

航天任务计划工作模式的改进研究

韩威华

(北京航天飞行控制中心)

摘要 阐述航天任务飞行控制、现有计划工作模式的基本概念,提出计划工作模式改进建议,即定义飞行状态向量、飞行控制规则,在现有非自动闭环控制的基础上设计引入状态反馈回路,增加冲突检测和自动修正功能,实现计划自动闭环输出,形成基于状态和规则运行、适应性强、自动化程度高的改进型计划工作模式。

关键词 飞行控制 计划工作模式 状态反馈 冲突检测 自动修正 状态 规则

1 引言

针对载人航天任务过程复杂、实施控制多、测控条件有限、可靠性和安全性要求高的特点,航天飞行控制中心摸索创新了计划工作模式,成功组织实施了历次载人航天任务的飞行控制。

计划工作模式产生了飞行控制工作实施的路径,决定着飞行控制组织实施的可靠、有效和先进程度。

2 现有计划工作模式

2.1 飞行控制

航天任务过程是有规律的,规律是飞行控制运行的基础。

实现的技术角度来看,飞行控制表现为一系列依次实施的绝对时间形式控制事件时序表 TimeLine(文中以下简称为 TimeLine),调度整个测控系统资源以及航天器自控系统,改变飞船的状态参数,达到即定的飞行目的。本质上看,飞行控制就是调度整个测控系统资源以及航天器自控系统正确操作控制航天器的过程控制。

2.2 计划工作模式

航天器制造部门在设计的标准轨道条件下,根据任务飞行目的,安排一个理想的控制事件序列,形式是相对时的控制事件时序表,名为飞行程序。结合测控系统实际测控条件和实际轨道的重构可能,产

生执行控制事件序列的算法,称为测控方案。向工程实施层面落实,算法演化为控制飞行操作的序列,统称为控制事件计划,表现为 TimeLine,描述了整个航天任务中测控系统和航天器系统资源的实施时间、执行者等,形成航天任务飞行控制实施的路径。

这种运用相对时的控制事件时序表产生 TimeLine,最终完成航天器飞行控制的工作方法称为计划工作模式。

航天任务的准备和执行过程中,以上阐述的计划工作模式如图 1。

2.3 计划工作模式运行

图 1 中“测控方案”到“调度指挥”之间的工作详细分解,即计划工作模式运行,指飞控工作人员在测控方案形成之后,依据计划工作模式完成航天器飞行控制的具体工作过程。

测控方案的主体是航天任务可能飞行状态和相应控制事件,表现为一系列算法。为了工程实施,算法需要形式化表达,即标称计划,相对时的控制事件序列。方案和标称计划是在任务准备期间完成的,是对航天任务的理论预测。

航天任务期间,依据实际的轨道确定,标称计划产生出控制事件计划,形式为 TimeLine。此时,需要人工判断和决策:航天器处于什么样的飞行状态,采用那一组控制事件计划,甚至人工调整或者重新制定符合实际飞行控制需求的标称计划。

