

空管仿真模拟系统仿真数据生成研究

计算机应用技术 专业

研究生 吴 懿 指导教师 李永宁

空管（空中交通管制）仿真模拟系统分为雷达模拟机，程序模拟机，塔台模拟机三类，采用计算机仿真技术对空中交通管制过程进行模拟，达到对空管人员进行培训的目的，模拟管制培训是现在国际国内普遍采用的管制培训手段。本文主要对空管仿真模拟系统仿真数据的生成进行研究。空管仿真模拟系统的运行是基于对实际情况的一种想定的，所以仿真数据的生成就是将空中交通管制过程中的想定实物与运动规律在计算机中用数据的形式来表达的过程。本文将空管仿真模拟系统的仿真数据划分为静态数据与动态数据，并分别就其生成方式做了深入细致的分析，提出了一套适合空中交通管制模拟的仿真数据生成方法，并重点对 DRS 雷达模拟机的仿真数据的生成进行了研究。文章主要包含以下几个方面的内容：

① 对空管仿真模拟系统的建模进行了分析，将系统的仿真模型划分为运动实体参数模型、环境模型、仿真计算模型、客户模型、想定计划模型、管理模型六类相互作用的子模型并确定其相互的关系，提出将系统仿真模型中的静态特征用静态数据来表达，动态特征用动态数据来表达，并通过数据与对数据的操作来描述空管仿真模拟过程。

② 采用数据库设计方法对静态数据的数据模型进行了研究，将静态数据的数据模型设计分为需求分析、概念模型设计、逻辑模型设计、物理模型设计四个阶段，同时从软件体系结构的角度将空管仿真模拟系统的数据库应用程序的

体系结构划分为界面层、中间层、数据层，并对每层的功能与实现进行了分析，以此为基础讨论了静态数据的生成。

③ 采用多层综合建模 (MLSM, Multilayered Synthetical Modeling) 方法对空管仿真模拟系统的仿真计算模型进行了分析，将仿真计算模型划分为命令解析层与运动核心层，以此为基础讨论了动态数据的生成。

④ 通过对动态数据与静态数据生成方式的分析，本文重点对 DRS 雷达模拟机的数据生成进行了研究。设计了 DRS 雷达模拟机数据库模型，并对 DRS 雷达模拟机数据库席位 (NTBASE) 的设计与实现进行了讨论；讨论了 DRS 雷达模拟机服务器席位 (Server) 的设计与实现，并通过 DRS 雷达模拟机仿真计算模型的具体实现研究了飞机动态航迹数据的实时生成。

实际应用的结果表明，本文所提出的数据生成方法具有很好的稳定性与实用性，并且具有良好的可重用性，可以为其它同类仿真模拟系统提供一种仿真数据生成方式的参考。

关键词：空中交通管制 空管仿真模拟系统 数据库 数据模型
多层综合建模 数据生成 仿真模型 软件体系结构

Research of Data Generation in Air Traffic Control(ATC) Simulation Training System

Major: Computer Application

Postgraduate: Wu Yi

Tutor: Li Yongning

Air Traffic Control(ATC) Simulation Training System is widely used to train Airport Controllers nationally and internationally, there are three types of ATC Simulation Training system, Digital Radar Simulator, Digital Pseudo Simulator and Tower Simulator, using the simulation technology to create a virtual environment, for the purpose of Air Traffic Control Training. In this paper, we mainly focused on the data Generation of the system. As For a Simulation system, data generation is a process which projects the objects or the courses of the real environment into computers. We compartmentalized the data into two categories, Static data and Dynamic data, respectively, we researched the generation processes of both kind of data, brought forward a suit of data generation methods, finally we researched the data generation of Digital Radar Simulator particularly. This paper was divided into four parts, they are:

1. Analyzed the modeling methods of simulation systems, using six different models to represent the Air Traffic Control process, they are moving object model, environment model, calculation model, client model, plan model, manage model, after define these models, we indicated their relationship, finally we brought forward the concept that using the static data and the dynamic data to represent the static characteristics and the dynamic characteristics of the system respectively.

2. Using Database Technology to model the data model of the system, divided

the process into four phases, they are: requirement analysis, concept modeling, logic modeling, physic modeling. After this, we researched the design and implementation of system's database application, divided the application into three software architecture levels, and discussed them respectively.

3.Using the MLSM(Multilayered Synthetical Modeling) methods to model the calculation model, divided the calculation model into two levels, they are command resolution level and calculation level, and discussed the generation of dynamic traces.

4.Discussed the data generation of Digital Radar Simulator. Through the database model design and the database application(NTBASE) implementation, discussed the static data generation of Digital Radar Simulator, through the discussing of the implementation(Server) of calculation model, researched the dynamic data generation of Digital Radar Simulator.

The ATC Simulation Training Systems have been used as a training system for airport controllers for many years, and the results showed that the data generation methods is very stable and applied, most of all, it's easy to modify and reuse, so it can be a reference to the design and implementation of other similar simulation systems.

Keywords: Air Traffic Control(ATC), Simulation Training System, Database, Data Model, Multilayered Synthetical Modeling, Data Generation, Simulation Model, Software Architecture

1 绪论

1.1 课题来源

1.1.1 空中交通管制的概念

空中交通管制^[1] (Air Traffic Control, 简称“空管”) 是对航空器的空中活动进行管理和控制的业务。其任务是防止航空器彼此相撞, 防止航空器与机场及其附近地区的障碍物相撞, 促使空中交通畅通而有秩序, 从而保证飞行安全和提高飞行效率。空中交通管制业务始于 30 年代。随着航空运输的发展和科学技术的进步, 管制方法由程序管制发展到雷达管制, 并逐步向自动化推进。空中交通管制业务通常由管理民航事务的国家行政当局设置专门的机构负责。一般设空中交通管制中心, 负责对区域内按仪表飞行规则飞行的航空器进行管制; 进近管制室, 负责对在终端管制区 (以机场为中心、半径为 50~100 千米的区域, 但不含机场本身的范围) 内进场、离场和飞越的航空器进行管制; 机场管制塔台, 负责对本机场范围内起飞、着陆和飞行的航空器进行管制。

程序管制是管制员与驾驶员利用无线电通信设备进行通信联络, 管制员通过驾驶员的报告掌握航空器的各种信息, 并计算确定航空器的位置, 然后结合飞行计划和具体情况向驾驶员发出各种指示, 使航空器之间保持一定间隔。这种管制方法速度慢, 精确性差, 要求航空器间的最低标准间隔很大。从而使一定空域内容纳的交通量比较少。

雷达管制是管制员根据雷达的显示, 掌握本管制空域雷达覆盖范围内所有航空器的精确位置, 因而要求航空器间的最低标准间隔可以小很多, 从而使一定空域内容纳的交通量增加。但普通雷达不能显示航空器高度, 在有多个航空器的情况下也无法判断哪个标志代表哪个航空器。由此现代空中交通管制系统采用了二次雷达。即由地面询问器和机载应答器两大部分配合使用。地面询问器发射的无线电脉冲, 触发机载应答器发射出应答脉冲, 管制员即可在雷达显示器上看到该航空器标志的旁边以字母和数字显示出它的识别代码和飞行高度。

1. 1. 2 空管仿真模拟系统的发展

随着中国现代化建设的不断发展, 交通运输业也迎来了前所未有的机遇与挑战, 特别是民航业, 飞速的发展使得飞行流量急剧增加, 对空中交通管制的要求也越来越高。由于安全性的需要, 对管制员的培训非常严格, 而真实培训存在着灵活性不足、消耗高、安全性差等缺点。现在普遍采用的培训手段是空管仿真模拟训练, 管制员在一个模拟的空管环境中进行培训, 增加了培训的灵活性, 节约了培训的开销, 又提高了训练的安全性。

西方国家在上个世纪七十年代开始研制空管仿真模拟系统, 在八十年代已经大规模地使用空管仿真模拟系统来培训管制员, 当时的空管仿真模拟系统都是运行在专门的图形工作站下的, 成本非常高, 我国当时也曾经引进过这样的培训系统, 但由于其价格因素, 在我国并没有被广泛地使用。

随着国内空管仿真模拟系统需求的不断增加, 四川大学图形图象研究所于 1990 年推出了 DRS-90 雷达模拟机, 采用 PC 机作为系统的运行平台, 由于采用了 PC 机作为运行平台, 大大节省了硬件成本, 使得仿真模拟训练能广泛地应用于空管培训领域, 之后, 四川大学图形图象研究所又相继推出了 DRS-93, DRS-2000 雷达模拟机。DRS-90 型雷达模拟机 1992 年 12 月获得了国家民航总局(部级)科技进步一等奖, DRS-93 型雷达模拟机被鉴定为国际领先水平, 1996 年 12 月获得了国家科技进步二等奖。DRS 系列雷达模拟机已经在全国民航所有七大管理局和主要机场、三大民航院校以及军航中得到了广泛地推广和应用, 占有国内市场 95% 以上的份额, 并完全替代了进口。到目前为止产值达到了 7000 千万元; 与此同时, DPS 程序模拟机和 CDZS 机场塔台视景模拟机也研制成功并投入使用, DPS 程序模拟机曾获得教育部科技进步二等奖, CDZS 机场塔台视景模拟机也通过了民航总局的技术鉴定。

