

基于FDR的飞行安全定量评价模型FRAM-FD

刘晓东¹, 何元清¹, Dcboeach Fels²

(1. 中国民航飞行学院计算机学院 四川 广汉 618307; 2. Ryerson University, Toronto, Ont. CANADA M5B 2K3)

【摘要】 飞行数据记录设备(FDR)的使用为飞行安全的定量评价提供了必要的支撑, 该文通过对FDR数据中与发生受控撞地飞行风险相关的飞行参数的统计分析, 构建了以FDR数据为基础并结合专家知识规则的飞行安全风险指数计算模型, 提出了一种基于飞行参数超限频率和强度的飞行安全风险指数, 并用以标示飞行安全相对水平的方法, 给出了风险指数的数学定义及其计算方法。

关键词 定量评价; 飞行安全; 风险指数; 计算模型; 知识规则

中图分类号 TP31; V32 **文献标识码** A

A Quantified Flight Risk Assessment Model Based on FDR

LIU Xiao-dong, HE Yuan-qing, Dcboeach Fels

(1. Department of Computer, Civil Aviation Flight University Sichuan 618307, 2. Ryerson University, Toronto, Ont. CANADA M5B 2K3)

Abstract Through the analysis of FDRs data relative to the risk of controlled flight to terrain (CFIT), the framework of a quantified model to assessment CFIT risk based on FDR data is introduced. It is a computer model that uses the both exceeding data from the FDRs and knowledge based rules from safety experts to quantify the risk of an incident and/or accident by risk indicators. The mathematics definition of the risk indicator and its computing method are given.

Key words aviation safety; risk assessment; flight data; risk indicator; knowledge rule

传统的安全分析和评价一般是基于事故调查的, 主要是事后查找原因并采取措施来避免错误的重演。然而, Reolen指出“这类信息是溯及既往的, 安全管理人员试图根除的事故已经出现了。显然, 需要有一种更加主动的具有前瞻性的方法, 即需要一种指数而不是事故率来标示民航安全系统的实际安全状况”^[1]。其次, 随着DFDR(Digital Flight Data Recorder)和QAR(Quick Access Recorder)等飞行数据记录设备FDR(Flight Data Recorder)的广泛使用, 定量安全评价成为可能。基于FDR数据的飞行安全定量评价模型FRAM-FD(Flight Risk Assessment Model based on FDR Data)是以FDR数据的统计分析为基础并结合专家知识对飞行安全进行定量评价的计算模型。FRAM-FD以受控撞地飞行CFIT(Controlled Flight Into Terrain)和受控撞地飞行征候CFTT(Controlled Flight Toward Terrain)为初始的研究对象, 通过对超出正常范围的飞行参数数据及其与飞行安全关系的定量分析, 建立了一个通过对飞行参数超限分析来评价CFIT/CFTT相对风险程度的框架, 提出了一种用飞行参数超限的风险指数来指示发生CFIT/CFTT的相对风险大小的方法, 同时, 给出了影响安全的主要因素及其对安全影响程度的大小。

1 基于飞行参数超限的风险指数

1.1 飞行参数的超限

FDR以固有频率记录飞行过程中的参数数据, 安全分析主要关注那些超出正常范围的参数及其出现的频率和偏离的幅度。对于某一飞行参数, 本文引入以下定义。

定义 1 当飞行参数的某一FDR数据超出其正常的范围, 则称该参数超限, 相应的记录数据称为超限记录数据。

收稿日期: 2005-07-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60472127)

作者简介: 刘晓东(1966-), 男, 四川广汉人, 副教授, 主要研究方向民航计算机应用、计算机辅助教学。

按照飞行安全基金会(FSF)的标准,飞行数据被分为正常、一类超限(记录)、二类超限(检测)和三类超限(告警)四个级别^[2]。不同类型飞机的不同超限级别对应于各自取值范围。由于安全分析主要关注的是飞行参数偏离正常范围的各种特性,而不是参数本身的绝对大小,为了研究方便,引入飞行参数离差的概念。

