

文章编号: 1000 - 582X(2006)01 - 0077 - 04

基于知识的火箭安全控制智能决策系统³

李伟¹, 黄席樾¹, 魏洪波², 乔宇¹, 李娅¹

(1. 重庆大学 自动化学院, 重庆 400030; 2 西昌卫星发射中心, 四川 西昌 615000)

摘要:随着科学技术的不断进步, 航天事业得到了蓬勃发展, 火箭发射成为各个航天国家共同研究的课题, 其中安全控制是火箭发射中的首要问题, 也是各个航天国家关注的焦点. 论述了火箭安全控制的重要性, 分析了原有火箭安全控制系统的特点, 针对存在的不足, 采用人工智能领域的智能决策技术和推理技术, 融合安全控制知识, 提出了基于知识的火箭安全控制智能决策系统的设计思想、结构体系及实现方法, 提高了火箭安全决策的可信度和真实性.

关键词:智能决策支持系统; 安全; 推理算法

中图分类号: TP273

文献标识码: A

火箭发射是一项尖端科技试验任务, 存在较大的风险, 一旦发生故障, 其内部的高性能燃料将危及发射场、重要设施、人员和周边城市的安全, 造成的后果会非常严重, 因而必须采取相应有效的安全控制措施, 使人身伤亡、设施损失和社会影响降低至最小程度. 安全控制系统实施的关键在于提供及时和精确的安全控制信息, 以及依据这些信息作出相应的安全控制决策.

火箭发射初始阶段的各种影响因素很多, 现有的光学和无线电设备大都是一般的数据测量设备, 易受人为捕获操作和实际交会条件等的限制, 地形、杂波等干扰因素也不同程度地对其有不利影响. 在现有的测控体系下, 提高测量信息精度主要依靠一些滤波算法, 对精度的提高虽有较大的作用, 但也存在着遗漏真实测量信息的风险, 对安全控制决策所需信息的精度和可靠性而言, 是不能满足其实际需要的.

现有的安全控制决策系统是依据专家给出的安全控制规则, 通过布尔逻辑运算得出最终的安全控制决策. 这些确定性的安全控制规则并没有反映出实际各种安控信息的重要性的精确性程度和安全控制规则的优先程度, 最终形成的安全控制决策也未能反映出基于不精确测量信息的真实可信度和相应的可靠度^[1].

建立火箭安全控制智能决策系统, 采用人工智能技术, 可使发射基地实现对火箭发射安全的宏观管理,

对安全状况进行更加准确和科学的全方位测量与预测, 提前感知或迅速、准确地获取火箭发射警情信息, 确定其影响的范围和危害程度, 更为有效地辅助安判人员进行安全控制决策, 降低出现误判的可能性, 从全局角度有针对性地进行紧急事件处理.

1 火箭安全控制流程决策

运行信息系统、决策系统和执行系统是构成火箭发射监控管理系统的三大要素, 通信系统是联系并协调上述系统运行的枢纽, 火箭安全控制决策系统的处理流程如图 1 所示.

图 1 火箭发射监控管理系统

1) 火箭运行信息系统中存储有由各外测设备获得的火箭位置和速度信息, 火箭自身返回的位置、速度和状态等遥测信息. 根据上述信息, 经过处理, 得到安

³ 收稿日期: 2005 - 08 - 20

基金项目: 国防预研基金资助项目(总装后字 2001285)

作者简介: 李伟(1976 -), 男, 四川自贡人, 重庆大学博士研究生, 主要研究方向: 人工智能系统、智能控制理论等.