仿真模拟训练已经成为对管制员进行培训的重要手段, 因此也对空管仿真模拟系统提出了更高的要求, 如何使系统的模拟效果更接近真实的管制环境, 如何使系统的模拟数据更真实, 已经成为摆在空管仿真模拟系统面前的两大课题。本文中提到的雷达模拟机专指 DRS 雷达模拟机^{[2] [3]}, 程序模拟机专指 DPS 程序模拟机, 塔台模拟机专指 CDZS 三维视景塔台模拟机^[4]。

1.2 数据生成研究的重要意义

空管仿真模拟系统是一个计算机仿真系统，现代仿真方法学将计算机仿真分为“系统建模”、“仿真建模”、“仿真实验”三类活动，而联系这些活动的要素是“系统”、“模型”、“计算机”。其中：系统是研究的对象，模型是系统的抽象，仿真的是通过对模型的实验来达到研究的目的，现代仿真技术的一个重要进展是将仿真活动扩展到上述三个方面，并将其统一到同一环境中。图 1-1 显示的是现代仿真的概念框架，概念框架图中的“仿真问题描述”对应于“仿真建模”；“行为产生”对应于“仿真实验”，只是将仿真输出独立于行为产生；“模型行为及其处理”相应于输出处理。现代仿真技术将实验框架与仿真运行控制区分开。其中，实验框架用来定义条件，包括模型参数、输入变量、观测变量、初始条件、输出说明。这样，当需要不同形式的输出时，不必重新修改仿真模型，甚至不必重新仿真运行。可见模型的行为及其处理是仿真的关键，本文主要对空管仿真模拟系统对模型行为中的仿真数据的生成^[15]进行研究。

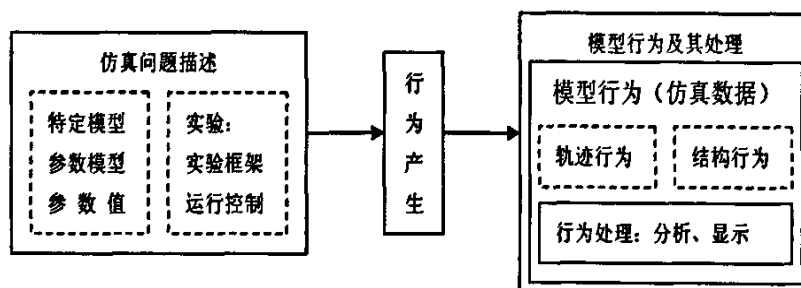


图 1-1 现代仿真的概念框架

对于空管仿真模拟系统来说，需要综合仿真训练过程中的各类因素，创造一个类似空中交通管制过程的模拟环境，使管制员在这个模拟的环境中进行管制训练。这一模拟管制环境是通过计算机来实现的，计算机系统对空中交通管制过程的描述是通过数据与对这些数据的操作来表达的。数据^[17] (data) 通常指用符号记录下来的、可以识别的信息。由于这些符号被人们赋予了特定的语义，因此，它们就具有传递信息的功能。计算机通过将一系列具有一定数据结构的数据组合起来描述空中交通管制在某一时刻的状态，并通过对这些数据的操作达到对整个空中交通管制过程进行仿真模拟的目的。所以，计算机对空管过程的仿真模拟就是一个数据生成与数据操作的过程（如图 1-2 所示），空管

过程从现实世界中被抽象出来成为仿真模型，对于模型中的静态特征我们用数据库来实现（静态数据生成），静态数据存储于在物理介质中，并通过专门的数据库应用程序进行生成与管理；动态特征用仿真计算来实现（动态数据生成），数据库为仿真计算提供数据支持。通过静态数据与动态数据的组合，我们就可以利用计算机对空中交通管制过程的状态进行表达。

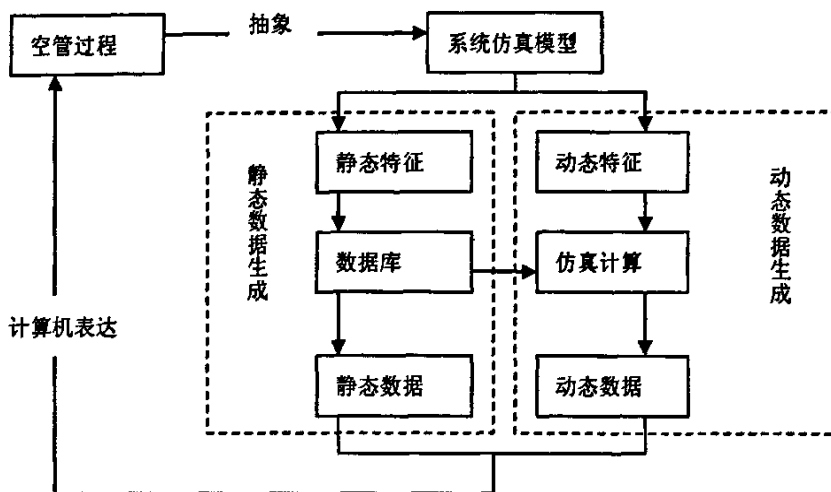


图 1-2 数据生成与空管过程关系图

对数据生成的研究可以使我们更好地了解如何用计算机对现实世界中的过程进行仿真。本文所提到的数据专指由计算机系统生成、存储、传输、显示的描述仿真行为的仿真数据。

1.3 本文结构

本文主要对空管仿真模拟系统的数据生成进行研究，建立了空管仿真模拟系统仿真模型；总结出了一套适合空管仿真模拟系统的数据生成方法。采用数据库技术与多层综合建模(MLSM)技术分别对静态数据生成与动态数据生成的实现进行了分析，并重点对雷达模拟机的数据生成进行了研究。

本文共分 5 章。

第 1 章为绪论。介绍了课题的来源，着重分析了空管仿真模拟系统数据生

成研究的重要意义，并对文章的组织结构与本人所做工作进行了介绍。

第2章就DRS雷达模拟机、DPS程序模拟机、CDZS三维塔台视景模拟机三类空管仿真模拟系统分别从功能与结构两方面进行了介绍，并分析比较了几类空管仿真系统的异同，指出了三类系统在数据生成方式上的相似性。

第3章综合了几类空管仿真模拟系统在数据生成方面的特点，从计算机仿真建模、数据库模型设计、数据库应用程序设计、仿真计算模型设计四个方面入手分别对空管仿真模拟系统的静态数据与动态数据的生成进行了分析。

第4章针对第3章对动态数据与静态数据生成的分析，重点研究了空管仿真模拟系统中最具代表性的雷达模拟机的数据生成。对雷达模拟机的数据库模型进行了设计，并讨论了雷达模拟机数据库席位(NTBASE)的设计与实现；对雷达模拟机服务器席位(Server)的设计与实现进行了讨论，并通过雷达模拟机仿真计算模型的实现研究了飞机动态航迹数据的实时生成。

第5章为结论与展望。总结了文章所做的工作，并提出展望。

1.4 本人所做的工作

本人在研究生学习期间在四川大学图形图象研究所(川大智胜股份有限公司^[6])从事DRS雷达模拟机的研发工作，工作重点是雷达模拟机数据库席位的设计与开发，先后参与了与之有关的多个项目：

① 在海南DRS雷达模拟机引接真实雷达信号项目中，负责数据库的设计与编码工作；

② 在中国民航飞行学院场监雷达管制系统项目中，设计了DRS雷达模拟机场监雷达数据库，并对其进行了编码实现；

③ 在DRS雷达模拟机语音项目中，负责数据库的设计与编码工作；

④ 在DRS雷达模拟机扇区与限制区管制项目，负责扇区与限制区数据库的设计与编码工作；

⑤ 在DRS雷达模拟机与DPS程序模拟机合并的新型雷达模拟机项目中负责对DRS雷达模拟机与DPS程序模拟机的数据整合，实现了新型雷达模拟机数据库；

⑥ 在西南飞行学院课件生成系统项目中，负责将课件系统的数据转换为

DRS 雷达模拟机的数据。

在整个过程中，编写代码两万余行，主要使用 Visual C++6.0 实现。

2 空管仿真模拟系统

2.1 空管仿真模拟系统分类

针对不同的管制环境与管制层次，不同种类的管制员，空管仿真模拟系统可以大致分为雷达模拟机、程序模拟机、三维视景塔台模拟机三类。

(1) 雷达模拟机

模拟管制的范围是雷达能覆盖到的区域和进近，管制员通过一个模拟雷达显示的显示屏观察飞机，通过模拟地空通话系统向模拟机长（辅助教员）发送管制命令，从而达到训练的目的。

(2) 程序模拟机

模拟了雷达无法覆盖的区域的程序管制过程，由于程序模拟机与雷达模拟机在硬件结构，软件结构与操作方法上都非常相似，所以本文在讨论雷达模拟机的同时就不单独就程序模拟机做另外的讨论。

(3) 三维视景塔台模拟机

模拟了塔台和地面管制以及雷达操作的一部分功能。进行塔台管制训练的管制员通过多通道的三维视景以及场监雷达显示屏观察飞机，通过模拟地空通话系统向模拟机长（辅助教员）发管制命令，进行训练。

