

# 测控计划的冲突检测与自动修正

邰 佩 刘成军

(北京航天飞行控制中心)

**摘 要** 航天测控计划生成过程中,不可避免地会面对各种冲突,而包含冲突的测控计划是不可实施的,必须对此计划进行改进修正。介绍现有计划软件的冲突检测方法,引入冲突自动修正的概念,并对冲突自动修正的算法进行初步探讨。

**关键词** 测控计划 冲突 冲突检测 自动修正

**中图分类号** TP311 **文献标识码** A **文章编号** 1674-5825 (2010) 02-0026-05

## 1 引言

航天任务是一个复杂、庞大的系统工程,测控计划在整个任务过程中主要负责协调各分系统的工作,起到有效控制航天器的目的。由于整个系统的复杂性、测控事件的多样性,计划生成过程中不可避免地会面对各种冲突。包含冲突的测控计划是不可实施的,必须对此计划进行改进优化,因此冲突检测与计划修正作为计划优化的一个过程,是计划软件中必不可少的重要功能项。

现有的计划生成软件采用的是自动检测冲突,即对发现的冲突采用人工干预的方法进行消解的工作模式。软件不具备自动消解冲突的能力。载人航天任务中的小卫星伴飞,以及后续的交会对接等都会引入多目标测控的问题,而由此带来测控的复杂性,人工干预的工作量越来越大且正确性难以保证,因此开发具备冲突自动修正功能的计划软件势在必行。

本文在介绍现有计划软件冲突检测方法的基础上,将自动修正功能引入到计划软件中,介绍了冲突检测与自动修正的基本原理,并对冲突自动修正的方法进行了初步探讨。

## 2 现有的计划冲突处理方法

### 2.1 人工干预的冲突处理方法

现有的计划软件在计划生成后,采用的是程序

自动进行冲突检测,如图 1,人工干预进行冲突消解的工作模式。在计划生成后,值班人员检查计划软件日志文件,通过搜索文件中的冲突关键字确定测控计划中存在的冲突,然后根据日志文件中的冲突信息去查找相应的测控计划、预报、以及标称计划文件,最后通过人工调整测控计划来解决冲突。这种方式在解决计划冲突的同时,延长了计划生成的周期,增加了人工操作的环节,降低了任务的可靠性、安全性,而且随着任务复杂度的升高相应的人工干预的风险值也将进一步提高。

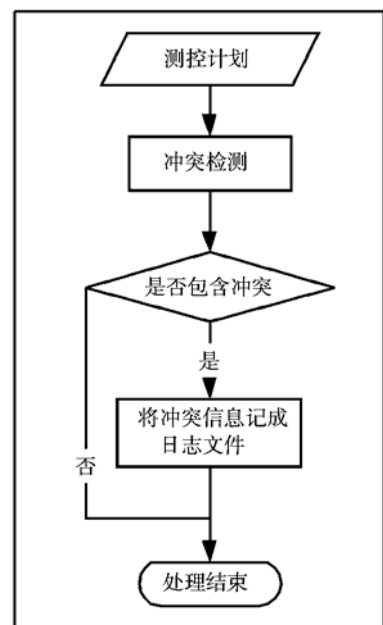


图 1 冲突检测工作模式

来稿日期:2009-01-06;修回日期:2010-03-20。

作者简介:邰佩(1980.11-),女,本科,工程师,主要从事航天测控系统任务规划研究。

## 2.2 测控计划的冲突检测

冲突检测是整个冲突处理的一个重要的环节,在进行冲突检测之前首先需要明确可能出现的冲突的类型,针对不同的冲突会有不同的冲突检测规则。

单星测控计划中的冲突主要体现为事件间的执行时间和顺序关系冲突,通常有:

- 测控站接力跟踪时,前一站关掉了飞行器上跟踪配合目标,或后一站重复开机指令;
- 控制事件与例行操作中时间上发生冲突;
- 控制事件太多,可测控弧段内无法实现;
- 同一时间内安排了多个控制事件;
- 控制事件的执行时间搭接;
- 有相互约束关系的测控网事件没有按预期约束关系安排;
- 需安排在特定弧段的事件安排出现了偏差;
- 控制事件安排在建立上行链路的过程中或上行设备切换过程中。

