

# 军用战机驾驶员操纵品质评估系统研究

倪世宏<sup>1,2</sup>, 史忠科<sup>1</sup>, 王彦鸿<sup>2</sup>, 谢川<sup>2</sup>

(1. 西北工业大学 空中交通管理系统研究所, 陕西 西安 710072; 2. 空军工程大学 工程学院, 陕西 西安 710038)

**摘要:**分析了驾驶员操纵品质评估对飞行数据的要求,根据军用战机的飞行特点,建立了军用战机驾驶员操纵品质评估模型。利用 Visual C++ 6.0 和 DirectX 混合编程技术研制了可在普通配置的 PC 机上运行的驾驶员操纵品质评估系统。该系统的核心是基于专家系统理论快速识别飞机飞行状态和机动飞行动作,完成整个飞行课目的飞行成绩自动评定,逼真再现飞行过程。为提高飞行技术,确保飞行安全提供了技术手段。

**关键词:**飞行数据;驾驶员操纵品质;成绩评定;专家系统

**中图分类号:**V32;TP391.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2004)06-0007-04

对军用战机而言,加强基础性飞行驾驶技术训练,确保飞行安全仍是一个不可忽视的问题。国内外民用航空公司普遍重视驾驶员操纵品质的监控,通过改进和完善飞行机组人员的操作水平,提高飞行安全的记录。驾驶员操纵品质监控软件快速分析飞行数据记录器(FDR)或快速存取记录器(QAR)记录的数据,给出不同形式的驾驶员操纵品质报告和参数超限报告,作为考核机组飞行驾驶技术的参考依据<sup>[1]</sup>。目前多数军用战机都装备了 FDR 以及配套的数据卸载和译码设备,因此根据军用战机的飞行特点,研究一种利用飞行数据评估军用战机驾驶员操纵品质的方法是完全必要和可行的。

## 1 驾驶员操纵品质评估对飞行数据的要求

民用航空公司针对不同的机型制定了相应的驾驶员操纵品质监控项目和标准,监控的时机从地面滑行、起飞离地、爬升、航线飞行一直到近进和下滑着陆,监控的项目少则几十条,多则上百条,监控的标准根据参数偏差的大小分三个等级:一级事件、二级事件和三级事件。虽然不同机型监控的项目数量有所不同,但监控所需的飞行参数主要集中在:飞行高度、速度、姿态角、垂直过载、升降率、姿态角变化率和飞机的位置。由于 QAR 记录的飞行数据来自计算机总线,飞行参数的误差均在信号源处即被补偿,所以参数的记录精度满足驾驶员操纵品质监控标准的要求。B737 型飞机驾驶员操纵品质评估系统对飞行数据记录精度的要求为高度 80 ft,速度 2 kts,位置 0.5 dot,姿态角 1°,垂直过载 0.1g,升降率 100 ft/min。

军用战机评估驾驶员操纵品质所需的飞行参数与民航飞机大体相同,对飞行数据记录精度的最低要求为:高度 70 m,速度 30 km/h,姿态角和航向角 6°,升降率 3 m/s,而目前军用战机装备的 FDR 对这些参数的记录精度则为:高度 8 m,速度 1 km/h,姿态角和航向角 2°,升降率 2 m/s。显然 FDR 的记录精度满足评估驾驶员操纵品质的要求,而且 FDR 记录的飞行状态参数和座舱仪表指示的飞行状态参数均来自同一个信号源,所以根据 FDR 记录的飞行数据完全可以实现军用战机驾驶员操纵品质的评估。

## 2 驾驶员操纵品质评估项目的确定

军用战机的飞行特点是机动性强、飞行参数的变化范围大。在飞行训练课目中,基本驾驶术训练课目对

收稿日期:2004-05-23

作者简介:倪世宏(1963-),男,江苏南京人,教授,博士生,主要从事飞机状态监控与数据处理研究;  
史忠科(1956-),男,陕西岐山人,教授,博士生导师,主要从事控制理论和控制工程研究。