在航天器状态稳定、飞行轨道和设计符合、航天

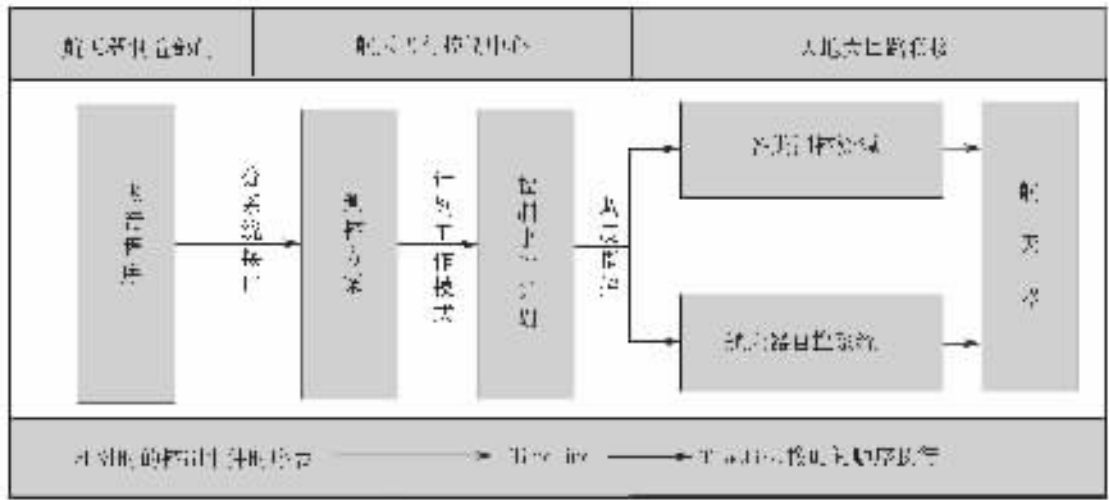


图 1 计划工作模式

任务时间短、规律认识充分的情况下,计划工作模式比较适用。中国特色的计划工作模式突破了自动的计划生成技术,成功实施了历次载人航天任务飞行控制,取得了举世瞩目的成绩。

以上阐述的计划工作模式运行如图 2。

2.4 现有计划工作模式应用分析

从图 2 还可见,现有计划工作模式是一个人工调整弥补的闭环控制环路,是一个事先结合任务需求和测控经验编织的理想状况标称计划,航天任务的实时状态变化不能自动直接反馈到这个控制环路中。

当任务处于我们精心设计的正常状态时,飞行控制可以顺利流畅的运行,有效调度各类资源。但任务状态可能出现故障,甚至重大的变化,计划工作模式不能自适应,要人工判断、干预,调整或停止当前的 TimeLine, 决策使用其余事先设计的标称计划或

现场办公重新设计,生成符合实际任务状态的 Time-Line 使用,这难以满足任务的实时和安全性需要。而且,深空探测任务或者空间站飞行时间很长,航天器的故障风险概率激增、测控事件数以千计,任务中人工判断调整的需求空前提高。我国航天发展蒸蒸日上,任务日益密集、任务准备周期减短,试验技术更富挑战性,标称计划设计和测试时间压缩、正确性难以保证,计划自适应任务状态的能力必须得到改进和加强。

为了圆满完成现在以及后续的各类航天任务,现有计划工作模式有待改进。

3 计划工作模式的改进

3.1 定义飞行状态向量、飞行控制规则

航天任务状态包括航天器、测控网的状态信息等。经过融合、提取、处理,这些状态信息构成表征航天任

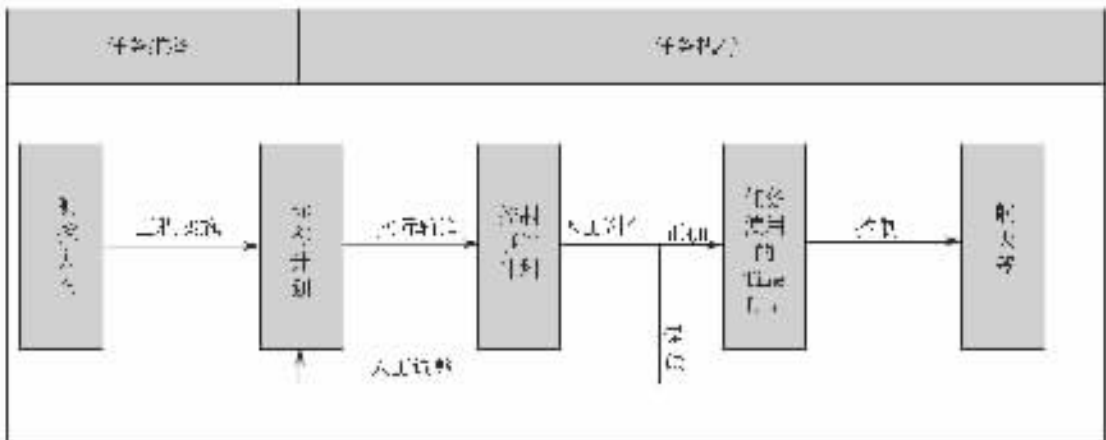


图 2 计划工作模式运行过程

务状态的飞行状态向量。

飞行控制规则包括航天器的工作规范、控制方法途径、工况的监视策略以及测控系统资源的使用规范、测控能力约束。

飞行控制转化成了按照飞行控制规则进行飞行状态向量控制。控制对象是状态向量,控制逻辑由规则构成,计划工作模式的控制思路更加明确。

3.2 引入状态反馈

为了克服现有计划工作模式人工调整弥补形成闭环控制环路的不足,设计引入状态反馈机制。状态反馈即按照一定的规则,将输出回路中状态向量的一部分或全部馈送到系统输入回路,用来影响输入量状态,完成航天任务的飞行状态向量控制。引入状态反馈机制的计划模式如图 3。

