分配方法中“试凑法”的不足,又合理地综合应用专家们的经验和知识,更有效更完善地解决复杂武器系统的精度分配问题,实现了数学模型与专家经验的完美结合。同时介绍了该仿真系统的设计方法,为系统的优化设计与精度分配提供了有力的辅助。

参考文献:

- [1] 梁钰,陈杰,奚丽华.基于数学模型的坦克火控系统精度分配方法研究[D].火力与指挥控制 2002 年学术年会论文集,2002.
- [2] 刘文果.坦克火控系统误差分析仿真系统的设计与实现[D].火力与指挥控制 2004 年学术年会论文集,313-316,2004.
- [3] Dou L H, Zhang J, Chen J. Tank fire control system's accuracy assignment based on value analysis[J]. Journal of Beijing Institute of Technology. Beijing.
- [4] 钱学森,于景元,戴汝为.一个科学的新领域:开放的复杂巨系统及其方法论[J].自然杂志,1990,13(1):3-10.
Qian X S, Yu J Y, Dai R W. A new discipline of science - The study of open complex giant system and its methodology[J]. Nature, 1990, 13(1):3-10.
- [5] 邵国培.综合集成:牵引作战效能整体跃升[N].解放军报,2004.
- [6] Carlsson C, Turban E. Introduction of DSS: Directions for the next decade[J]. Decision Support Systems, 2002, 33(2):201-217.