飞行参数和飞行轨迹的保持有具体的数值要求,所以开展基本驾驶技术课目的驾驶员操纵品质评估条件相对成熟,在基本驾驶术课目中,设定的动作有:不同坡度的水平盘旋;不同升降率的升降转弯;不同俯冲角的俯冲跃升;不同类型的横滚以及半滚倒转、斤斗、半斤斗翻转等。

针对不同的机型和不同的飞行动作,存在不同的飞行参数保持标准,这些标准是飞行成绩自动评定的依据。

军用战机典型的飞行过程包括起飞离地、空域飞行、返航着陆3个阶段。根据不同机型FDR记录的飞行参数内容和参数记录精度,确定军用战机驾驶员操纵品质评估的项目如表1。

表1 军用战机驾驶员操纵品质评估项目

监控时刻	监控项目和参数
起飞滑跑	离地速度、离地迎角
收起落架	高度、速度
空域动作的进入、保持和改出3个阶段	高度、速度、升降率、姿态角、航向角
放起落架	高度、速度
着陆	接地时的速度、迎角、过载、剩油量
放减速伞	速度
整个飞行过程	极值飞行参数和飞行时间统计

### 3 驾驶员操纵品质评估系统的实现

#### 3.1 评估系统的组成和功能

驾驶员操纵品质评估系统由数据预处理、飞行事件分析、飞行成绩管理、飞行计划管理和飞行过程再现6个模块组成。各模块的主要功能描述如下:

数据预处理——完成不同机型FDR飞行数据的录入和格式统一转换。

飞行事件分析——产生飞行事件报表和成绩评定报表。飞行事件报表的内容有飞行状态、空域完成动作的名称和时间,本次飞行的极值飞行参数和空中飞行时间;成绩评定报表的内容有空域飞行动作三个阶段中各个监控项目的参数误差和评定成绩、整个飞行课目的总飞行成绩。

飞行成绩管理——完成成绩评定标准库的维护;根据飞行员姓名、飞行日期、飞行课目查询飞行成绩;绘制成绩统计直方图和趋势图。

飞行计划管理——完成飞行员个人档案维护和飞行计划表制定。

飞行数据管理——完成飞行数据的查询和压缩存储。

飞行过程再现——以飞机姿态、飞行航迹,座舱仪表等形式局部(根据识别的飞行阶段和飞行动作时间段)或整体再现飞行过程。

飞行事件分析模块是驾驶员操纵品质评估系统的核心,本文重点介绍该模块的研制过程。

#### 3.2 飞行事件报表的生成

飞行事件报表生成的过程是综合应用人工智能技术,自动识别飞行状态和空域飞行动作。笔者分别采用了神经网络<sup>[2]</sup>和专家系统技术来完成该项工作,均取得满意效果,限于篇幅,这里仅介绍基于专家系统技术识别飞行状态和机动飞行动作的方法。该方法的主要思路是:提取待监控的飞行状态和机动飞行动作过程中飞行参数的变化特征;以产生式规则作为知识表达形式,构造飞行状态和飞行动作识别知识库,并将用自然语言描述的知识库编译、转换成便于计算机执行的二进制工程文件;逐帧读入飞行数据,与知识库的每一条规则进行匹配,若某条规则匹配成功,则完成规则指定的操作。飞行事件报表的生成过程参见图1。

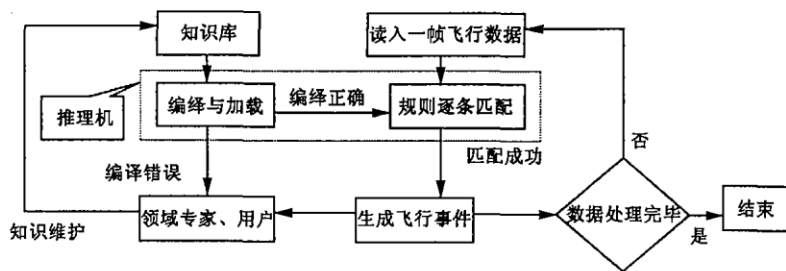


图1 飞行数据处理流程

在飞行状态和飞行动作识别知识库中,每一条规则的基本表达形式为:

条件行:事件号 逻辑表达式 持续时间 事件性质 事件名称。

文本输出行:事件名称 参数符号 参数单位 持续时间。

操作行:操作符 操作表达式。

参数输出行:输出符 事件输出类型 输出参数符号。

例如,描述飞机起飞的规则形式为:

001 PIpaz1 \* ! PIotpl 2 0 起飞。

TEXT 起飞:[ Vc] km/h,[ v\_iaoa]度,{ TIME} s。

OPERATION 0。

PRINT 3, Vc( Max) ,v\_iaoa( End) 。

该规则详细的物理含义说明见文献[3]。文本输出行用于定义打印机输出飞行事件报表的内容,参数输出行用于定义飞行事件成立时屏幕显示的飞行参数内容。相关参数的物理含义为:PIpaz1——飞机起飞滑跑标志,PIotpl——飞机离地标志,Vc——飞机速度,v\_iaoa——飞机迎角。

飞机起飞滑跑标志 PIpaz1 和飞机离地标志 PIotpl 成立和否定的条件以及识别空域飞行动作的知识同样可以用上述规则加以描述。

为了提高知识库的通用性和可扩展性,采取了下列措施:

1) 扩展事件类型定义和数学运算定义。事件类型定义:0——飞行状态、1——设备故障、2——超出飞行使用限制、3——工作时间统计、4——极值参数统计、5——其它;逻辑运算定义:“与”、“或”、“非”;数学运算定义:“加”、“减”、“乘”、“除”、“开方”、“绝对值”、“最大值”、“最小值”。

2) 扩展事件输出类型的定义。Z——不输出、X——事件成立的某一个时刻、T——不输出事件成立的时间,只输出至事件成立时统计的参数值、3——事件成立的时间范围。

3) 建立与知识库配套的飞行参数译码数据库和规则中使用的变量符号定义数据库。

4) 建立不同机型的飞行状态和机动飞行动作识别知识库,根据用户选择不同的机型,在处理飞行数据时,加载不同的知识库。

飞行事件报表见图2。

利用本文介绍的方法,对近千个架次的飞行数据进行了处理,并与领域专家人工判读的结果逐一进行对比,结果表明,飞行动作识别的准确率在90%以上,时间范围误差在5s以内。

### 3.3 成绩评定报表的生成

图2所示的飞行事件报表以自定义的格式存放在数据文件中,系统采用字符串匹配的方式,将飞行事件报表中的飞行动作名称与飞行成绩标准库中的飞行动作名称进行比对,若匹配成功,则根据飞行成绩标准库中设定的监控项目,计算飞行参数标准值与FDR记录的实际值误差,评定每一个监控项目的成绩。每一个动作和整个飞行课目的成绩合成方法见文献[4]。成绩评定报表见图3。

事件号	事件名	起始时间	结束时间
001	起飞	00:30:43	00:30:53
002	离地	00:30:53	00:30:54
003	收起落架时的速度	00:30:58	00:31:00
010	飞行中高度小于给定值	00:31:18	00:31:19
402	最大角速度盘旋	00:34:54	00:35:41
402	最大角速度盘旋	00:36:08	00:38:44
414	半滚倒转	00:42:17	00:42:48
421	斤斗	00:42:48	00:43:38
422	半斤斗翻腾	00:43:38	00:43:54
004	放下落架时的速度	01:17:11	01:17:12
005	接地	01:18:27	01:19:38
006	着陆	01:19:40	01:25:57

图2 飞行事件报表

序号	机型	飞行日期	架次	初始姓名	成绩
1	J01	2003.06.28	01	王飞	3.5

序号	动作名称	起始时间	结束时间	成绩
1	45度盘旋	00:18:03	00:18:55	3
2	45度盘旋	00:17:23	00:18:49	3
3	50度盘旋	00:19:07	00:20:16	4
4	60度盘旋	00:22:04	00:23:07	4
5	60度盘旋	00:22:38	00:24:45	3
6	坡度45,高度差1000,15m/s下降转弯	00:25:30	00:26:30	3
7	坡度45,高度差1000,15m/s上升转弯	00:26:53	00:28:04	3
8	坡度45,高度差2000,30m/s下降转弯	00:28:23	00:29:22	3
9	坡度45,高度差2000,30m/s上升转弯	00:29:53	00:31:36	4
10	30度以内俯冲上升转弯	00:34:38	00:36:43	3
11	60度盘旋	00:38:23	00:39:35	4