全决策子系统能够处理的数据形式,给出当前火箭运行的弹道、落点和压力等属性。

2) 分析当前的火箭飞行状况,得到特定的安全判断需求,运用系统中存储的关于火箭飞行安全控制的经验知识以及各种计算模型(如设备误差模型,可信度分配模型等),通过定量的模型数值计算和定性的知识推理,产生飞行安全决策。

3) 安判人员通过人机接口,结合自身主观决策,产生最终的执行方案。根据上述方案,驱动执行系统,对火箭的飞行状况进行调节和干预,甚至炸毁。

决策系统是整个火箭发射监控管理系统的核心。下面将详细讨论该系统的框架结构。

2 结构设计与功能描述

火箭安全控制决策系统是一个火箭飞行状态检测、弹道选优与数据处理和安全事件处理决策的计算机决策支持系统,将火箭发射安全控制中的知识和经验,弹道数据处理的一些方法和测量误差分析的一些基本思想等综合起来,构成系统的知识库和模型库;再将安全控制时的思路和人工智能技术,结合起来,构成系统的推理机构,根据实时火箭飞行的状态,分析获得的弹道数据信息和其他相关的知识和模型,给出参考的安全相关信息,通过集成推理机调用控制方案^[1-3]。

基于上述思想,设计系统的框架结构如图2所示。该框架结构以数据库、模型库和知识库的形式,容纳了实现了火箭安全控制管理的各种定量的计算模型和经验性的安全控制策略知识,体现了基于知识的决策支持系统特点。

图2 火箭安全控制决策系统

系统采用客户/服务器(C/S)3层结构形式进行系统开发,在局域网内,数据库服务器(Microsoft SQL Server)存放来自火箭飞行信息系统及安全控制监测系统的实时数据,作为整个系统运行的基础数据;应用服务器上,采用基于文件的Access数据库系统,实现对模型库和知识库的管理和维护,向系统提供算法、模型和知识等共享资源;客服端控制系统提供人机接口、可视化等。

2.1 各模块功能

弹道监测:通过同火箭飞行信息系统的交互,获得飞行实时弹道的各种原始数据(如外测的火箭位置和速度,遥测的压力等)。

弹道滤波和选优:根据测量设备和弹道数据的实际情况,结合相应的优化处理方法和模型,从多条测量弹道中选出最能反映飞行实际情况的最佳弹道。

安全属性数据库:负责组织管理从飞行信息系统,弹道数据处理等前端数据处理系统获得的数据,为安全推理、分析、决策和控制提供有关的原始数据。从飞行信息管理系统提取的原始数据主要有理论弹道和相应的安全管道等数据;从弹道数据处理子系统获得的数据根据安全控制信息的分类,形成包括外测、遥测和压力等三大类数据,这些数据包括落点、弹道、速度、压力和相应的可信度等。它们的取值在每次做决策时都是变化的,是一个动态数据库。

决策信息数据库:以数据库的形式对所有的决策过程进行描述,存储每一个决策的相关信息,包括决策时间、推理流程等,保存历史信息,便于人员查询和分析决策情况。

安全状况显示:该模块将检测的安全状况,同飞行信息系统送来的理论弹道、时空坐标和安全管道相结合,实时地显现出现时刻的火箭安全状况,便于安控人员直观地掌握飞行安全情况,作出自己的决策。

知识库:决策系统工作的基础,用来描述火箭发射安全控制的知识和专家的经验,包括安全属性参数、原子事实和安全控制规则3个部分,详细介绍见后。

模型库:主要存放弹道数据分析和优化、测量设备误差模型和设备可信度分析3方面的数学模型。

集成推理和调度机:由定性的知识推理机和模型运算构成。知识推理采用搜索树构成,在安全决策过程中,推理机根据安全属性数据,通过单向或双向搜索选用适当的规则,最终提出各种安全控制决策方案。

人机接口:它贯穿在整个决策、控制和分析过程中,操作者通过它可以操作知识库和模型库,也可以查询相关的数据和决策信息;系统通过数据处理、模型运算与知识推理,充分利用各种数据、模型和知识,作出实时的带有可信度评价的安全决策方案,辅助安判人员作出最终的决策。

2.2 知识库设计

本系统的知识库主要包括安全属性参数、原子事实和安全控制规则3个部分。安全属性参数是反映火箭飞行状态的基本参数,如落点、射程、速度和压力等。原子事实库存放安全控制规则最根本的事实。规则一

般是专家的启发性经验知识,体现了安全控制的原则和规律.这里只介绍规则库的情况^[4-6].