定义2 飞行参数*i*在某一时刻*t*的FDR值 $a_{i,t}$ 与该时刻该参数的理想值 $\mu(a_{i,t})$ 的差称为参数*i*在该时刻的离差,记为:

$$x_{i,t} = a_{i,t} - \mu(a_{i,t}) \quad (1)$$

根据定义1,若

$$|x_{i,t}| \in [\Delta_j, \Delta_{j+1}), \quad j=1,2,3$$

则参数*i*在*t*时刻出现了*j*类超限。其中 $\Delta_j(\Delta_3 = \infty)$ 为该参数的*j*类超限的下限。

1.2 参数离差的概率分布

根据对历史数据的统计分析,飞行参数*i*的离差符合正态分布^[3],即:

$$X_i \sim N(0, \sigma_i) \quad i=1,2,\dots,m \quad (2)$$

式中 m 表示参数的个数; X_i 为第*i*个参数的离差。显然,对于参数*i*的不同超限级别的取值范围可以表示为:

$$[\lambda_{i,j}\sigma_i, \lambda_{i,j+1}h\sigma_i) \quad j=1,2,3; \quad i=1,2,\dots,m \quad (3)$$

由正态分布的特性可以得到参数*i*的各个超限级别的概率,记为 $P_{i,j}$,则:

$$P_{i,j} = P(\lambda_{i,j}\sigma_i < |X_i| < \lambda_{i,j+1}h\sigma_i) = 2[\Phi(\lambda_{i,j+1}) - \Phi(\lambda_{i,j})] \quad (4)$$

1.3 基于参数超限频率的风险指数

定义3 对于某一给定的飞行时段,FDR数据中飞行参数*i*出现*j*类超限的频率 $F_{i,j}$ 与对应的统计概率 $P_{i,j}$ 的比值,称为参数*i*在此次飞行中的关于*j*类超限的频率风险指数,记为 $RF_{i,j}$,则:

$$RF_{i,j} = F_{i,j} / P_{i,j} \quad j=1,2,3; \quad i=1,2,\dots,m \quad (5)$$

通过对飞行参数*i*不同的超限级别的频率风险指数进行加权平均,可以得到该参数在被评价阶段的超限频率风险指数 RF_i ,则:

$$RF_i = \left(\sum_{j=1}^3 w_{i,j} \times RF_{i,j} \right) / \sum_{j=1}^3 w_{i,j} \quad i=1,2,\dots,m \quad (6)$$

式中 权重系数 $w_{i,j}$ 由知识的规则和相关因素进行动态的设定。同样,对于不对同参数的超限频率风险指数进行加权平均,可以得到指定飞行阶段的超限频率风险指数 RF :

$$RF = \left(\sum_{i=1}^m w_i \times RF_i \right) / \sum_{i=1}^m w_i \quad (7)$$

超限频率风险指数 RF 大小标示了被评价飞行阶段不同参数出现不同类别超限的频率,并根据其对安全的影响程度的大小,进行综合后与依据统计规律得到的期望值之间的对比情况。 RF 大于1,说明由于参数超出正常范围而引发的风险高于期望水平, RF 越大大,则风险越大,反之亦然;其次,可以对不同参数的加权超限频率风险指数进行比较,得到影响安全的主要因素。

1.4 基于参数超限强度的风险指数

超限类别是按超限的幅度对参数超限进行类别划分的,但对于同一参数、同一类别的超限不同时刻的超限的幅度却可能不尽相同。对于3类超限,由于没有给定范围的上限,问题将更加突出。根据1.3节的思想,本文可以给出超限强度风险指数的定义,并求出各个参数的超限强度风险指数 RI_i 和整体的参数超限强度指数 RI ,用于评价因飞行偏差的幅度而引风险程度的大小。

2 专家知识的规则

对不同的飞行事故或飞行事故征候的风险进行评价,需要分析的参数各不相同。参数超限对安全影响的大小及各种相关的因素对飞行安全的影响程度等,也存在很大差异。同一个参数在不同的环境、程序等飞行条件下对诱发同一个飞行事故或飞行事故征候的影响程度也会发生变化,因此FRAM-FD中的风险指数计算涉及大量的权重系数,这些系数主要通过基于专家知识的规则来描述,并根据不同飞机、飞行阶段及

