

民用飞机试飞规划与 管理软件架构研究

Research on Flight Test Planning and Management Software for Civil Aircraft

刘为民 王文婕 罗冬毅 / Liu Weimin Wang Wenjie Luo Dongyi

(中国商飞信息化中心, 上海 201210)

(Information Center, Commercial Aircraft Corporation of China Ltd., Shanghai 201210, China)

摘要:

为了提高民用飞机试飞的效率,优化试飞的过程和保证试飞过程的质量,需要构建民用飞机试飞规划与管理软件系统。针对此目标,提出了一套架构方案,将基于 B/S 的客户端与基于 C/S 的客户端相结合,让优化引擎以相对独立的方式运行,与外部系统集成实时地获取飞机构型数据。

关键词:民用飞机;试飞;软件架构;优化引擎

中图分类号:TP319.0

文献标识码:A

[Abstract] In order to increase efficiency, to optimize the process and to ensure the quality of civil aircraft flight test, it's necessary to construct civil aircraft flight test planning and management software. For this purpose, an architecture solution is proposed. In the architecture, clients based on B/S and C/S work with each other together, optimization engine runs independently beside application server and aircraft configuration data are shared from external system in real-time way.

[Key words] civil aircraft; flight test; software architecture; optimization engine

0 引言

民用飞机试飞^[1-2]是验证民用飞机是否具备商业飞行条件的过程,只有通过试飞取得必要的数
据,证明飞机符合中国民用航空局(CAAC)等审定机构的要求,并获得这些审定机构的批准,民用飞机才可能投入商业飞行。

民用飞机是高度复杂的产品,需要进行试验验证的项目涉及机械、材料、电子等方方面面。这些试验项目的基本单位被称为试验点,每个试验点用于验证飞机某个方面的指标是否达到要求,比如飞机的最大飞行高度。对于某个型号的民用飞机来讲,这样的试验点有数千个。绝大多数的试验点,需要在飞机飞行当中进行试验。飞机每执行一次从起飞到降落的飞行过程,称为一个试飞任务。在每个试飞任务当中,通常安排多个试验点的试验。执行试飞任务的试验飞机一般有数架,每架试验飞

机上安装的试验设备往往不同。

由上述可知,民用飞机试飞是一个头绪相当繁杂的活动,仅靠人力来规划和管理难以适应实际需要,设计和开发民用飞机试飞规划与管理软件,是提高试飞效率、优化试飞过程和保证试飞质量的有效途径。本文阐述民用飞机试飞规划与管理软件的一种架构方案,针对试飞活动对软件的一些特殊需求给出了相应的解决方法。

1 基本架构

民用飞机试飞规划与管理软件的架构基本上采用成熟的基于 Web 的企业应用架构。在后台有常见的应用服务器和数据库,除此以外还有一个不常见的优化引擎^[3],无论在逻辑上还是物理上它都是一个单独的部件。在前台有常见的 B/S^[4]客户端,即与平台无关的基于浏览器的客户端,此外还有已经不太常见的 C/S^[5]客户端,运行于 Windows

平台之上。在软件外围,有以 PDM^[6](产品数据管理)系统为代表的外部系统,民用飞机试飞规划与管理软件通过接口与外部系统相连接,如图 1 所示。

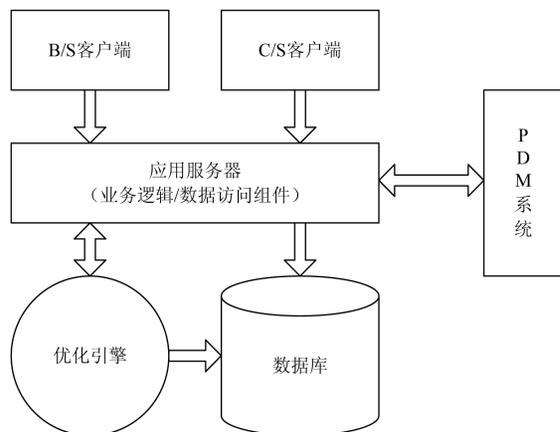


图1 民用飞机试飞规划与管理软件基本架构

B/S 客户端是主要的用户操作端,拥有用户熟悉的网页形式的界面,绝大部分业务活动通过 B/S 客户端来完成,典型的业务是诸如试验点、试飞任务、试验飞机数据等基础数据的管理和维护。

应用服务器是整个软件系统的核心,它是全部业务逻辑和数据访问组件的容器,软件系统的其它各个组成部分以及相关的外部系统都以某种形式围绕在这个核心的周围,与它建立某种联系。

