

仿真一体化技术在飞行管理系统中的应用

刘继美 郑探辽

(南京航空航天大学 301 教研室, 南京, 210016)

THE APPLICATION OF INTEGRATED SIMULATION TECHNOLOGY IN FLIGHT MANAGEMENT SYSTEM

Liu Jimei, Zheng Tanliao

(Faculty 301 of Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing, 210016)

摘要 介绍新研制的 FMS 仿真一体化软件的基本结构及其功能, 并以飞行管理系统侧向制导为例, 探索了仿真一体化方法的实现及应用问题。实践证明其是灵活和方便的, 更接近于实际情况。

关键词 系统仿真, 飞行管理系统, 数据库管理系统

中图分类号 V355, TP392

Abstract The basic structure and functions of the recently developed FMS integrated simulation software are introduced in this paper. With the lateral guidance of flight management system as an example, the problems about implementation and application of the integrated simulation method are explored. It is proved in practice that to study the flight management system with integrated simulation method is very flexible, convenient and closer to the working condition of the practical system.

Key words Systems simulation, flight management Systems, data base managementsystems.

一体化(Integrated)仿真软件是软件工具的集合。它包括仿真研究的全过程, 即模型描述、实验框架描述、实验运行、优化、统计分析、输出结果、图形显示以及对各种仿真关联资源的存贮与管理。利用菜单、窗口技术以直观、引导的方式提供给用户。一体化在程度上可以仅仅实现功能上的一体化, 也可以对功能、模型及资源管理全面实现一体化。

飞行管理系统是当代民航机上广泛采用的一种新型系统, 它集导航、制导和控制为一体, 实现飞机的自动飞行以及最佳性能的协调管理和控制, 把飞机的自动化推向一个崭新的阶段。我们研制了一个 FMS(Flight Management System)仿真一体化软件, 侧重于实现功能和管理方法上的仿真一体化, 探索了仿真一体化方法在飞行管理系统侧向制导和垂直制导中的实现及应用问题, 同时也对飞行管理系统中一些理论与方法进行了验证, 提出了一些可行的改进方案。实践证明, 利用仿真一体化方法来研究飞行管理系统是很灵活和方便的, 而且更接近于实际管理系统的工作情况。

1 FMS 仿真软件的基本结构及其功能

仿真飞行管理系统这样的复杂系统, 应同时采用多种程序设计语言, 才能充分发挥各自的长处, 提高软件的效能。

1991 年 11 月 27 日收到, 1992 年 8 月 24 日收到修改稿

数据库技术的发展,为系统仿真处理各种复杂的模型和大量的数据提供了一种新的方式。采用 dBASE III plus 组成一个以关系数据库为核心的一体化仿真支撑系统,实现仿真软件的集成。系统中各功能子系统均采用子程序块的结构,具有各种方案可供选择。其中的计算程序采用 FORTRAN77 编程,它具有结构严谨、运算效率高等特点,适用于科学计算,而且可以充分利用现有的工程应用程序。而 C 语言可移植性强,数据转换和存储管理灵活,同时还具备很强的绘图功能,适用于应用软件的编写。用它来编写绘图程序和高级语言间数据转换子程序和接口语句是非常简便的。FMS 仿真软件的基本结构如图 1 所示,它由以下 9 个部分所组成。

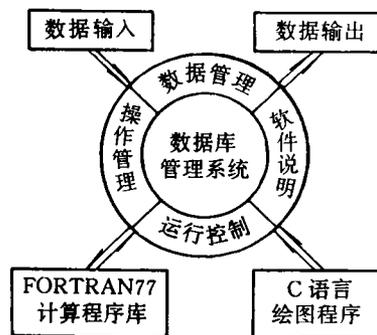


图 1 FMS 仿真软件基本结构图

仿真一体化是通过一个中心数据库对各个子系统进行信息交换,对整个系统的数据进行组织和管理。数据库管理系统采用多层菜单方法实现。由于汉字提示,具有良好的人机交互性。数据库的操作对用户是“透明”的,即使用户在数据库管理一无所知的情况下执行仿真方案成为可能。除了具有常规数据库管理系统对数据的查询、存取、修改等功能外,还可以在数据库中运行高级语言,运行结果也传输到数据库中保存,以便分析和处理。