相关因素进行静态的给定或动态设置。CFIT/CFFT的专家知识主要来源于三个方面^[3]：FSF对同类事故报告的分析、FSF开发的CFIT检查单以及前两种知识及其相应的人的因素的逻辑组合。

2.1 CFIT/CFFT涉及的主要参数

通过利用FSF的CFIT检查单对五个CFIT事故的分析^[4],同时考虑到参数量化及风险指数计算的简化的需要,FRAM-FD选用了以下三种类参数用于评价CFIT/CFTT的安全风险:

- 飞行路线:包括气压高度、无线电高度、空速、航向、下降速度、下滑道的偏差等;
- 下降模式:包括近地警告系统(GPWS)和起落架的位置等;
- 附加参数:包括飞行时间、自动驾驶仪的状态、襟翼位置、垂直加速度、飞机姿态等。

2.2 相关因素

相关因素(contextual factors)是指与飞行安全事故或事故征候直接或间接相关的事件或迹象^[5]。按照系统工程的观点,相关因素一般被分为人、机、环境和程序(过程)四类。相关因素既可能在事故或事故征候发生之前就存在,且并未导致事故的发生,也可能直接导致了事故或事故征候的发生。在FRAM-FD中,根据影响的范围,相关因素被分为两类。一类是当某一相关因素出现时,将从整体上导致安全风险的加大。FRAM-FD通过引入风险因子(risk factors)将这类因素对安全的影响量化,并将这类相关因素的风险因子之和与超限风险指数相乘得到最终的风险指数。另一类相关因素是在某些飞行参数超限时部分影响飞行安全,可以通过设置不同的权重系数来加以体现。

2.3 权重系数

FRAM-FD中的风险指数计算涉及的权重系数由标准权重系数和修正权重系数两部分构成。标准权重系数是一个系数矩阵,可以根据专家知识静态设定。而修正权重系数则是根据不同的飞行条件和相关因素对标准权重系数的修正。一个修整权重系数是一条由相关因素条件、系数标识和系数修整值三个元素组成的规则,若干这样的规则组成了修整权重系数规则库。在计算风险指数之前或过程中,需要引用这些规则动态地生成或修正当前的权重系数矩阵。

3 FRAM-FD的基本构成

FRAM-FD由前端的数据准备、核心的超限风险计算和后端的结果分析三大部分构成,如图1所示,其输入为被评价飞行时段的FDR数据和相关因素,输出为该阶段CFIT/CFTT的相对风险指数和影响安全的主要因素。FDR分析的历史数据和基于知识的规则库则是支撑数据。

参数过滤器根据安全评价所需要的参数及其超限区间对FDR的数据进行过滤,相关因素分析器计算当前的权重系数矩阵,参数超限风险计算器计算参数的超限频率风险指数矩阵和超限强度风险指数矩阵,规则管理器和历史数据管理器分别用于管理基于知识的规则库和FDR历史数据。风险指数器计算相对风险指数,原因分析器给出主要的影响因素及其程度大小。