其中有些冲突在软件设计过程中通过特定的约束规则实现,从而在计划生成时就可以完全避免,如:“测控站接力跟踪时,前一站关掉了飞行器上跟踪配合目标”这一冲突,在软件实现时可以通过划分连续测控区间,在进出连续测控区间时才安排开关飞行器上的跟踪配合目标事件,通过这种特殊的事件约束就很好的避免了此类冲突的发生。此类冲突不是本文论述的重点,在后续的冲突消解时不再讨论。

多星测控计划中的冲突则更多的体现在测控资源使用上的冲突,即:两个或两个以上的目标同时对一个测站提出测控支持请求。

计划软件在冲突检测时要全面考虑上述各种情况的矛盾冲突,并将冲突归类,将可以采用同一种规则进行检测的冲突归为一类,综合所有的冲突检测规则形成一个独立的冲突检测规则库,作为计划软件的一部分。该规则库不是一成不变的,它是随着任务复杂度的增加而不断扩充。同时软件提供相应的冲突检测配置文件,使得冲突的检测实现可配置化,根据不同的任务需求设置配置文件用以描述需要检测的冲突。计划软件根据配置文件的要求采用规则库中对应规则进行判断、推理从而检测出计划中存在的矛盾冲突。针对不同种类的冲突有不同的检测方法,其具体实现方法和冲突的类型密切相关。

## 3 计划冲突自动修正算法

### 3.1 自动修正的冲突处理算法

上一节中介绍了现有计划软件中冲突检测与人工消解的工作模式,然而通过工程实践,我们认识到,并非所有的冲突都需要引入人工干预。每种冲突都有其固有的一套解决方法,即便是人工干预也是采用同样的方法,因此可以将人工处理冲突的工作模式通过软件调用一个完备的冲突消解规则库的方式来替代,最终实现测控计划冲突的自动修正。这种自动修正的冲突处理方式可以有效地提高计划生成的效率,减少由人工操作带来的安全隐患。

为此本文在原有冲突检测的基础之上提出了冲突自动修正的概念,其基本的算法框架结构如图 2。

初始计划生成后首先使用冲突检测规则库对其进行冲突检测,借以发现计划中的各类矛盾冲突,其次则是对检测出的各种冲突进行简单分类,初步识别出可消解的冲突。冲突通常都是体现在一个时间区间内,该区间根据不同的冲突类型可能是一个连续的指令序列,或是某一个连续的测控区间,也有可能是任务中的某一圈等等。因此在该区间内对冲突进行消解不会对全局计划造成很大的影响。软件在识别出冲突区间后,在该区间内根据冲突消解规则库对事件进行一系列的调整,从而排除计划中存在的矛盾。对于每种冲突,冲突消解规则库中可以有多种修正方法,同时,对于一种冲突消解方法也可能解决多种冲突问题。一个经过冲突检测消除冲突的计划往往带来新的状态,如事件的时间或相互关系的变化,这种改变有可能导致新的冲突,所以有必要重新进行冲突检测。因此在计划优化过程中往往需要反复地进行计划修正和冲突检测工作,直到冲突消解或者迭代的循环超限而终止。多数情况迭代是一个收敛的过程,但是为防止在特殊情况下循环条件始终满足而使程序无休止的运行,软件设置一个迭代次数  $n$ ,该值的选取应考虑的任务中的实际情况而定,使之既能保证冲突消解所需的必要条件又有效的控制运行时间。