1.1 数据库管理系统

仿真一体化是通过一个中心数据库对各个子系统进行信息交换,对整个系统的数据进行组织和管理。数据库管理系统采用多层菜单方法实现。由于汉字提示,具有良好的人机交互性。数据库的操作对用户是“透明”的,即使用户在数据库管理一无所知的情况下执行仿真方案成为可能。除了具有常规数据库管理系统对数据的查询、存取、修改等功能外,还可以在数据库中运行高级语言,运行结果也传输到数据库中保存,以便分析和处理。

1.2 软件说明

对 FORTRAN 编写的软件子程序模块及有关程序变量进行说明,以便用户能更好地阅读了解有关软件。

1.3 操作管理

对数据库中的数据进行各种操作。例如可制定飞行计划(根据提示输入有关要求和数据),也可以对飞行计划进行查询、添加、修改、删除等。所有操作根据提示通过选择键进行,并显示数据值确认操作的正确性。

1.4 数据输入

通过键盘输入有关要求及数据,例如:仿真模型、控制模态、仿真参数及初始条件等,各项数据的输入是在屏幕汉字提示下进行的。确认无误后,可保存在数据库文件中。

1.5 FORTRAN77 计算程序库

包括常规的微分方程解法及优化算法等计算程序模块,以及飞行管理系统本身所需的飞机模型、控制模态、制导律、导航支路类型、飞机当前位置参数的计算方法等专用计算程序模块。这部分可根据技术要求,增加相应的计算模块。

1.6 运行控制

可以进行飞行计划优化处理,选择导航支路控制模态以及途中改变飞行计划等项目的仿真,并可随时通过数据和图形显示,观测飞行过程中的情况。通过这些项目的选择,便

于进行静态和动态性能分析, 以选择好的控制方案和参数。

1.7 数据输出

数据库中的数据及数据操作的结果可在屏幕上显示, 也可作为数据库文件贮存起来或打印出来。

1.8 C 语言绘图

具有多种图形功能, 可进行静态和动态过程显示。还可以移动曲线位置, 对曲线进行局部放大或缩小, 这样既能方便直观地了解仿真结果, 又便于分析比较, 为评价改善性能提供直接依据。

1.9 数据管理

本系统要在数据库管理下运行高级语言程序, 需要把数据库中的有关数据传输给其它语言, 而高级语言程序经过处理产生大量数据又需传送给汉字 dBASE 相应的数据库文件保存并供其应用程序调用, 这就是数据传输与共享问题, 是实现一体化技术的关键之一。本系统根据所采用语言输入/输出语句的特点编写接口子程序及采用相应合适的命令格式, 以文本文件为中介, 达到数据的传送和追加的目的。

2 应用研究

为了检验 FMS 仿真一体化软件应用于飞行管理系统的可行性与正确性, 并进而对飞行性能进行分析研究, 通过多个实例对软件进行了多方面的考核。现以侧向制导的仿真为例, 简要说明仿真一体化技术的应用。

侧向制导导航支路的数据及要求如表 1 所示, 利用 FMS 仿真一体化软件对飞行计划的实现和修改、控制模态对飞行过程的影响、优化计算等 3 个问题进行仿真研究。

表 1 导航支路及要求

支路序列		1	2	3	4	5
支路起点位置	X	-20	10	50	48	140
	Z	-40	15	-40	60	60
支路终点位置	X	10	50	48	140	200
	Z	15	-40	60	60	62
支路类型		轨迹	轨迹	轨迹	轨迹	轨迹
航道点要求		不飞越	不飞越	飞越	不飞越	—

在数字仿真时, 我们选择飞机的起始坐标为 $X_0 = -10\text{km}$, $Z_0 = -40\text{km}$ 。起始航向角和方位角均为 -90° 。系统启动并进入“侧向制导系统”后, 屏幕上会出现:

——侧向制导系统——

- 1——FORTRAN 程序说明
- 2——FORTRAN 程序运行
- 3——C 语言绘图
- 4——库文件操作
- 0——退出

此时选择 4, 进行“库文件操作”, 则屏幕上立即显示:

-----可进行操作的数据库-----

- 1---支路类型
- 2---导航风速
- 3---导航支路初值
- 4---支路控制方式
- 5---侧向制导律

利用以上屏幕格式,将原始数据录入相应的库文件中,这就将制定的飞行计划存入库文件中。例如根据表1要求可得如下支路类型数据库文件:

记录号	起点位置(X轴)	起点位置(Z轴)	终点位置(X轴)	终点位置(Z轴)	支路类型	航路要求	航向角
1	-20.00	-40.00	10.00	15.00	1	0	0
2	10.00	15.00	50.00	-40.00	1	0	0
3	50.00	-40.00	48.00	60.00	1	1	0
4	48.00	60.00	140.00	60.00	1	0	0
5	140.00	60.00	200.00	62.00	1	0	0