2.2 DRS 雷达模拟机

DRS 雷达模拟机是四川大学图形图象研究所针对国外同类型产品价格昂贵，不易大规模使用的情况研制的运行于 PC 机上的空管培训系统，DRS 雷达模拟机多用于区域和进近管制训练。从 1990 年开始，针对越来越复杂的国内民航交通状况，DRS 雷达模拟机也日益成熟，相继推出了 DRS-90, DRS-93, DRS-2000 系列产品。在 2004 年，DRS 雷达模拟机加入了场面监视雷达管制功能，使得 DRS 雷达模拟机系列产品的使用范围更广，实用性更强。DRS-90 型雷达模拟机 1992 年 12 月获得了国家民航总局（部级）科技进步一等奖，DRS-93 型雷达模拟机被鉴定为国际领先水平，1996 年 12 月获得了国家科技进步二等奖。DRS 系列雷达模拟机已经在全国民航所有七大管理局和主要机场、三大民航院校以

及军航中得到了广泛地推广和应用，占有国内市场 95% 以上的份额，并完全替代了进口。到目前为止产值达到了 7000 千万元；现在 DRS 雷达模拟机培训已经成为国内管制员上岗前的必修课。

DRS 雷达模拟机由管制员位(雷达位)、模拟机长位和系统控制台（包括中心机、服务器和数据库）组成，配备了模拟地空通讯、内通讯系统、练习记录与重放系统、网络系统以及机架（系统组成如图 2-1 所示）。各部分简介如下：

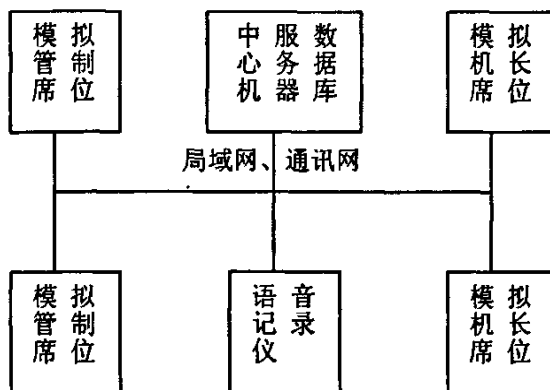


图 2-1 DRS 雷达模拟机系统组成^[2]

(1) 管制席

管制席提供雷达显示屏与操作台，逼真地模拟一、二次航管雷达，包括机场环境、空中交通状况等，为管制员提供了逼真的训练环境。

(2) 机长席：

机长席为模拟机长提供雷达显示屏与操作台，它在空中交通管制模拟中扮演着机长的角色，它具有对飞行操作、控制，自动生成飞行报告，航迹显示等动能。

(3) 系统控制台：

系统控制台包含了数据库席位，中心机席位和服务器席位三个组成部分，它的主要作用包括：模拟飞机运动轨迹和飞行状态；管理和控制系统资源，监视系统各席位的运行状态，并兼作教员监督位；运行数据库软件，实现对各种飞机性能参数、机场地图、标准过程飞行计划和训练计划的编辑与修改。

(4) 实时数据通讯网络：

实现实时数据通讯，支持分布式处理。由网络服务器、HUB、网卡和通讯

电缆组成。

(5) 模拟 VHF 通讯与内通讯系统:

实现模拟空地通讯和各部门的内部协调通讯。由模拟无线通讯机、话筒耳机、脚踏开关、模拟无线通讯主机,电话机、程控交换机组成。

(6) 数字同步记录与重放系统:

MDSL 多通道数字同步记录仪可同步记录通讯话音和训练场景,便于对训练过程进行讲评和评估。

2.3 CDZS 三维视景塔台模拟机

CDZS 机场塔台视景模拟机是用于训练塔台管制人员的一套实时视景仿真系统,它采用虚拟现实(Virtual Reality)技术,能为用户提供与典型塔台管制基本一致的虚拟操作环境,可以模拟春夏秋冬不同季节,白天黑夜不同环境,以及各种气象状况(雾、雨、雪、闪电、雷雨等)和紧急情况(引擎冒浓烟、着火、飞机相撞、迫降、起落架故障、冲出跑道)等等。这一虚拟操作环境是完全可控制的,它适用不同的训练目的,如管制员的养成培训,在岗培训、强化培训等。另外,它还可用于军航机场塔台指挥训练,以及评估现有机场的流量和容量,或者对设计新机场进行仿真评估。其系统组成如图 2-2 所示。各部分简介如下:

(1) 实时网络服务器

实时网络服务器(又被称为实时计算服务器)是整个系统运行的核心。它在训练开始前先从数据库中加载训练计划;在训练中,通过仿真计算,实时地向塔台管制员、实时视景生成器和模拟飞行员位提供当前的各种状态和目标信息供其显示;同时也接收从模拟飞行员位和控制员位传来的目标控制命令,完成目标运动状态计算。

(2) 塔台管制员位

塔台管制员位用以向塔台管制员显示各种状态信息,如气象信息,模拟雷达显示等等,这些信息由网络服务器提供。同时,本席位还可模拟控制机场灯光的开关。

(3) 模拟机长/教员位

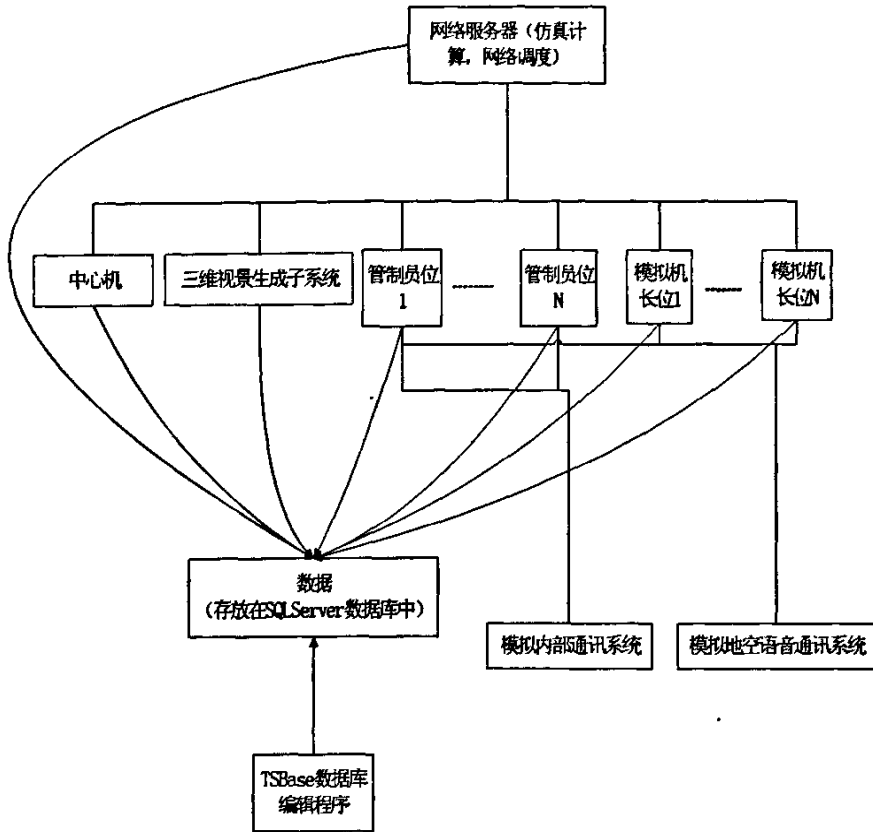


图 2-2 CDZS 机场视景模拟机系统组成^[4]

模拟飞行员在该位上，按塔台控制员的口述命令，控制模拟塔台环境中目标（航空器，服务车辆）的运动，控制命令将传送给网络服务器，由网络服务器计算目标的运动状态。本席位还提供气象条件转换，故障设定等教员功能。

(4) 数据库位

数据库位由数据库编辑/管理系统构成，用以编辑和管理系统运行所要用的各种数据，包括训练计划，航空器，服务车辆，机场的有关参数和视景模型。

(5) 模拟通讯系统

用以模拟塔台控制员和模拟飞行员之间的无线地空通讯。

(6) 实时视景生成器

实时视景生成器负责实时的绘制塔台窗外视景,包括静止视景(机场环境)、运动目标(航空器和地面服务车辆)、气象视景(风、雨、雪、云、雾、雷宇、闪电、台风、灯光)、特情视景(碰撞、着火、冒烟、着地烟)。目标的位置参数由网络服务器实时计算和提供。

2.4 几种空管仿真模拟系统的比较

空管仿真模拟系统可分为雷达模拟机、程序模拟机与三维塔台视景模拟机三类,这三种类型的模拟系统都有一个共同的目的,就是构造一个虚拟的管制环境,让管制员在一个尽可能逼真的环境中训练。这三种的模拟系统分别针对不同的管制方式而设计,其主要的区别在于:

(1) 模拟管制的范围不同

雷达模拟机是模拟管制员对在区域和进近内的飞机管制的过程,在最新的雷达模拟机中增加了场面监视雷达的模拟管制功能,模拟了通过场面监视雷达进行塔台管制的过程。程序模拟机模拟了对在雷达无法覆盖的区域的飞机进行管制的过程,是雷达模拟机的辅助培训系统。三维塔台视景模拟机采用了虚拟现实技术,模拟了塔台管制的过程。