根据火箭安全推理系统的实际情况,将不确定性推理中的可信度方法引入安判专家系统.可信度方法是肖特里菲等人在确定性理论的基础上,结合概率论等提出的一种不确定性推理方法,采用可信度来表示规则及证据的不确定性,对难于准确给出数学模型、先验概率及条件概率的问题是一种可行的方法.

在本知识系统中,规则是用产生式规则表示的,其一般形式为:

IF $E_1 (i_1)$ AND $E_2 (i_2)$... AND $E_n (i_n)$,
THEN $H (CF(H, E), i)$.

其中 $E_i (i=1, 2, \dots, n)$ 和 H 分别是规则的前提条件和结论; $i_i (0 \leq i_i \leq 1)$ 是规则子条件 $E_i (i=1, 2, \dots, n)$ 的权值, $i_i = 1$; $CF(H, E) (0 \leq CF(H, E) \leq 1)$ 是规则的可信度; $(0 \leq i \leq 1)$ 是规则可否应用的阈值,只有当前提条件 E 的可信度 $CF(E)$ 达到或超过这个限度,即 $CF(E) \geq i$ 时,相应的规则才会被应用,上述表达方式比较符合人们自然的逻辑推理方式.

例如: IF (外测落点连续报警超界 60次) (1.0),
TNEN (外测报警) (1.0, 0.50).

1) 规则的确定.在安全控制系统的规则库中,由相关领域专家根据相应的安全控制原则(资料中的4条安全判断基本原则)和自己的工作经验,给出规则前提条件的权值和规则的可信度,用前提权值和规则的可信度 $CF(H, E)$ 代表出不同的安判属性参数和规则对安判决策方案的重要性程度和优先程度.

2) 初始证据可信度 $CF(E) (0 \leq CF(E) \leq 1)$ 的确定.系统中,各原始安全控制测量信息即为初始证据,考虑到飞行数据测量的误差性和安全属性数据计算的复杂性,由初始证据获得的途径和流程,综合考虑弹道数据测量设备、弹道选择、落点参数计算、管道确定和管道中位置等各因素的精度,通过建立可信度值计算数学模型、专家评定等方法来给出初始证据的可信度.采用专家评定的方法比较方便,但带有较强的主观性;数学模型较为复杂,考虑的因素多,建立比较困难,需要不断在实验中予以调整,但结果比较科学精确,在系统设计的初步阶段主要采用前者.

3) 可信度的传递.当一条规则所需证据的可信度 $CF(E) \geq i$ 时,该规则就被应用,推出相应的结论 H ,它的可信度 $CF(H)$ 用下式计算:

$$CF(H) = CF(H, E) \times CF(E).$$

例如: IF (外测弹道连续报警超界 10次) (0.6)

AND (外测速度连续报警超界 10次) (0.4) TNEN (外测报警) (0.8, 0.50).

经过决策系统数据处理得到如下证据为:

外测弹道连续报警超界 10次,可信度 $CF(E_1) = 0.80$;

外测速度连续报警超界 10次,可信度 $CF(E_2) = 0.50$;

则

$$CF(E) = \min_i \{ CF(E_i) \} =$$

$$\min \{ 0.8 \times 0.6 + 0.5 \times 0.4 \} = 0.68 > 0.5$$

$$CF(H) = CF(H, E) \times CF(E) = 0.68$$

结论的不确定传递中“3”表示为“取极小”运算.

2.3 知识推理流程

在集成推理模块中,知识推理的功能非常关键,直接关系到整个系统决策的可信度,因此,这里重点介绍推理算法^[7-8].