当确认数据无误时,退出“库文件操作”,选择“FORTRAN程序运行”项,并在其中的下一级菜单中选择合适的控制方式后,即可进行仿真计算。仿真结束后,返回到主菜单。为了观察仿真的实际结果,可以选择“C语言绘图”项,显示仿真曲线。若在仿真过程中,需要改变飞行计划,则可通过中断等方式,再进行“库文件操作”,在其第三级菜单中,有查询记录,添加记录,更新记录,删除记录等4项。选择2,修改完计划后,仿真过程将从中断处继续运行下去。而且可以将飞行计划改变前后的飞行曲线同时显示出来,如图2所示。图中A点为计划转变点。除此以外,还可以动态地显示仿真过程,为仿真研究及时提供信息。

为了研究控制模态对飞行过程的影响,只须在“FORTRAN程序运行”项的下级菜单中,选择所需的控制方式就可进行方案比较和分析。

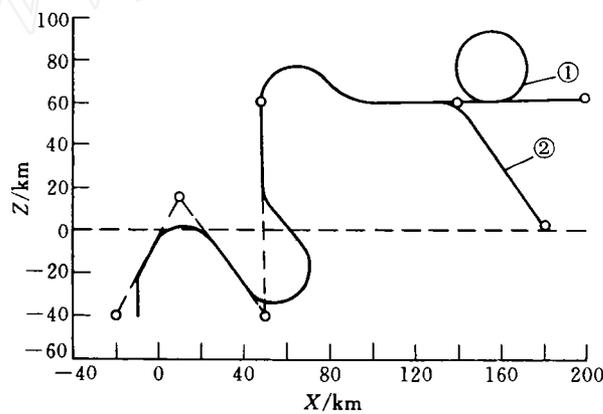


图2 飞行轨迹图

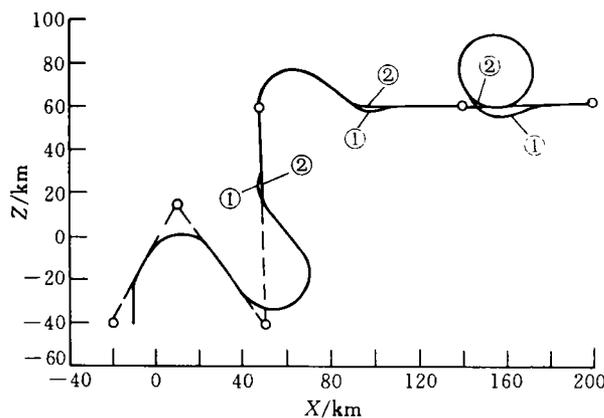


图3 控制模态对超调的影响

图 3 中曲线①和②分别是导航支路采用第一组控制模态(见表 2)和第 2 组控制模态(见表 3)进行制导的仿真曲线。

表 2 导航支路采用的第一组控制模态

支路类型		有无飞越要求	控制模态
当前	下条		
轨迹	轨迹	无	轨迹控制→轨迹保持→轨迹控制
轨迹	轨迹	有	轨迹控制→轨迹保持→轨迹控制→航向保持→轨迹捕获
轨迹	航向	—	轨迹控制→轨迹保持→航向控制
航向	轨迹	—	航向控制→航向保持→轨迹捕获

表 3 导航支路采用的第二组控制模态

支路类型		有无飞越要求	控制模态
当前	下条		
轨迹	轨迹	无	轨迹控制→轨迹保持→轨迹控制
轨迹	轨迹	有	轨迹控制→轨迹保持→轨迹控制→轨迹保持→轨迹控制
轨迹	航向	—	(采用无飞越要求轨迹→轨迹控制方式)
航向	轨迹	—	轨迹控制→轨迹保持→轨迹控制

上述结果表明, 所编仿真软件能够很好地实现飞行管理系统中侧向制导的功能。图 3 中曲线②的超调量明显减小, 其最大超调量为 0.56km, 说明控制模态由航向控制变成轨迹控制, 使转移过程始终保持较小的误差, 从而使动态过程大大改善。与采用改变制导律的方法相比, 这种方法更加方便和通用。