(2) 仿真的侧重点不同

从仿真的侧重点来看,程序管制模拟机和雷达管制模拟机侧重于对飞机在空中飞行的线路和过程的仿真,要求与飞机的实际飞行路线基本一致。而塔台模拟机则侧重于对飞机在地面滑行、起飞与降落的仿真,要求与实际情况基本吻合。

(3) 显示方式不同

雷达模拟机与程序模拟机是以模拟的雷达显示屏来对整个模拟管制过程进行显示的,而塔台模拟机除了有与雷达模拟机类似的模拟雷达显示屏,还采用了三维投影视景技术,对模拟管制过程中塔台所能观测到的环境与飞机通过三维视景显示。

因为几种空管模拟系统的训练目的相同,而且都需要为管制训练提供一个尽可能接近真实的模拟环境,所以几种模拟系统有着许多的相似性,其相似性主要体现在:

(1) 类似的业务流程

虽然不同类型的空管仿真模拟系统是针对不同区域的空中交通管制过程的,但是它们有着相同的业务流程,都是通过系统与模拟机长与管制员的交互来达到管制训练的目的的。

(2) 类似的系统软件体系结构

几种空管仿真模拟系统都是采用 C/S 结构^[25]。系统的运行是以服务器席位为中心,连接了一到多个模拟机长席位与一到多个管制员席位,模拟机长席位与管制员席位都是客户机。

(3) 类似的数据生成方式

本文探讨的数据是仿真数据,空管仿真模拟系统的仿真数据是按照一定结构组织在一起,将空中交通管制的状态通过数据的形式表现出来,单个的数据没有任何意义,但是将这写数据按照一定的逻辑结构与数据结构组合起来,就可以在计算机系统中描述空中交通管制过程。几类空管仿真模拟系统的静态数据都是由专门的数据库应用程序生成并管理的,动态数据都是通过运动模型的计算生成的。下一章我们将对空管仿真模拟系统的仿真数据生成进行分析。

3 数据生成分析

本章从“系统仿真建模”，“数据库模型设计”，“数据库应用程序设计”，“仿真计算模型设计”四个方面对空管仿真模拟系统仿真数据的生成进行了分析。

3.1 数据分类

根据仿真数据的不同性质，空管仿真模拟系统中的数据分为静态数据与动态数据^[18]两类。

(1) 静态数据

静态数据一般是存储在计算机硬盘上，在空管仿真模拟系统启动时被读取到内存中，为整个空管仿真模拟系统提供显示数据与计算参数。这部分数据是计算机对空管仿真模拟静态特性的描述，比如飞机的运动参数与仿真模拟环境等，它们是由空管仿真模拟系统专门的数据库应用程序生成并管理的，在空管仿真模拟训练的过程中静态数据不会发生改变。

(2) 动态数据

动态数据是随着仿真模拟系统的运行而实时改变的数据，它们是运动实体的动态特征的描述，通过将一组离散的数据按照时间组织起来，得到运动实体在某一时间段的运行轨迹。在空管仿真模拟系统中动态数据一般不存储在硬盘上，而是由系统的仿真计算模型计算出来存放在内存中并实时地更新，通过对这些数据的操作来对运动实体的运行状态进行描述。动态数据有时候会被按照时间顺序保存下来，为训练过程的回放提供数据支持。

静态数据与动态数据的最大区别就是动态数据随着时间的改变而改变，而静态数据始终保持一致。

3.2 空管仿真模拟系统建模

3.2.1 计算机仿真理论

仿真^[7]是对所选现实世界或假想条件下事件和过程特征的动态描述，它借助于从最简单到最复杂的方法和设施的辅助，依据已知的或假想的过程和数据运行。一个系统的模型是对这个系统的描述，而仿真是系统模型的一次执行或

演练。

3. 2. 1. 1 仿真模型

一个仿真系统是由一个或多个模型所组成的，一个模型可以是一个装备、一个系统或一个对象的某些或全部性质的描述，模型有三个基本类别：数学模型、物理模型和过程模型（如图 3-1 所示）。

(1) 数学模型

由过程（算法）和数学方程组成的一组描述。这些模型通常由算法或可求解的一组方程式或关系式组成。由于在这些模型中有时存在某些较为复杂的数学函数，这些函数的精确解难以被求出，所以也常常运用数值近似方法来获取函数的近似解。

(2) 物理模型

对现实世界某个对象的一种物理描述。这种描述常以仿真器的形式进行象征性的刻画。在风洞中试验中的按比例缩小的机翼、船壳以及新建筑设计方案等，都属于物理模型。所要描述的对象属性越多，模型就会变得越复杂，所以就必须在完整性与复杂性之间进行权衡。

(3) 过程模型

用数学的或逻辑的方法对某种动态关系的一种表示。

一般这些模型在仿真设计中都会用到。设计和使用一个模型的理论基础，就是要用模型复制出真实系统的各个特征^[7]。

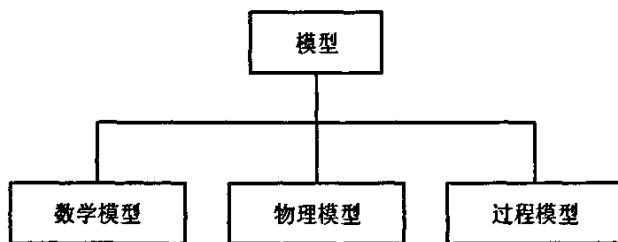


图 3-1 仿真模型的三个主要类别

3. 2. 1. 2 建模与仿真

“建模”、“模型”及“仿真”常常被误以为是同义的，尽管它们相互之间密切相关，但从技术意义上讲，确切地说它们并不等同。建模指对所要仿真的对象特征进行抽象提取的过程，模型是对所仿真对象主要特征的描述。模型是仿真模拟的核心，是其本要素或本质特征。仿真模拟则是模型根据需要运行实验的过程。现在一般都采用计算机建立模型和进行仿真，这就是现代计算机仿真。计算机几乎可以对任何事物进行仿真模拟，所以现在计算机仿真已经占据了主要的地位。我们所说的仿真也大多指计算机仿真。

3. 2. 1. 3 仿真系统

系统是由相互联系、相互制约、相互依存的若干组成部分（要素）结合在一起形成的具有特定功能和运动规律的有机整体。按面向对象的方法学观点，系统及组成部分（要素）都可看作对象。任何系统都存在三个方面的研究内容，即实体、属性、活动。

实体——组成系统的具体要素（对象）；

属性——实体的特性（状态和参数）；

活动——要素（对象）随时间推移而发生的状态变化。

“仿真系统”，顾名思义指“运行仿真模型并且用于仿真分析、研究、训练、装备论证等目的的系统”。

3. 2. 1. 4 计算机仿真系统

现代仿真技术均是在计算机支持下进行的，系统仿真也称为计算机仿真。利用计算机达到仿真目的的系统称为计算机仿真系统。计算机仿真有三个基本的活动，即系统建模（一次建模）、仿真建模（二次建模）和仿真实验。联系这三个活动的是计算机仿真的三要素：系统、模型、计算机（包括硬件和软件）。它们的关系可用图 3-2 表示。

我们要对空中交通管制训练这一过程进行计算机的仿真模拟，首先我们需要用多个模型来描述整个系统的特性，通过建立模型来确定模拟环境中各个实体的属性和它们之间的相互关系，并将这些模型通过计算机来实现。

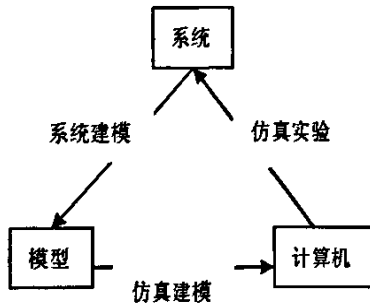


图 3-2 计算机仿真三要素及三个基本活动

3. 2. 2 空管仿真模型

空中交通管制训练为管制员提供一个模拟管制环境，管制员通过雷达显示屏（雷达模拟机）或三维视景装置（塔台模拟机）观察管制区域内的飞机运行情况，并通过管制区域内的飞机飞行状况通过地空通话装置发送管制命令给机长；模拟机长位收到管制员的管制命令后按照管制员的要求改变飞机的飞行状态，空管仿真模拟系统与用户交互的关系如图 3-3 所示：

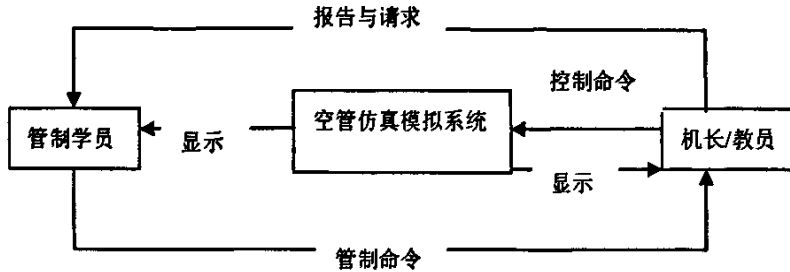


图 3-3 空管仿真模拟系统与用户交互图

从图 3-3 我们可以看到，对于空管仿真模拟系统来说，它需要接收机长/教员的控制命令，并通过仿真计算向机长和管制员输出显示信息，显示信息需要实时地更新，显示信息中应该包括飞机（塔台模拟机中还有车辆）的运动状态，管制区域的环境（雷达模拟机以二维平面图显示，塔台模拟机以三维视景显示）等信息。