图3 成绩评定报表

### 3.4 飞行过程再现

考虑本系统使用的场合为飞行技术讲评室或飞行员宿舍,使用平台为普通配置的PC机,所以图像处理 and 播放控制采用DirectX8.0SDK和Visual C++ 6.0混合编程技术。前期准备工作主要包括使用3D Studio Max软件建立统一的地景、机场跑道、建筑物以及不同机型的3D模型,然后将上述模型文件转换为DirectX需要的文件格式;录制并生成发动机工作、起落架收放等声音效果文件。使用Direct3D进行三维场景、机场及飞机模型的渲染;使用DirectDraw进行平显画面、座舱仪表的绘制及显示;使用DirectSound播放发动机工作和起落架收放等的声音效果。飞行过程再现设定了座舱仪表,飞机姿态、立体航迹、平面航迹(数字地图

背景)等多种形式。

## 4 结论

军用战机 FDR 记录的飞行数据内容和参数精度完全满足驾驶员操纵品质评估对飞行数据的要求。建立军用战机驾驶员操纵品质评估模型还应注意:①不同用户具体执行飞行计划和飞行课目的灵活性;②实施驾驶员操纵品质评估的体制和装备的性能。本文讨论的驾驶员操纵品质评估模型充分考虑了上述非技术性因素,设定的系统功能、监控项目和处理模式满足了不同用户的需要。

### 参考文献:

- [1] 徐祥松. 飞行数据与安全[J]. 民航经济与技术, 1995, 15(7): 27-30.
- [2] 李玉峰, 倪世宏, 张宗麟. 一种基于模糊 Kohonen 网络的飞行数据智能处理方法[J]. 系统工程与电子技术, 2002, 24(9): 53-89.
- [3] 倪世宏, 张吉广, 王彦鸿, 等. 某型飞机飞参处理站国产化方案设计与研制[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2002, 3(2): 1-4.
- [4] 张建业, 李学仁, 倪世宏. 飞行成绩评定及管理系统[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2001, 2(1): 70-73.

(编辑: 姚树峰)

## The Research on Pilot Steering Quality Evaluation System of Avion

NI Shi-hong<sup>1,2</sup>, SHI Zhong-ke<sup>1</sup>, WANG Yan-hong<sup>2</sup>, XIE Chuan<sup>2</sup>

(1. The Graduate School of Air Traffic Management System, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China; 2. The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China)

**Abstract:** After an analysis of the demand of pilot steering quality evaluation for flight data, the model of pilot steering quality evaluation of avion is established according to the outline of flight training and the flying characteristic of avion. The system of pilot steering quality evaluation of avion which can run on the platform of normal PC is made by using the language of Visual C++ 6.0 and DirectX technology. The system can quickly recognize the flight state and maneuver action based on the expert system theory, assess the grade of flight subject automatically, redisplay the flight course realistically. So it provides a technical method for improving flight skill and insuring flight safety.

**Key words:** flight data; pilot steering quality; grade assessing; expert system

(上接第3页)

## Application of the Virtual Instrumentation Technique Based on DirectX in Flight Simulation

LI Jun-tao, LI Xue-ren, LI Yong-bin

(The Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710038, China)

**Abstract:** Using the Z buffer arithmetic and double buffer technique of DirectX, an all-purpose, exoteric platform of Virtual Instrumentation is built by multi-layered, real-time rotating and zooming sprite in this paper. And it is applied in the flight data process. The practical application demonstrates that the proposed technique can be used to realize all-purpose Cabin-simulation.

**Abstract:** virtual instrumentation; DirectX; all-purpose; flight simulation