### 3.2 测控计划的冲突修正

引入自动修正的冲突处理算法中的冲突检测方法与现有系统中一致,下面主要针对冲突修正的方法做详细的论述。

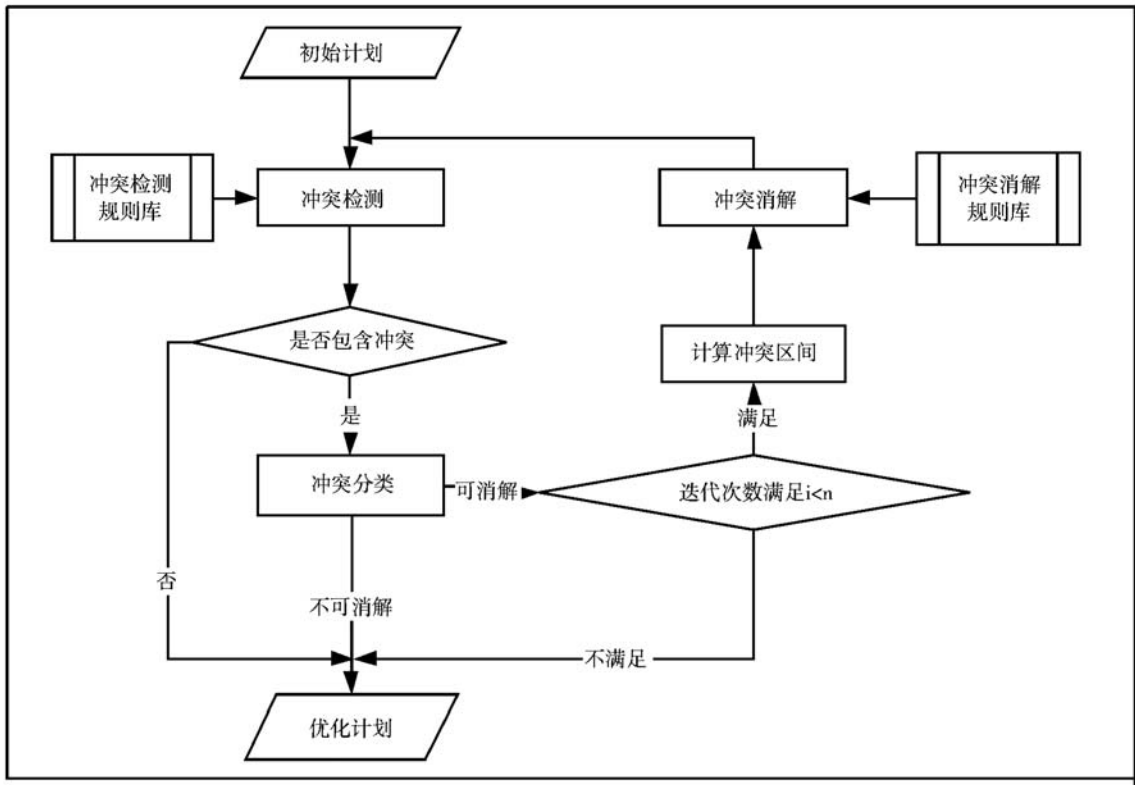


图 2 引入自动修正的冲突处理算法

冲突消解规则库中存放解决冲突所需的专门的知识,计划修正软件具备一定的推理能力,其寻找冲突解决方式的过程就是一个根据冲突类型进行推理或搜索求解方法的过程。根据某种推理方法,用当前的问题信息与搜索到的知识(即解决冲突的方法)相匹配,直至匹配成功,根据搜索到的方法调整计划。

### 3.2.1 冲突修正要遵循的原则

从图 2 中也可以看到,冲突分为可消解冲突和不可消解冲突,如果是可消解的冲突则将进行后续的计划修正,如果是不可消解的冲突,则在日志文件中记录相应的冲突信息并不予处理。通常来说控制事件时间搭接、控制事件没有有效的弧段支持均属于可消解冲突,事件由于标称计划的原因漏排、排错属于初始化文件错误,此类冲突不属于软件自动解决的范畴。

一个初始计划中可能包含多个冲突,不同种类的冲突其优先级也不同,在消解冲突时优先级高的先处理,优先级低的后处理。优先级高低的判定应充分考虑多种因素,其中解决该冲突对其它事件带来的影响幅度是一个重要的指标。应优先解决那些对其它事件影响大的冲突,后解决一些相对较独立的事件,这样才可能减少计划优化的迭代次数,提高计

算效率。

针对可消解的冲突类型,在冲突消解规则库中都可以找到对应的冲突消解方法,这个方法可能不是唯一的,在条件满足时尽可能采用最优的方法来消解冲突,这样才可能找到冲突修正的最优解。

### 3.2.2 冲突修正的方法

冲突修正的方法分为调整测控事件和调整测控资源两大类,其中针对不同的实际情况采取不同的措施,通常采取的动作包括:移动、删除计划事件,针对不同的对象及其优先级这些动作会有不同的实际意义。例如对于多目标的测控资源冲突,解决冲突的过程就是根据各飞行器的测控申请,考虑通过资源合理分配来解决测控冲突,如果冲突依然存在,只有根据每项任务所需保障的优先级的不同,调整测控计划,将冲突压缩到最低程度,最大限度的满足各卫星任务的测控需求。