3.3 增加冲突检测和自动修正功能

图 3 所示,引进状态反馈回路后,为了能够自适

应任务状态变化正确输出 TimeLine,增加当前任务状态和 TimeLine 的冲突检测功能。如果冲突存在,按冲突规则自动修正,自动输出符合实际任务需求的 TimeLine。算法具体运行示例见 3.4 改进计划工作模式实施,算法流程如图 4。

3.4 改进计划工作模式实施

改进的计划工作模式,理论控制思路清晰。实施主要在于抽取、设计飞行状态向量、飞行控制规则。

飞行状态向量即将各个阶段的测控事件进行统一规划形式化描述形成一个数据集合。其中有对航天器的上行控制事件,如遥控指令、注入数据等,对飞行控制中心软件进程的调度事件,如轨道计算、注入生成进程等,对测控网的控制事件,如引导、点频切换等。

飞行控制规则即具体的各类航天任务规律。包含对航天器的上行控制事件基于对飞程序的设计

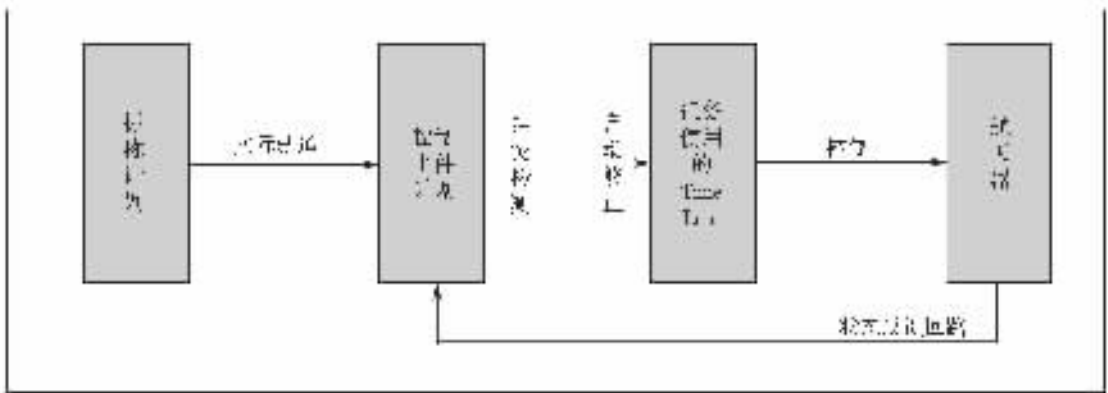


图 3 引入状态反馈机制的计划模式

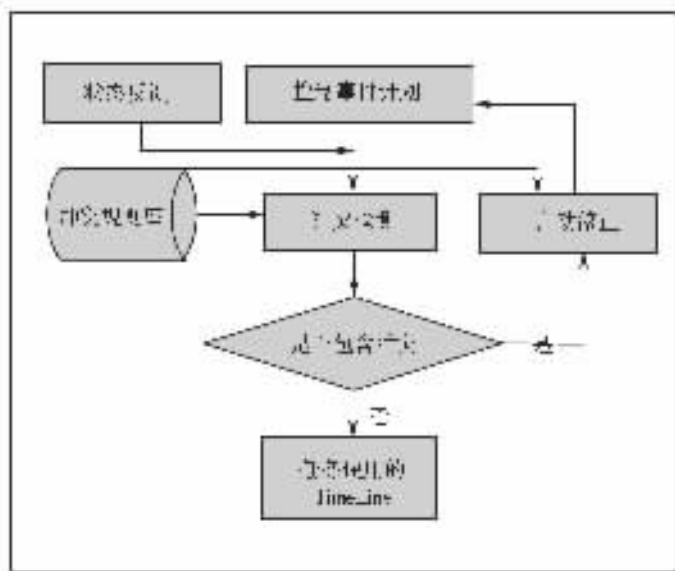


图 4 冲突检测和自动修正运行算法

规则,对中心软件的调度事件基于预先制定的计算需求规则,对测控网的控制事件基于测控网的使用约定规则。

分别定义飞行状态向量、飞行控制规则,维护状态向量数据集合和冲突规则库的松耦合结构非常利于单项升级,利于不同任务复用,易于维护,提高了多个航天任务并行完成的能力。

举一例说明改进型计划工作模式的冲突规则库、状态反馈、冲突检测和自动修正机制。

冲突规则库里,某一航天器载荷断电指令 K_{xxx} 属性为:出阳照区时刻和至少在唯一测控站仰角 5° , K_{xxx} 属于断电指令,时间前后沿标识布尔量为 1。