通过对空管仿真模拟过程的分析，我们可以将系统的模型大体分为以下六类模型^[8]：

(1) 运动实体参数模型

运动实体主要是指模拟训练过程中出现的飞机(车辆),运动实体参数模型是对飞机(车辆)性能的描述,通过模型的建立,使我们可以将运动实体的运动性能通过数据的形式来描述。

(2) 环境模型

环境模型是对空管仿真模拟训练的环境的描述,一次空管仿真模拟训练都是在某一个机场进行的,环境模型需要对该机场的环境进行描述,环境对于一个机场来说主要包括了机场信息,跑道信息,导航台信息,航路信息,天气状况信息等。环境信息不但需要以二维雷达图或三维视景的方式显示给用户,而且需要参与到仿真计算的过程中去,所以环境模型中包含了显示属性与性质属性。

(3) 仿真计算模型

空管仿真模拟训练过程中的运动实体的运动状态由仿真计算模型计算确定,是对运动实体运动规律的描述。

(4) 客户模型

客户模型是对参与管制训练的人员所使用的平台的描述,在空管仿真模拟系统中客户模型可以分为中心机席位,模拟机长席位,管制员席位三类,它提供显示与操作两个功能。

(5) 想定计划模型

空管仿真模拟训练是在一个想定的空中交通状态下运行的,在训练开始前需要对本次训练的空中交通状况进行想定并编制成计划,想定计划模型是对训练初始状态与想定过程的描述。

(6) 管理模型

对整个空管仿真模拟训练进行管理控制的模型,管理模型是对模拟训练过程控制的描述。

上面六类模型相互作用,构成了空中交通管制仿真模拟训练系统的仿真模型。想定计划模型依赖于运动实体参数模型与环境模型,是对整个训练过程的初始状态的描述,它在系统的运行过程中不会发生变化;管理模型加载想定计划模型,使各仿真节点获得初始化信息,并接受客户模型的输入,在系统运行

过程中对仿真计算模型进行控制；运动实体系参数模型与环境模型在运行过程中不会发生改变，它们为仿真计算模型与客户模型提供数据支持；仿真计算模型接受管理模型的控制，获取运动实体参数模型与环境模型的数据，实现仿真模拟过程中的仿真计算任务；客户模型在系统运行后发送控制命令给管理模型，获取运动实体参数模型与环境模型的数据，并接收仿真计算模型的计算结果。几类模型的关系如图 3-4 所示。通过对系统仿真模型的分析，我们可以将系统的静态特征用运动实体参数模型、环境模型、想定计划模型来表示，动态特征用仿真计算模型、客户模型与管理模型来表示，这三类模型相互作用，构成了一个仿真事件的循环，通过循环交互达到对系统动态特征进行描述的目的，其中管理模型将静态与动态特征串联起来，对整个空管模拟过程进行仿真。

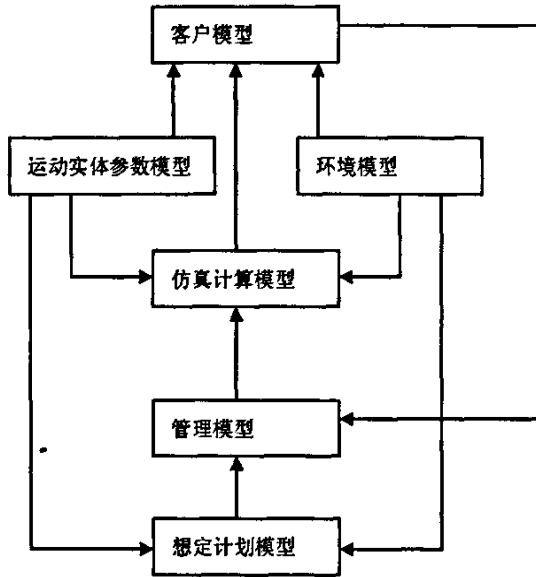


图 3-4 空管仿真模拟系统模型关系图

3. 3 静态数据生成

3. 3. 1 数据库理论

3. 3. 1. 1 数据库基本概念

数据库^[19]应用系统简称数据库系统 (Data Base System, DBS)，是一个计算机应用系统。它由计算机硬件、数据库管理系统、数据库、应用程序和用户

等部分组成。

(1) 计算机硬件

是数据库系统的物质基础，是存储数据库及运行数据库管理系统的硬件资源，主要包括主机、存储设备、I/O 通道等，以及计算机网络环境。

(2) 数据库管理系统

数据库管理系统 (Data Base Management System, DBMS) 负责数据库存取、维护和管理的系统软件。数据库管理系统提供对数据库中数据资源进行统一管理和控制的功能，将用户、应用程序与数据库数据相互隔离，是数据库系统的核心，其功能的强弱是衡量数据库系统性能优劣的主要指标。数据库管理系统必须运行在相应的系统平台上，有操作系统和相关系统软件的支持。

(3) 数据库

数据库 (Data Base, DB) 是指数据库系统中以一定组织方式将相关数据组织在一起，存储在外部存储设备上所形成的、能为多个用户共享的、与应用程序相互独立的相关数据集合。数据库中的数据由数据库管理系统进行统一管理和控制，用户对数据库进行的各种操作都是数据库管理系统实现的。

(4) 应用程序

应用程序是在数据库管理系统的基础上，由用户根据应用的实际需要开发的、处理特定业务的应用程序。

(5) 数据库用户

用户是指管理、开发、使用数据库系统的所有人员，通常包括数据库管理员、应用程序员和终端用户。数据库管理员负责管理、监督、维护数据库系统的正常运行；应用程序员负责分析、设计、开发、维护数据库系统中运行的各类应用程序；终端用户是在数据库管理系统与应用程序支持下，操作使用数据库系统的普通用户。

综上所述，数据库中包含的数据是存储在存储介质上的数据文件的集合；每个用户均可使用其中的部分数据，不同用户使用的数据可以重叠，同一组数据可以为多个用户共享；数据库管理系统为用户提供对数据的存储组织、操作管理功能；用户通过数据库管理系统和应用程序实现数据库系统的操作与应用。

3. 3. 1. 2 数据库设计

数据库设计^[19]是指对于一个给定的应用环境,构造最优的数据库模式,建立数据库及其应用系统,使之能够有效地存储数据,满足各种用户的应用需求(信息要求和处理要求),信息需求表示一个单位所需要的数据及其结构,处理需求表示一个单位经常需要进行的数据处理,在数据库领域内,常常把使用数据库的各类系统统称为数据库应用系统。数据库设计的目标有两个:一是数据库模式,二是以数据库为基础的典型应用程序。

数据库把大量的数据按一定的模型组织起来,提供存储、维护、检索数据的功能,这样就可以方便、及时、准确地从数据库中获得所需的信息。数据库的设计需要用到计算机科学的基础知识和程序设计的方法和技巧,软件工程的原理和方法,应用领域的知识。

由于信息结构复杂,应用环境多样,在相当的一段时间内数据库设计主要采用手工试凑法。使用这种方法与设计人员的经验和水平有直接关系,数据库设计成为一种技艺而不是工程技术,缺乏科学理论和工程方法的支持,工程的质量难以保证,常常数据库运行一段时间后又不同程度地出现各种问题,增加了系统维护的代价。十多年来,人们努力探索,提出了各种数据库设计方案,这些方法运用软件工程的思想和方法,提出了各种设计准则和规程,都属于规范设计法。规范设计法中比较著名的有新奥尔良(New Orleans)方法。它将数据库设计分成四个阶段:需求分析(分析用户要求)、概念设计(信息分析和定义)、逻辑设计(设计实现)和物理设计(物理数据库设计)。其后,S. B. Ya 等又将数据库设计分为五个步骤。又有 I. R. Palmer 等主张把数据库设计当成一步接一步的过程,并采用一些辅助手段实现每一过程。基于 E-R(对象-关系)模型的数据库设计方法,基于 3NF(第三范式)的设计方法,基于抽象语法规范的设计方法等,是数据库设计不同阶段上支持实现的具体技术和方法。规范设计法从本质上看仍然是手工设计方法,其基本思想是工程迭代和逐步求精^[19]。

按照规范设计的方法,考虑数据库及其应用系统开发全过程,将数据库设计分为以下四个阶段:需求分析,概念结构设计,逻辑结构设计,物理结构设计。

(1) 需求分析

进行数据库设计首先必须准确了解与分析用户需求（包括数据和处理）。需求分析简单地说就是分析用户的要求。需求分析是设计数据库的起点，需求分析的结果是否准确地反映了用户的实际要求，将直接影响到后面各个阶段的设计，并影响到设计结果是否合理和实用。分析和表达用户需求的方法主要包括自顶向下和自底向上两类方法。自顶向下的结构化分析方法（Structured Analysis，简称 SA 方法）从最上层的系统组织机构入手，采用逐层分解的方式分析系统，并把每一层用数据流图和数据字典描述。