计划修正功能块处理冲突时需要对对应的事件进行操作,因此需要有一个计划事件属性表,用以提供事件的属性,这个信息可以从标称计划事件集中获取,也可以是配有专门的事件指令属性描述文件。表 1 是其简化形式,在实际的软件实现中这个表格会更复杂,包含的信息也会更加全面。

表 1 计划事件属性表

事件代码	事件级别	是否时间可调	时间窗口	相互约束
L <sub>1</sub>	1	0		
L <sub>2</sub>	2	1	[-5,+10]	L1,A
.....				

表 1 中第一列为事件代码,是事件的唯一标识;第二列是事件级别,“1”为最高级别,其重要性最高,“2”次之,依次类推;第三列为是否时间可调标志,“1”为可调,“0”为不可调;第四列是该事件的时间窗

口,只有第三列为“1”时该列才有效;第五列是该事件的相互约束,用来描述与之有相互约束关系的事件,以及时间关系,其中:第一个参数表示被约束的事件代码,第二个参数表示该事件与被约束事件的时间关系,“A”表示在被约束事件后,“B”表示在被约束时间前。

3.2.3 举例说明

下面针对“控制事件安排在建立上行链路的过程中或上行设备切换过程中”这一冲突结合不同的事件属性表说明软件实现的方式。

这种冲突有几种表现形式,如图 3:

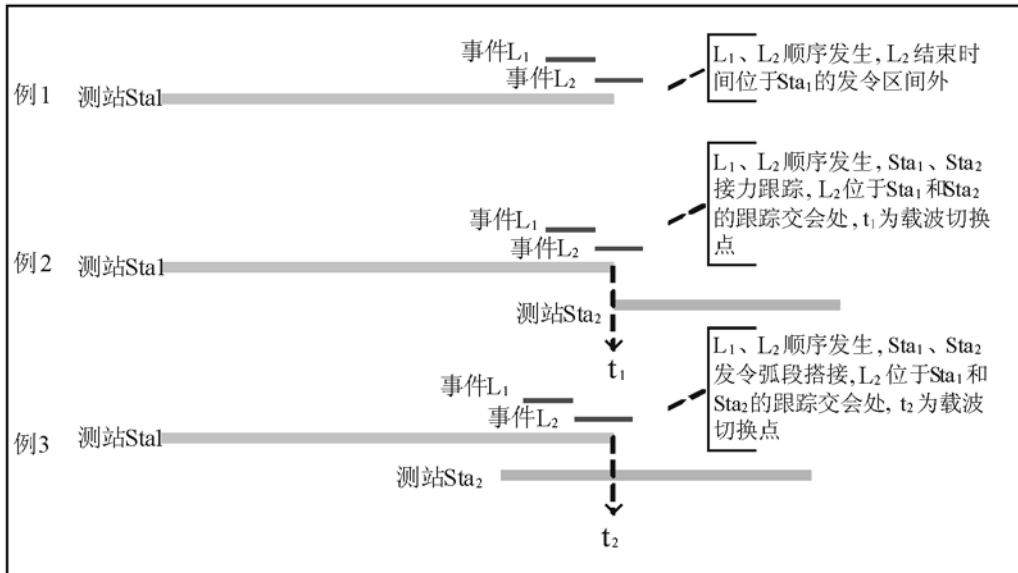


图 3 冲突描述图

这类冲突的表现形式主要是指令排不上,冲突检测功能块通过对初始计划文件的遍历、查找、对比等操作后检测到该冲突,定义为冲突 1。软件在冲突描述表中查询到冲突 1 属于可消解的冲突,因此提交至计划修正功能块中进行冲突消解,针对冲突 1 在冲突消解规则库中对应有多种方法可以解决,但是具体采用哪种方法才是最优仍需进一步判断该冲突发生的背景情况以及事件属性表中对应的指令属性,对应于不同的背景以及指令属性都会产生不同的解决方案。

图 3 的例 1、例 2、例 3 分别对应不同的冲突背景,表 2 描述其事件属性。

当程序经判定冲突背景为例 1 描述的情况时,因为 L<sub>1</sub> 时间不可调,所以尽管 L<sub>2</sub> 可调但是必须在 L<sub>1</sub> 后发生,所以只可以向后调整,但是后面没有测站支