数据库系统采用流行的商用关系数据库管理系统,比如 Oracle,用于管理和存放系统所需要的各类数据。

2 C/S 客户端

C/S 客户端并非是 B/S 客户端的翻版,它主要面向特定的业务和特定的用户群。为了满足特殊的使用环境和操作界面的要求,选择基于 C/S 的客户端是必要的。

为了执行试飞任务,试飞工程师需要跟着飞机一起飞行,这一群用户对客户端的要求是它能够运行在离线的随身电脑上,因为在现有条件下,无法为飞机上的终端设备提供持续可靠的网络连接。对于这种情况,采用 C/S 客户端几乎是唯一的选择。C/S 客户端被设计成既可以连接服务器作为普通的客户端运行,也可以脱离服务器独立运行成为所谓的离线客户端。为此 C/S 客户端需要有自带的本地缓存数据库,用于在离线状态下存储必要的数据库,一旦重新与服务器建立连接,客户端会自动同步本地数据库,以便使本地数据与服务器上的数

据保持一致,如图 2 所示。

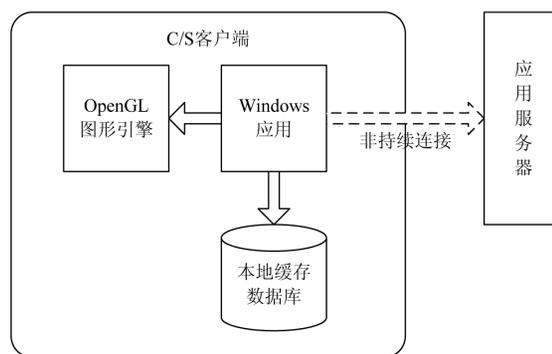


图2 C/S 客户端

在执行试飞任务过程中,试飞工程师需要时常查看试飞任务单,即描述试飞任务的信息单,以往的任务单一般是纸质的,有了 C/S 客户端,使得电子任务单的实现成为可能。在任务单中,飞行剖面图是一项重要的内容,它用图形的方式描述飞机从起飞到降落的时间-高度曲线,以及试验点在不同飞行阶段的分布等情况。纸质的任务单上的飞行剖面图是打印的静态图,有了电子任务单,就可以实现交互式的动态飞行剖面图,将更丰富的信息呈现出来。为了绘制飞行剖面图,C/S 客户端采用了 OpenGL 图形引擎^[7]作为底层支持。

C/S 客户端的功能局限在部分业务上,不能代替 B/S 客户端,两者相辅相成、互为弥补。目前的 C/S 客户端还仅仅运行于 Windows 平台之上,将来可以根据需求开发可运行于平板电脑的版本,比如基于 iOS 或者 Android 平台的客户端,以更加方便试飞工程师的使用。

3 优化引擎

试飞规划是试飞工作中的一项重要内容,它主要解决以下几个方面的问题:第一,怎样合理地设计飞行任务,使若干试验点在一个起落架次当中顺利地衔接起来。难点在于各个试验点对试验条件有着千差万别的要求,比如有的试验点要求飞机在上升阶段、特定的高度或特定的速度上才能试验。第二,怎样合理地把数以千计的试验点分配在若干试飞任务中,使得试验飞机的总起落架次数尽可能少。难点在于试验点与试验点之间存在着复杂的相互制约关系,比如某些试验点的试验完成是另一些试验点进行试验的前提;第三,怎样把若干试飞任务分配给数架试验飞机执行,使整个试飞工作尽可能早完成。难点在于各个试验飞机的装备和试

验设备并不相同,能承担的试飞任务受到制约。

若试飞规划由人来进行,是一项艰巨的工作,结果也难以接近最优。借助优化软件来辅助完成这项工作是比较好的选择,尤其是在时间紧任务重的情况下,更能体现出优化软件的优势。在建立适当的数学模型的基础上,优化软件可在较短时间内,计算出可接受的次优解。优化软件是计算密集型^[8]的计算机程序,采用 C 语言写成在 Unix/Linux 平台上运行,没有图形化的人机界面,独立于应用服务器之外运行,称之为优化引擎,如图 3 所示。