（2）概念结构设计

概念结构设计是指将需求分析得到的用户需求抽象为信息结构即概念模型的过程就是概念结构设计，它是整个数据库设计的关键。概念结构设计有以下主要特点：

① 能真实、充分地反映现实世界，包括事物与事务之间的联系，能满足用户对数据的处理要求。是对现实世界的一个真实模型。

② 易于理解，从而可以用它和不熟悉计算机的用户交换意见，用户的积极参与是数据库的设计成功的关键。

③ 易于更改，当应用环境和应用要求改变时，容易对概念模型修改和扩充。

④ 易于向关系、网状、层次等各种数据模型转换。

概念结构设计通常有四种方法：

① 自顶向下。即首先定义全局概念结构的框架，然后逐步细化。

② 自底向上。即首先定义各局部应用的概念结构，然后把他们集成起来，得到全局概念结构。

③ 逐步扩张。首先定义最重要的核心概念结构，然后向外扩充，以滚雪球的方式逐步生成其他概念结构，直到总体概念结构。

④ 混合策略。即将自顶向下和自底向上相结合，用自顶向下策略设计一个全局概念结构的框架，以它为骨架集成由自底向上策略中设计的各局部概念结构。

（3）逻辑结构设计

逻辑结构设计的任务就是把概念结构设计好的基本 E-R 图转换为与选用

DBMS 产品所支持的数据模型相符合的逻辑结构。从理论上讲,设计逻辑结构应该选择最适于相应概念结构的数据模型,然后对支持这种数据模型的各种 DBMS 进行比较,从中选出最适合的 DBMS。但实际情况往往是已给定了某种 DBMS,设计人员没有选择的余地。目前 DBMS 产品一般支持关系、网状、层次三种模型中的某一种,对某一种数据模型,各个机器系统又有许多不同的限制,提供不同的环境与工具。所以设计逻辑结构时一般要分三步进行:

- ① 将概念结构转换为一般的关系、网状、层次模型;
- ② 将转换来的关系、网状、层次模型向特定 DBMS 支持下的数据模型转换;
- ③ 对数据模型进行优化。

(4) 物理结构设计

物理结构设计是指数据库在物理设备上的存储结构与存取方法称为数据库的物理结构,它依赖于给定的计算机系统。为一个给定的逻辑数据模型选取一个最适合应用要求的物理结构的过程,就是数据库的物理设计。它包括:建表,建列,选择数据类型,选择索引四个方面。

3. 3. 1. 3 常用数据模型

模型是对现实世界的抽象。在数据库技术中,用模型的概念描述数据库的结构和语义,对现实世界进行抽象,把表示实体类型及实体间联系的模型称为数据模型。数据模型是数据管理强弱的关键。目前,在数据组织与管理领域常用的数据模型有层次模型(Hierarchical model)、网状模型(Network model)、关系模型(Relational model)等。

(1) 层次模型(Hierarchical model)

层次模型是数据库系统中最早出现的数据模型,层次数据库系统采用层次模型作为数据的组织方式。用树型(层次)结构表示实体类型以及实体间的联系是层次模型的主要特征。层次结构是一棵有向树,树的结点是记录类型,根结点以外的结点有且只有一个父结点,上一层记录类型和下一层记录类型间的联系是 1:m 联系。层次模型的另一个最基本的特点是,任何一个给定的记录值只有按其路径查看时,才能显出它的全部意义,没有一个子记录值能够脱离双亲记录值而独立存在。

(2) 网状模型 (Network model)

用网状结构表示实体类型及实体之间联系的数据模型称为网状模型。在网状模型中,一个子结点可以有多个父结点,在两个结点之间可以有一种或多种联系,网状模型实现实体间 $m:n$ 联系比较容易。记录之间联系是通过指针实现的,因此,数据的联系十分密切。在网状模型中任意两个记录类型之间都可以组成一个关系类型结构。因此,以记录类型为结点的结构图是网状结构。从 E-R 图到网状模型的转换规则主要有两条:

① 把 E-R 图的实体类型和联系类型全部转换成相应的记录类型。

② 把 E-R 图的实体类型与有联系的每个联系类型,在网状模型中要组成一个关系类型。网状数据库系统采用网状模型作为数据的组织方式。

(3) 关系模型 (Relational model)

用表格形式结构表示实体类型以及实体间联系的模型称为关系模型。关系模型比较简单,容易为初学者接受。关系在用户看来是一个表格,记录是表中的行,属性是表中的列。

3. 3. 2 空管仿真模拟系统数据模型

从前面对空管仿真模拟系统模型描述我们可以看到,运动实体参数模型,环境模型与想定计划模型只需要为仿真系统的其它模型提供数据支持,而不会因其它模型的变化而变化,对于这些模型,我们用静态数据来描述,它们一般存储在硬盘上,通过数据库管理系统来管理。为使我们更好地组织与存储这些数据,就需要对静态数据的数据模型进行设计。

空管仿真模拟系统都有专门的应用程序负责对静态数据进行生成与管理,对于雷达模拟机器与程序模拟机采用二进制文件的方式对数据进行存储,实现了单关键字的关系数据库结构,其查询,删除,修改等操作都由应用程序完成,所以雷达模拟机与程序模拟机的数据管理应用程序也是一个数据库管理系统 (DBMS);塔台模拟机通过应用程序与 SQL SERVER 进行连接,并通过 SQL 语言对数据进行操作。几种空管仿真模拟系统在数据底层访问机制有一些区别,但是它们在数据库的设计中都采用关系逻辑模型,所以我们综合它们在数据库设计中的相似性,总结出空管仿真模拟系统数据库设计方法。

空管仿真模拟系统数据库中需要存储的数据包括运动实体参数数据, 环境数据与训练计划数据, 运动实体数据是对一个运动实体运动性能的描述, 包括其速度, 加速度等各种性能; 环境数据是对整个训练环境的数字表达, 其中包括了例如导航台, 跑道等信息; 训练计划数据是通过选取不同类型的飞机(车辆)与某些环境数据(例如标准进出场程序)并加入计划本身数据(例如时间)而生成的。

空管仿真模拟系统中的静态数据, 也就是需要通过数据库应用程序生成与管理的数据是以一定的数据结构形式存储在物理存储介质上的, 它不在模拟训练的过程中发生改变, 只是为训练过程提供显示数据与计算参数, 它们在训练启动的时候会一次性地被系统读到内存中, 这些数据的生成与管理只能是通过系统专门提供的数据库应用程序来完成。

通过对系统仿真模型的分析, 我们将组成静态数据的实体分为三类: 运动实体参数、空管环境、训练计划。我们采用自底向上的方法通过 E-R 图分别对这几类数据进行概念模型设计。

① 运动实体参数: 运动实体在空管仿真模拟系统中一般是指飞机或车辆(塔台模拟机), 运动实体参数是对运动实体的运动性能的描述, 它由运动实体的型号来惟一标识, 其个类性能作为它的属性。

② 空管环境: 环境数据是对空管训练发生的场所的描述, 环境数据中又包括机场信息、跑道信息、天气状况、导航台信息等多类数据。对于环境数据的概念模型的设计需要对组成空管环境的各个因素分别建立局部概念模型, 并将这些概念模型组合为空管环境的总体概念模型。

③ 训练计划: 训练计划通过训练计划名来惟一标识, 训练计划的属性包括训练计划发生的时间等。

组成静态数据的三类实体的关系如图 3-6 所示, 图中的三类实体还可以继续划分为更细的实体, 由于几类空管仿真模拟系统对运动实体与空管环境的要求有细微的差别, 我们这里只对概念模型的整体设计做了介绍, 在下一章我们会针对雷达模拟机系统进行详细分析。

逻辑模型设计的任务是将概念设计的结果转化为数据库管理系统所支持的数据逻辑数据模型, 并对生成的数据模型进行优化的过程。雷达模拟机的数

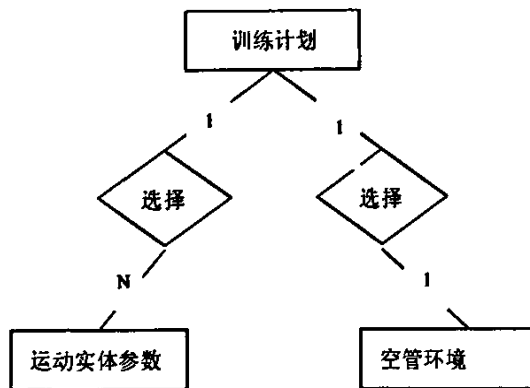


图 3-6 三类静态数据关系图

据是以二进制文件的方式存储的，其数据库席位不但是一个数据库应用系统，也是一个数据库管理系统，它支持关系数据模型。塔台模拟机采用 SQL SERVER 作为数据库管理系统，也采用了关系数据模型。所以，逻辑模型设计的任务就是将设计好的概念模型转换为关系模型，并进行优化处理，得到数据库的逻辑模型。