2.3.1 推理机主要数据结构

CURRENT_RULE——当前正在执行的规则;

DEDUCE_RULE_LIST——推理规则链表;

BASIC_FACT_LIST——发生事实链表;

EXPECTED_RESULT_LIST——期望结论链表.

2.3.2 推理机的主要接口函数

SEARCHNEWFACT (RULE, FACTS)——在发生事实链表中搜索规则的前提条件.如果匹配成功则将新的事实加入发生事实链表,返回.

GETDEDUCERESULT (EXPECTED _ FACTS, FACTS) ——返回推理的结论.

2.3.3 具体推理算法

1) 开始时,将初始事实(数目不确定,由系统判断生成)加入 BASIC_FACT_LIST;

2) 若 BASIC_FACT_LIST为空,转入 9);

3) CURRENT_RULE = DEDUCE_RULE_LIST FIRST;

4) SEARCHNEWFACT (CURRENT_RULE, BASIC_FACT_LIST);

5) 若 BASIC_FACT_LIST中的元素个数变化,转入 3);

6) 若 CURRENT_RULE不是最后一个推理规则,则 CURRENT_RULE = DEDUCE_RULE_LIST NEXT,转入 4);

7) GETDEDUCERESULT (EXPECTED_RESULT_LIST, BASIC_FACT_LIST);

8) 清空 BASIC_FACT_LIST;

9) 推理结束.

由上述算法可以看出,推理机的结束条件是完成

了全部的相关规则的搜索后,本次推理结束.

3 结 语

在分析原有的火箭安全控制系统的基础上,为了提高安全决策的可信性和科学性,结合人工智能领域的智能决策技术和推理技术,设计了火箭安全控制智能决策系统的结构体系及实现方法,开发了相应的原型系统.基于知识的火箭安全控制系统能较好地完成预期的功能,对以后的进一步系统完善打下了良好的基础.

参考文献:

- [1] 高洪深. 决策支持系统(DSS)——理论·方法·案例[M]. 北京:清华大学出版社,2000.
- [2] 陈文伟. 智能决策技术[M]. 北京:电子工业出版社,1998.
- [3] XIA Q, RAO M. Knowledge Architecture and System Design for Intelligent Operation Support Systems[J]. Expert System with Applications, 1999, 17: 115 - 127.
- [4] 王永庆. 人工智能原理与方法[M]. 西安:西安交通大学出版社,1998.
- [5] JORMAZD N, KHOSHNEVIS B. Process Planning Knowledge Representation Using an ObjectOriented Data Model[J]. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 1997, 10(1 - 4): 92 - 104.
- [6] 李言俊,廖志忠,刘宝赋. 故障诊断专家系统知识库编辑和维护系统[J]. 计算机工程与应用, 2002, 38(21): 36 - 38.
- [7] 郁鹏,周济,温淑红. 知识处理中的推理机设计[J]. 小型微型计算机系统, 1999, 20(1): 20 - 24.
- [8] 曹正斌,陈文楷. 用VC开发发电厂水汽循环故障诊断专家系统[J]. 北京工业大学学报, 2001, 27(3): 353 - 359.

Knowledgebased Intelligent Decisionmaking System for the Safety of Rockets

LI Wei¹, HUANG Xiye¹, WEI Hongbo², QIAO Yu¹, LI Ya¹
(1. College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400030, China;
2. Xichang Satellite Launching Center, Xichang 615000, China)

Abstract: With the progress of science and technology, the astronautics has obtained great development and researched in many countries, the problem on rocket safety control is important during the rocket launching proceeding, and is also the focus of every space country. At first, the importance of rocket safety control is introduced and the characteristics of the existing system for the safety of rockets are analyzed. After indicating its disadvantages, the design idea, system framework and method for realization of the knowledgebased intelligent decisionmaking system are proposed to improve certainty and authenticity of safety decision, containing correspond knowledge and adopting the technology of intelligent decision and reasoning on AI.

Key words: intelligent decision support system; safety; reasoning algorithms

(编辑 张 苹)