图 4 是用第二组控制模态进行制导时, 对有无风干扰的仿真结果。风速为 $V_w=20m/s$ 。仿真时, 只须通过库文件操作, 修改导航风速值就行了。可见, 加水平风干扰后, 飞行轨迹只是在转弯时有偏移, 在直线轨迹上并无太大偏差。另外, 通过一体化仿真还知道, 第 2 组控制模态抗水平风干扰的最大值可达 $V_w=40m/s$, 而第 1 组控制模态只能加到 $V_w=6m/s$ 。

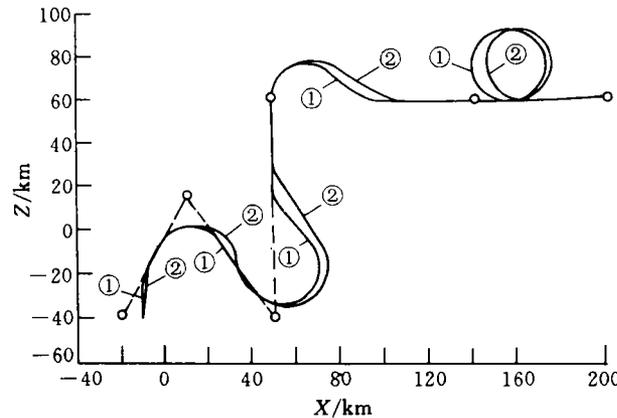


图 4 水平风干扰的影响

为了做到省油、省时、高效, 需要进行多方面的优化计算。仿真时, 在“FORTRAN 程序运行”项中选择“优化”菜单, 就可进行优化计算了。图 5 是路径优化的仿真曲线, 其中 A 为起飞机场, B 是目的机场, 途径 4 个中转点。图中虚线为计算出的最优路径, 实线为飞机的飞行轨迹。

由上可见, 一体化仿真软件是综合了各种软件的优点而生成的。整个仿真过程都是在数据库的管理下进行的, 数据得到了充分共享, 数据的存贮与应用程序具有相对的独立性, 从而使数据的查询、增添和修改非常方便和灵活, 使数据的使用和仿真做到灵活多

变的配合, 软件的功能大大增强, 提高了仿真的效率。而且, 由于采用了模块结构, 便于修改模块或增加新的模块, 以使软件不断充实完善。所有这些, 是采用任何一种单一的高级语言所无法相比的。

3 结束语

对实现功能上和管理方面的仿真一体化仅仅进行了初步的工作, 并利用仿真一体化技术对飞行管理系统垂直制导和侧向制

导方法的一些问题进行了探讨。算例表明, 初步研究是成功的。然而, 仿真一体化技术和飞行管理系统本身就是一个复杂的系统, 所以, FMS 一体化仿真软件无论在管理项目和计算内容方面, 还是在软件功能和结构上, 都需要进一步的改进和完善。特别是数据库技术应用的好坏直接关系到一体化仿真软件系统的集成性能的优劣。若进一步扩大仿真范围, 并与其他仿真系统联网集成为一个大型仿真系统的话, 则可以考虑采用更先进的数据库管理系统如 ORACLE 数据库管理系统。

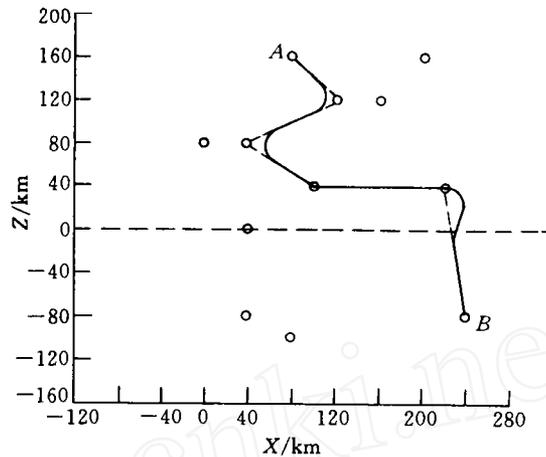


图 5 路径优化图

参 考 文 献

- 1 Standridge C R. A tutorial on TESS: the extended simulation system. Proc of the 1984 Winter Simulation Conference: 51-54
- 2 Denham M J. Design issues for CACSD systems. Proc of the IEEE, 1984; 72(12): 1714-1721
- 3 沈勇璋. 飞行管理系统——结构与配置. 南京航空学院科技报告, NHJB-03-5502, 1989: 42-74
- 4 Standridge C R. The simulation data language: applications and examples. Simulation, 1981; 37(4): 119-128
- 5 熊光楞等. 一体化的工业过程仿真与优化软件系统. 系统仿真, 1988; (2): 1-5