物理模型设计的任务是为设计好的逻辑模型选择一个最适合的应用要求的物理结构的过程。对雷达模拟机与塔台模拟机采用不同的物理结构模型，雷达模拟机采用自己的数据库应用程序 (NTBASE) 作为数据库管理系统 (DBMS)，通过 NTBASE 实现了数据的生成与对数据的管理工作；塔台模拟机选择通用数据库管理系统 SQL SERVER，通过程序连接 SQL SERVER 的数据接口对数据进行管理与操作。

3. 3. 3 数据库应用程序体系结构

空管仿真模拟系统的数据生成与管理是由系统专门的数据库应用程序来实现的，它主要实现以下三个功能：

- ① 数据的可视化编辑与显示；
- ② 数据的分析与处理；
- ③ 数据的物理存储与访问。

针对以上的问题，我们在数据库应用程序体系结构的设计上采用了三层结构，三层结构是逻辑上的三层，即把数据库的应用系统结构划分为界面层，中

间层，数据层，三层结构设计的好处在于：

① 用户界面层不直接与数据层进行连接，数据的处理与计算都是通过中间层完成，这样的处理方式减少了数据层的访问次数，提高了数据处理的效率；

② 提高了系统的可维护性，因为所有的计算与数据处理规则都存在于中间层，如果数据的计算方式与处理方式改变只需要改变中间层，而界面层与数据层不需要做其他的修改；

③ 良好的可重用性；

④ 数据处理更加灵活。

3. 3. 3. 1 界面层

空管仿真模拟系统的界面层需要为训练编制者提供计划生成操作界面，主要包括以下内容：编辑导航台（导航台与机场无关，由经纬度标定）；编辑航线（航线由一系列导航台和经过这些导航台的高度、速度给出，不同类型的飞机经过同一导航台的高度、速度应有所不同）；编辑航班（航班由航班号、起降机场（由起降机场确定了标准离场过程、标准进场过程）、航线等组成）；编辑机场（机场包括了经纬度、标准过程、滑行道、跑道等）；编辑训练计划（机场、环境、从航班库中选取航班，给出预计起飞或预计降落时间，机型等做成飞行计划，或自己编辑飞行计划，通过组合飞行计划形成训练计划）。

界面层是直接为用户交互的人机交互接口，其主要的构成元素有：

① 窗口：由标题栏、菜单栏、滚动条（水平、垂直）、状态栏和控制栏几个部分组成。

② 菜单：采用下拉菜单、图标式菜单。用户对菜单的操作主要是通过鼠标点击，并辅以键盘来实现的。

③ 图标：图标是常用的一种图形界面对象，它是一种小型的，带有简洁图形符号。它的设计是基于隐喻和模拟的思想。图标能帮助用户简便地通过界面调用功能。

④ 按钮：采用了图形化按钮，使用户操作更直观。

⑤ 对话框：弹出式窗口，系统在需要的时候提供一个对话框来让用户输入更加详细的信息，并通过对话框与用户进行交互。

⑥ 显示区：显示区将用户输入的数据以图形的方式实时的显示出来，并可以让用户在显示区进行鼠标直接对数据的操作，降低了用户数据录入的复杂度。

用户按照一定的生成顺序通过用户界面输入数据，对于任意一类的数据来说，其生成都是独立的，这样让用户在生成数据的时候能更清晰准确的输入所要生成的元素的性质与属性，比如机场信息，导航台，飞机性能参数信息。而所有这些元素也并不是完全独立存在的，它们有一种单向的依赖关系，比如，训练计划将依赖于飞行计划与天气状况等信息，但是飞行计划与气象信息并不依赖于训练计划，所以，用户界面的设计需要考虑到用户生成数据的顺序性，符合单向依赖关系，使用计划生成向导，使用户按照一定的生成顺序生成数据。图 3-7 显示的是雷达模拟机的数据库应用程序 (NTBASE) 的用户界面，图 3-8 显示的是塔台模拟机的数据库应用程序界面 (TSBASE)。

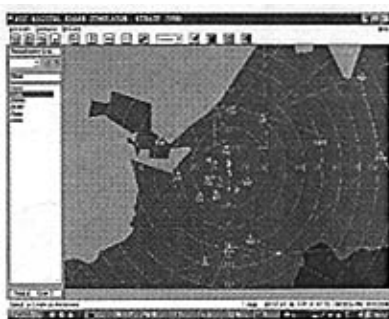


图 3-7 雷达模拟机数据库界面

3. 3. 3. 2 中间层

中间层作为界面层与数据层之间的过渡层，其主要作用是对用户的输入数据进行分析判断并对有效数据进行计算与处理，使其符合数据层数据存储格式要求，并将这些处理后的数据送到数据层进行存储。如果是无效的数据将不会被中间层所接受，中间层将会把这类数据返回给界面层，提示用户数据不合理，要求用户重新输入。中间层的主要作用可以归纳为：有效性检查，依赖关系检查，初始航迹数据计算。

(1) 有效性检查

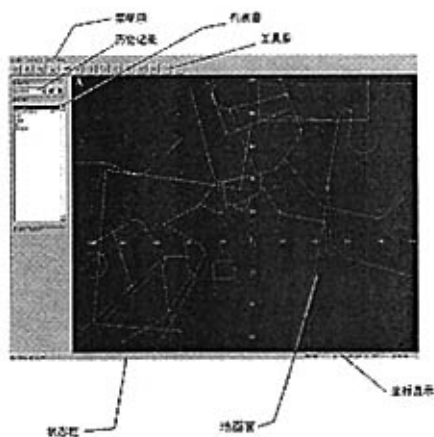


图 3-8 塔台模拟机数据库界面

对于用户通过界面层输入的数据进行有效性的检查，数据有效性的检查是非常必要的，对于仿真过程来说，数据的不合理会造成仿真准确性的降低，不合理数据的输入原因是多方面的，可能是因为输入错误，或者是考虑不周全，比如机场标高小于过渡高度层，像这样的情况发生的时候，就需要中间层拒绝接受这些数据，并将这些数据返回给界面层，并通知计划编制人员，当中间层接收到的数据是有效的，中间层将数据处理后传递给数据层进行物理存储。

(2) 依赖关系检查

中间层的另一个重要作用就是分析各个元素的依赖关系，比如机场还未生成的时候就不能生成飞行计划，因为不可能在没有机场的环境下管制飞机，所以中间层将对依赖关系进行分析，并与用户界面进行交互，只有通过依赖关系检查的数据才会被送到数据层进行物理存储。

(3) 初始航迹数据计算

用户通过界面编辑训练计划，训练计划由一个或多个飞行计划组成，一个飞行计划对应一架飞机在本次训练中的飞行任务，数据库会根据用户生成的训练计划生成每架飞机的初始航迹并传递给数据层进行存储。

3. 3. 3. 3 数据层

数据层负责对数据库数据的读写，执行数据的更新和检索。现在的主流是

关系数据库管理系统(RDBMS)。因此,一般中间层与数据层的联系大都使用 SQL 语言。数据操纵语言(Data Manipulation Language, DML)实现对数据库检索、插入、修改、删除等基本操作。DML 通常分为两类:一是嵌入主语言中的,一般本身不能独立使用,称之为宿主型语言;一类是交互式命令语言,语法简单,可独立使用,称之为自含型语言。雷达模拟机属于前一种,而塔台模拟机属于后一种。塔台模拟机采用的是 SQL SERVER,中间层通过 SQL 语言与数据层进行交互;雷达模拟机以结构化的二进制文件作为物理存储方式,实现了单关键字的关系数据库模型,雷达模拟机采用这样的数据层结构有优点也有缺点,优点在于可移植性强,由于数据都是以二进制文件存储的,不需要通用数据库管理系统的支持,缺点在于降低了数据操作的效率,由于没有通用数据库管理系统的支持,雷达模拟机的数据层需要通过程序控制数据的读写与查询,对数据的操作效率有一定影响,但是考虑到雷达模拟机数据量小与数据读取不频繁的情况,采用二进制方式对数据存储并通过程序实现读写与查询的优点要大于缺点。

3.4 动态数据生成

在空管仿真模拟系统中,静态数据是由数据库席位来生成与管理的,主要包括飞机参数数据,机场综合数据,飞机初始航迹数据,飞行计划数据,训练计划数据;不同于静态数据,动态数据是指系统在运行过程中生成的对运动实体运动状态描述的数据,在空管仿真模拟系统中,服务器席位接收运动实体参数与环境状态参数,并通过仿真模型计算,输出描述运动实体当前状态的数据并通过网络同步发送给其他席位。动态数据又可以分为描述实体当前状态的数据与各席位间的交互数据。

动态数据的处理需要考虑到空间一致性与时间一致性^[20],动态数据的空间一致性表现为仿真中的数据,特别是运动实体数据在各个节点中应该是一致的,在空管仿真模拟系统中,运动实体数据的一致性表现为运动实体状态的改变在不同节点中所引起的改变是一致的,运动实体的改变对不同节点上的仿真实体行为影响也是一致的;动态数据的时间一致性表现为对仿真过程中实体状态改变的实时性,尽量减少时间延迟和数据误差(丢包)。时空一致性是仿真系