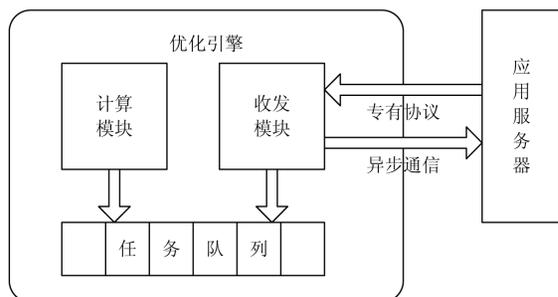


图 3 优化引擎

优化引擎采用基于 TCP/IP^[9]的专有协议与应用服务器通信,由于优化运算所消耗的时间较长,两者之间必须采用异步方式进行通信^[10]。首先应用服务器与优化引擎的收发模块建立会话,将优化任务及相关数据打包发送给对方,随后就结束对话,而不是等待优化结果计算出来。然后优化引擎的收发模块将任务加入任务队列^[11],优化引擎的计算模块按照先后顺序依次取出任务进行优化计算,经过一定时间的运算以后得到优化结果,最后优化引擎的收发模块将计算结果返回给应用服务器。

4 与 PDM 系统的接口

飞机的构型^[12]是飞机产品确定的数学模型,是飞机产品在整个生命周期内的动态的结构组织形式。同一个型号的每一架飞机的构型并不完全相同,而试验飞机在构型上的差别往往更大,比如说有的试验飞机上配备了标准座椅,有的试验飞机为了给试验设备留出空间而没有安装座椅。某一架试验飞机能否承担某个试验点的试验,很大程度上决定于这架飞机的构型。

飞机的构型数据保存在 PDM(产品数据管理)系统中,民用飞机试飞规划与管理软件需要使用这些数据,如果每次使用构型数据都要去 PDM 读取它们不是理想的方案,因为这将导致通信双方频繁地

传递大量数据,影响各自的运行效率。考虑到飞机构型数据的特点是数据量大但相对稳定不变,可以在民用飞机试飞规划与管理软件中建立飞机构型数据库的副本,如图 4 所示。

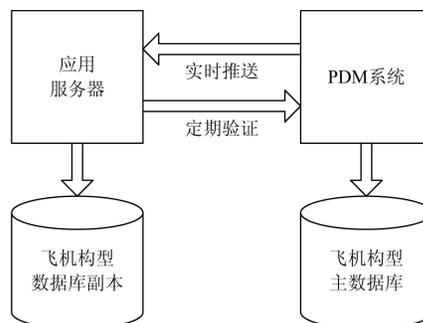


图 4 与 PDM 系统的接口

为了维护飞机构型数据的正确性和完整性,必须在飞机构型数据库副本和主数据库之间建立及时和可靠的同步接口。首先,在 PDM 系统一端,一旦发生构型数据的变化,数据会通过接口实时推送给民用飞机试飞规划与管理软件,但 PDM 系统不负责验证数据是否推送成功,这是为了降低接口的复杂度和减轻 PDM 系统的负担。其次,民用飞机试飞规划与管理软件会通过另一个接口,定期将构型数据库副本与主数据库进行比较,如果发现数据不一致即刻纠正,这样就能弥补可能发生的数据推送错误,这个验证工作一般在双方都不忙的时候进行。以上的双接口设计为民用飞机试飞规划与管理软件使用正确完整的飞机构型数据提供了保证。

5 结论

本文讨论了民用飞机试飞规划与管理软件的架构方案,该软件根据特殊的使用需求,采用了一些特殊的架构设计。为了实现客户端离线运行和图形化操作的需求,采用了 C/S 与 B/S 架构客户端相结合的方案;为了适应优化引擎计算密集的需求,采用了优化引擎子系统独立运行并与主系统异步通信的架构方案;为了使软件能快捷而可靠地使用飞机构型数据,采用了建立构型数据库副本和双接口同步数据的方案。

参考文献:

- [1] 黄耀德. 关于发展民用飞机的几个问题[J]. 中国民用航空, 2002(5): 47-49.
- [2] 倪晔. 浅谈国内民用飞机验证试飞计划的管理与控制

[J]. 民用飞机设计与研究, 2012(S1): 182-184.
 [3]施灿涛, 杨国俊, 李铁克. 钢铁企业 APS 优化引擎的软件模型研究及应用[J]. 计算机应用研究, 2011(2): 606-608.
 [4]白德平, 袁斌, 刘建权. B/S 与 C/S 混合体系结构开发应用程序[J]. 微计算机信息, 2010(21): 151-153.
 [5]罗军, 陈静. 关于 C/S 客户/服务器技术的综述[J]. 自动化技术与应用, 2000(2): 53-55.
 [6]王波兴, 王波, 陈立平. 构筑以 Windchill 为基础的 PDM 平台[J]. 机械科学与技术, 2004(8): 969-972.
 [7]许四平. 基于 MFC 的 OpenGL 图形开发[J]. 硅谷, 2009(23): 87+71.
 [8]王鹏, 孟丹, 詹剑锋, 涂碧波. 数据密集型计算编程模型研