航天器状态反馈,实际轨道出阳照区时刻只一个测控站跟踪,且该时刻仰角为 2° 。

冲突检测,如果按照出阳照区时刻,测站发送 K_{xxx} 指令,那么此仰角很低,测控站无法保证发送 K_{xxx} ,存在冲突;自动修正,借助冲突规则库, K_{xxx} 属于载荷断电指令,时间前后沿标识布尔量为 1,取两个时刻的前者-仰角 5° 时刻发送 K_{xxx} 指令,获得局部最优控制,冲突消解,TimeLine 更新并在实际任务中实施。

通过示例说明改进的计划工作模式具备闭环反

馈、冲突检测和自动修正功能,基于状态和飞行控制规则运行,适应性强、自动化程度高,解决了航天任务期间过重的人工依赖问题,可以确保多航天任务、多目标下状态变化频繁、持续时间很长的飞控需求可靠、有序、有效实施。

4 结束语

本文总结分析了现有的计划工作模式,深入探讨了改进计划工作模式理论模型及具体实施策略。改进型计划工作模式自适应性强、具有一定智能性、自动化程度高,和现有计划工作模式一脉相承,具备在后续航天任务应用的可操作性。

随着我国航天事业又好又快发展,现有计划工作模式改进势在必行。本文只是在具体改进方面做了一点探索,期望能够减少航天任务期间人工干预的操作,实现自动化飞行控制,圆满实施各类航天任务的飞行控制。 ◇

参 考 文 献

- [1] 席政.载人航天飞行控制计划的自动生成.载人航天,1998(1)
- [2] 周彬等.航天任务计划工作模式研究.测控学报,2006(第 25 卷第 1 期)

(上接第 18 页)

图 10 是 g-LIMIT 的幅频特性图。从图中我们可以看出, g-LIMIT 对 0.01Hz~1000Hz 频率范围内振动的衰减均可满足设计要求。

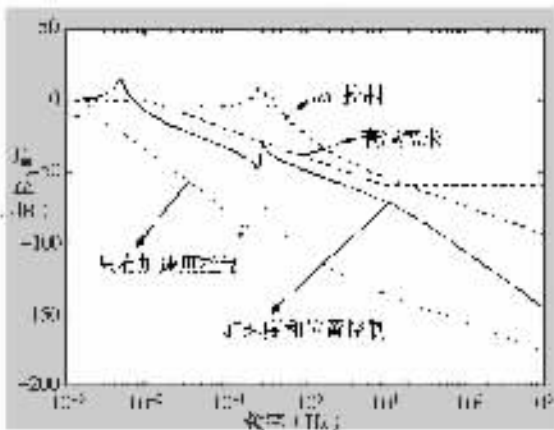


图 10 g-LIMIT 的幅频特性

4 结 论

我国的空间站会在不久的将来遨游在太空之中,大量的空间科学实验是和平开发利用太空资源最直接的体现。为了能够在空间站上获得更具价值的科学实验成果,对科学实验设备进行振动隔离是非常必要的^[3]。本文旨在为我国开发研制具有中国特色的空间科学实验振动隔离系统提供一些参考,使我们在开发研制过程中少走弯路,并能够在短时间内在这一领域赶上或者超过国际先进水平。 ◇

参 考 资 料

- [1] M S Whorton, J T Eldridge, R C Ferebee, J O Lassiter, J W Redmon, Jr. Damping Mechanisms for Microgravity Vibration Isolation. NASA/TM-1998-206953. 1998.1
- [2] Mark Whorton. Survey of Microgravity Vibration Isolation. MEIT-2001, Section18.
- [3] 于强.空间材料科学实验中的几个关键技术.载人航天,2007. 3