表 2 计划事件属性表

事件代码	事件级别	是否时间可调	时间窗口	相互约束
L1	1	0		
L2	6	1	[-5,+10]	L1,A

持,因此考虑到 L<sub>2</sub> 的重要级别较低,不属于重要指令,选择删除操作。

冲突背景为例 2 时,经判断将 L<sub>2</sub> 向后调整至 Sta<sub>2</sub> 测站弧段内。

冲突背景为例 3 时,经判断 L<sub>1</sub>、L<sub>2</sub> 均可安排在 Sta<sub>2</sub> 测站弧段内,因此选择调整测控资源,将 Sta<sub>1</sub> 的关载波时间也就是 Sta<sub>2</sub> 的开载波时间提前至 Sta<sub>2</sub> 的进有效遥控区间点上,这样不需要移动指令时间就解决了 L<sub>2</sub> 排不上的问题。

从上面的例子可以看出,针对同一冲突现象在

不同的冲突背景会有不同的最优解决方案,当然针对上述例子,例 2 可以采用例 1 的方法解决问题,同样例 3 可以采用例 1、例 2 的方法解决,但这样操作的结果得到的结果不是一个相对最优计划。因此计划修正软件不仅要解决寻求冲突解的方法,而且如何找到最优解也是一个重要目标。

寻求最优解,必须明确最优解的含义。对于上述例子中显而易见:首先考虑是否可以通过调配测控资源,其次考虑是否可以调整事件的时间窗口,最后考虑删除事件。那么在冲突消解过程中只要满足该原则的解决方案就认为是该例的最优解。针对不同的任务最优解的选取原则是不一样的,这和飞行任务的目的、重要性、飞行阶段等等参数相关,还需在

任务中综合考虑多方面的因素。

#### 4 结束语

测控计划软件的冲突自动修正功能将彻底改变传统的计划冲突解决方法的局限,真正意义上实现测控计划的自动生成,提高计划生成的效率和可靠性,计划修正规则库的建立将是实现该功能的重点,这方面的工作还需通过在工程实践中不断总结和创新来进一步完善。◇

#### 参 考 文 献

- [1] 夏南银.航天测控系统.国防工业出版社.2002
- [2] 席政.载人航天飞行控制计划的自动生成.载人航天,1998(1)

(下转第 64 页)

## 火星-500 试验任务

由俄罗斯组织,多国参与的模拟火星载人航天飞行地面试验项目 MARS500 第三阶段已于 2010 年 6 月 3 日开始。中国志愿者王跃和来自俄罗斯、法国等国家的共 6 名志愿者进入位于莫斯科郊外的全封闭试验舱,开始了为期 520 天的模拟体验太空旅行及环绕火星的有趣生活。

试验共分 3 个阶段:前 250 天从地球飞往火星的虚拟飞行,30 天火星地表停留,240 天返程,总共持续 520 天。由于从飞船发射、飞向火星、火星着陆到返回地球的一系列过程需要近 500 天时间,因此,这一项目被称为“MARS500”。

试验初步确定了 70 余个实验项目,其主要目的是探索“人与环境”相互作用,了解长期密闭环境下乘组健康状态及工作能力状况。特别是获取超长时间飞行、无安全自主控制、资源有限、无法实施身体及心理特殊治疗、完成火星表面出舱活动等条件下的相关数据。

试验主要任务包括:

1. 研究模拟飞行环境对航天员的健康和工作能力的影响;
2. 充分考虑火星飞行的特点,研究乘组活动的组织、乘组与地面飞行控制中心的协同配合;
3. 研究长期密闭条件下,居住环境监测与控制的原则、方法和手段;
4. 设计并模拟登陆火星及火星表面的活动及作业模式;
5. 制定乘组健康状况及工作能力的监控、诊断和预测的原则、方法和手段,完善医疗救助和预防措施;
6. 完善医学和生理学数据的采集、处理与分析手段;
7. 验证为乘组活动提供保障作用的信息帮助系统功能,特别是电子数据的存储和传输;
8. 制定远程遥测医学监督的方法和手段;
9. 验证心理支持方法及自主心理支持手段;
10. 评价现代新技术系统和新手段对人生命安全的保障作用。