究进展[J]. 计算机研究与发展, 2010(11): 1993-2002.
 [9]刘爽, 史国友, 张远强. 基于 TCP/IP 协议和多线程的通信软件的设计与实现[J]. 计算机工程与设计, 2010(7): 1417-1420+1522.
 [10]曾斌, 彭长根, 杨辉, 曾凯, 姜小丽. 基于 J2EE 技术的企业异步通信解决方案[J]. 计算机工程, 2006(5): 252-254.
 [11]赵鹏飞, 李先国, 叶敏. 基于网络存储的等待队列调度模型的设计[J]. 计算机工程与科学, 2006(1): 95-97.
 [12]于勇, 范玉青. 飞机构型管理研究与应用[J]. 北京航空航天大学学报, 2005(3): 278-283.

(上接第 50 页)

表 3 单剪结果统计

组号	柔度 f_b (mm/N)			ESDU 误差%	Nelson 误差%
	试验	ESDU	Nelson		
DDDJ-1	4.455E-05	4.701E-05	4.438E-05	5.522	0.382
DDDJ-2	3.837E-05	4.121E-05	4.200E-05	7.402	9.461
DDDJ-3	2.048E-05	2.055E-05	2.410E-05	0.342	17.676
DDDJ-4	2.351E-05	1.838E-05	2.291E-05	21.821	2.552

同样方法, 得出双剪连接柔度计算结果统计, 如表 4 所示。

表 4 双剪结果统计

组号	柔度 f_b (mm/N)			ESDU 误差%	Nelson 误差%
	试验	ESDU	Nelson		
DDSJ-1	1.820E-05	2.325E-05	3.755E-05	27.747	106.319
DDSJ-2	1.837E-05	1.914E-05	3.556E-05	4.192	93.576
DDSJ-3	1.022E-05	1.163E-05	2.123E-05	13.796	107.730
DDSJ-4	1.337E-05	0.992E-05	2.024E-05	25.841	51.384

从表 4 可以看出, ESDU 方法计算结果与试验结果偏差比单剪时大(最大接近 30%), 其主要原因可能是, 将双搭接件沿其厚度对称面分为两个单搭接件, 取其中任意一个单搭接件计算双剪柔度, 由于两块板厚度不同带来的误差。Nelson 公式的预测误差甚至为 100%, 大到无法接受的程度。

4 分析和总结

根据单剪和双剪试件连接柔度计算分析结果可见, 以实测结果为参照, 单剪试验件柔度的计算结果相对较好, 两种算法(ESDU 法和 Nelson 法)误差水平相当, 且可以接受; 双剪试验件柔度计算结

果偏差较大, 其中 ESDU 方法结果稍好, Nelson 法的结果不可接受。

ESDU 法原来是为金属接头分析开发的, 将其近似用于金属和复合材料混合连接问题分析, 不可避免带来一些误差, 对单剪连接来说主要是相互搭接板材料性质不同带来的误差, 对双剪连接来说更主要的是考虑了对称性、只取一半厚度后层压板和金属板厚度不一致带来的误差。

参数 k 、 A_{px} 和 λ 对 ESDU 法计算结果有一定影响, 而这三个参数的选取有一定随意性, 这是今后分析中需要进一步探究的另一个问题。

Nelson 方法适用于层压板和搭接板材料不同的情况, 但是针对其在双剪应用中的较大误差尚需进一步研究探讨。

参考文献:

[1]李令芳主编. 民机结构耐久性与损伤容限设计手册(上册)疲劳设计与分析[M]. 北京: 航空工业出版社, 2003. 6.
 [2]航空结构连接件疲劳分析手册[M]. 北京: 飞机结构强度研究所, 1985. 5.
 [3]飞机结构耐久性及损伤容限设计手册(JNS 第二册)[M]. 北京: 航空航天工业部科学技术研究院, 1989. 1.
 [4]牛春匀. 实用飞机结构工程设计[M]. 北京: 航空工业出版社, 2008. 10.
 [5] Flexibility of, and load distribution in, multi-bolt lap joints subject to in-plane axial loads. Engineering Sciences Data Unit, ESDU 98012, ESDU International plc, 2002.
 [6] M. A. McCarthy, C. T. McCarthy, G. S. Padhi. A simple method for determining the effects of bolt-hole clearance on load distribution in single-column multi-bolt composite joints, Composite Structures, 2006, Vol. 73, Issue. 1: 78-87.