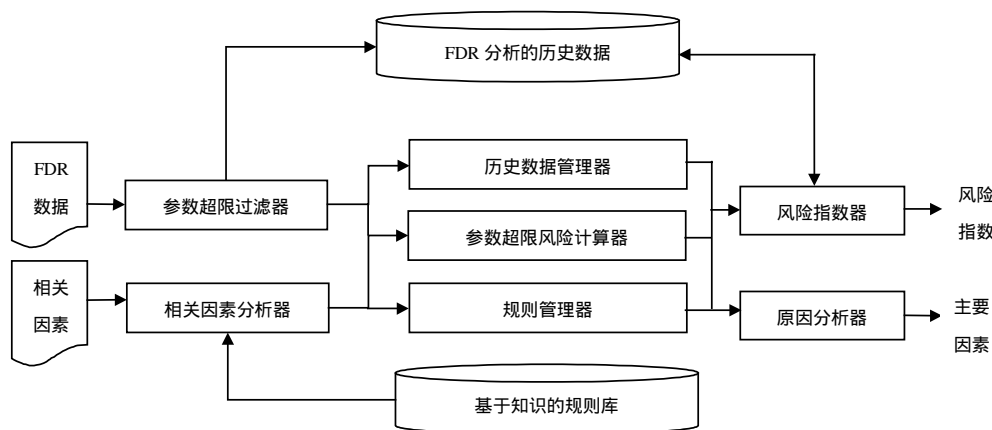


图1 FRAM-FD的构成

4 结论

FRAM-FD是一个相对飞行安全风险指数的计算模型,不仅可以对一个航段、一条航线、一个机组或一个飞行单位的安全进行定量的评价,而且能为安全形势的发展趋势分析、预测提供依据。进一步的研究包括在考虑飞行参数相关性的前提下,参数同时和依次超限时风险指数的计算方法及基于知识的规则的优化和对其它飞行事故和事故征候的分析等。

参 考 文 献

- [1] Roelne A L C. The development of aviation safety performance indicators: An exploratory study [M]. Amsterdam, Netherlands: National Aerospace Laboratory, 1998:12-16.
- [2] Warren D. Guidelines and methods for conducting the safety assessment process on civil airborne systems and equipments[S]. SAE ARP4761, U S: Aerospace Recommended Practice, 1996: 46~55.
- [3] Robert D. CFIT checklist: Evaluate the risk and take action[M]. Alexandria, VA, U S: The Flight Safety Foundation. 1994:43-49.
- [4] Biggs D, Hamilton G. Risk indicators and their link with air carrier safety[J]. Flight Safety Foundation Digest, 2001(10):1-6.
- [5] Jones S. An overview of the NASA aviation safety program assessment process[C] // Proceeding of AIAA's 3rd Annual Aviation Technology, Integration, and Operations. Denver, Colorado, U.S: AIAA. 2003: 17-22.

编 辑 徐安玉

(上接第95页)

4 结 束 语

本文分析了生物体免疫的基本原理,说明入侵检测和生物体免疫系统的相似性,给出了两者相关概念的比较。提出一种基于免疫原理的网络入侵检测系统模型,对模型中的关键部分给出了较详细的说明。可以看出,基于免疫原理的入侵检测系统建立的开销主要集中于抗体生成阶段,本文该阶段采用了遗传算子,因此继承了遗传算法的特点,为克服遗传算法的时空效率不佳的缺陷,将数据流分割成字符串集合,根据数理统计原理确定其分割参数和检测器数目,使它在通用性、鲁棒性上具有优势。一旦有了合适的抗体集,这种方法的检测效率是很高的。

参 考 文 献

- [1] Mukherjee B, Heberlein L T, Levitt K N, Network intrusion detection[J]. IEEE Network, 1994,8(3):26-41.
- [2] Kim J, Bentley P. The artificial immune model for network intrusion detection[C]. 7th European Conference on Intelligent Techniques and Soft Computing, Aachen, Germany, 1999:35-40.
- [3] Dasgupta D. Immunity-based intrusion detection system: a general framework[C]. In Proc. of the 22 nd NISSC, Arlington, Virginia, USA, 1999:113-127.
- [4] Hofmeyr S. An immunological model of distributed detection and its application to computer security[D]. Santa Fe USA: University of New Mexico, 1999.
- [5] 何球藻, 吴厚生. 医学免疫学[M]. 上海: 上海医科大学出版社, 2000.
- [6] Forrest S, Hofmeyr S, Somayaji A. Computer immunology[J]. Communications of the ACM, USA, 1997, 40(10): 88-96.
- [7] 杨向荣, 沈钧毅, 罗 浩. 人工免疫原理在网络入侵检测中的应用[J]. 计算机工程, 2003, 26(6): 27-29.

编 辑 孙晓丹