统最基本的要求。对于空管仿真模拟系统，其中的动态数据处理技术也应该满足时空一致性的要求。

3.4.1 动态数据生成的关键

仿真是一种基于模型的活动，它涉及多学科、多领域的知识和经验。成功进行仿真研究的关键是有机、协调地组织实施仿真全生命周期的各类活动。从本质上说，一个仿真系统的软件核心就是一个仿真事件循环(Simulation Event Loop)。它为整个仿真系统提供了一个一致有效的时序，仿真系统通过不断的执行仿真事件循环来推动虚拟世界时间的流逝，并在每一个循环内处理与用户的交互，接受用户对虚拟对象的操作，决定虚拟世界的对象的行为，改变虚拟对象的状态，对虚拟对象进行更新^[11]。一个典型的仿真事件循环图 3-9 所示：

通过前面的分析，我们将空管仿真模拟系统的动态特征用管理模型、仿真计算模型、客户模型来表达，它们之间的交互构成了一个仿真事件的循环。仿真计算模型的好坏是一个仿真系统成败的关键，动态数据的生成的流程如图 3-10 所示，仿真模型首先接受初始化数据，在初始化完成后，从网络接受控制命令与计算参数，通过仿真计算得到运动实体的当前状态数据（动态数据），

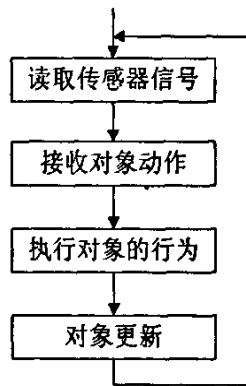


图 3-9 典型仿真事件循环图

并将动态数据周期性地通过网络发送到仿真系统的其它席位。

空中交通管制仿真系统是一个人机交互的可视化仿真系统，对于空管仿真模拟系统仿真计算模型的设计有以下的要求：

- ① 仿真结果能真实的再现调度工作，正确的体现模型的各种特性；
- ② 系统可靠性高，可维护性好；
- ③ 功能实现相对独立，灵活性强，易扩充。

空管仿真模拟系统的动态数据的生成主要涉及到两个方面的内容：

(1) 运动实体当前状态的计算

在计划启动时读取初始化信息，在系统运行过程中接收控制命令，并实时计算出运动实体的当前状态数据，并对运动实体的状态进行周期性的更新。

(2) 数据的网络传输^[10]

接收与发送数据，对于实时性要求较高的状态信息数据采用基于 UDP 的 RTP 协议进行传输，对要求可靠性的控制信息采用 TCP 协议进行传输。

3. 4. 2 仿真计算模型

仿真计算模块的功能是对运动实体的运动轨迹的计算，实时地将这些运动轨迹数据传送给其他的各个席位，还需要响应来自各个席位的控制命令或数据请求并作出相应的处理或应答。对于仿真计算模块的设计我们采用了多层综合建模的方法。

多层综合建模^[11](MLSM , Multilayered Synthetical Modeling) 的主要

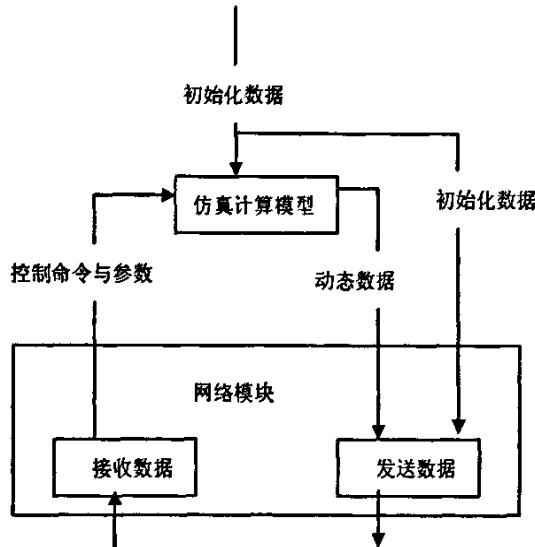


图 3-10 动态数据生成流程

思想是把仿真模型在软件体系结构上分成若干个相互独立的软件层(或称服务层), 这些软件层具有自顶向下(Top2down) 的结构。外部数据首先被传送给最上层, 中间的各层都把上层的计算结果作为本层的输入, 经计算处理得到结果后, 再将结果传递给相邻的下层, 作为下层的输入, 由顶向下依次处理, 在最下层计算处理后得到仿真结果。对于错误数据的输入, 根据错误的原因及进入的层面分别由不同层加以拒绝, 并产生对错误输入的拒绝信息, 拒绝信息从被产生的层依次向上层传递, 最后由最上层将信息发送给外部处理。对于软件层的划分使用低耦合高内聚(Low Coupling , High Coherence) 的原则。各层功能上的增加、删除、修改基本独立。MLSM 中“综合”的含义是指根据不同的应用, 各层可运用适合自己的模型描述方法。

通过多层综合建模方法, 我们将仿真计算模块的功能细分为不同的层次。仿真计算模块首先接受控制命令, 并将控制命令进行处理与解释, 并将这些命令传递给仿真数学模型进行计算, 仿真数据模型输出运动实体的轨迹。我们将仿真计算模块划分为命令处理层与运动核心层两个层次^[2]。

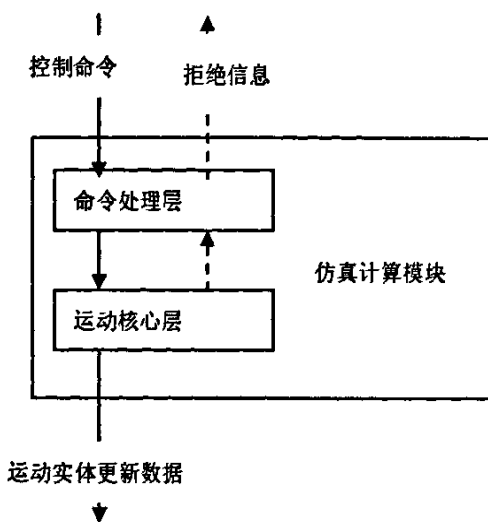


图 3-11 仿真计算模块的层次划分

命令解析层读取从网络接收到的控制命令, 对接收到的命令进行解析和处理, 得到了运动实体执行该命令需要的各种基本参数的序列, 然后将这个运动实体的参数序列作为输入, 输入到运动核心层。

运动核心层中建立了一套运动实体进行各种基本运动时状态变化的数学计算模型,运动实体状态的变化包括位置、速度和方向等,运动核心层将输入的运动实体的各种基本参数序列运用计算模型进行数字运算,最终得到了一个运动实体在执行该控制命令的每一个周期中的状态的更新序列。这个新的状态序列被缓存下来,用于运动实体在每个周期中运动状态的更新。

3. 4. 3 网络传输

TCP/IP 是目前广泛使用的一种高级网络通信协议,它既适用于局域网也适用于互联网,同时还具备良好的平台支持性。TCP/IP 提供 TCP 和 UDP 两个主要的传输协议,可以直接运用传输层进行应用程序通信。TCP 是一个面向连接的、基于流的、可靠的传输协议,具备如下特征:无错传输;确认传输;以发送数据的顺序进行传输;传输数据不重复;而 UDP 是一个无连接的、面向数据包的、不可靠的传输协议,不具备上述特征。TCP 和 UDP 均支持点对点通信模式,UDP 也支持多播通信模式,相对于 UDP,为了确保传输的可靠性,TCP 的传输性能低于 UDP,当应用程序希望将数据包传输到多个其他应用程序时尤其如此。

RTP (Real-time Transport Protocol) 协议是一种在网络中进行实时数据传输的协议,它提供端对端网络传输功能,适合通过组播和点播传送实时数据,如视频、音频和仿真数据。RTP 被定义为在一对一或一对多的传输情况下工作,其目的是提供时间信息和实现流同步。RTP 通常使用 UDP 来传送数据,但 RTP 也可以在 TCP 或 ATM 等其他协议之上工作。当应用程序开始一个 RTP 会话时将使用两个端口:一个给 RTP,一个给 RTCP(Real-time Transport Control Protocol)。RTP 本身并不能为按顺序传送数据包提供可靠的传送机制,也不提供流量控制或拥塞控制,它依靠 RTCP 提供这些服务。通常 RTP 算法并不作为一个独立的网络层来实现,而是作为应用程序代码的一部分。实时传输控制协议 RTCP 和 RTP 一起提供流量控制和拥塞控制服务。在 RTP 会话期间,各参与者周期性地传送 RTCP 包。RTCP 包中含有已发送的数据包的数量、丢失的数据包的数量等统计资料,因此,服务器可以利用这些信息动态地改变传输速率,甚至改变有效载荷类型。RTP 和 RTCP 配合使用,它们能以有效的反馈和最小的开销使传输效率最佳化,因而特别适合传送网上的实时数据^[1]。

空管仿真模拟系统网络上传输的数据分为状态信息数据和控制信息数据两种类型，状态信息数据用于更新运动实体的状态，控制信息数据用于控制系统的行为。状态信息数据一般是周期性的发送，传输比较频繁，而且一般是点对多点的发送，对实时性的要求比较高，一般不允许有丢包的现象发生，但如果有丢包现象不会对整个系统有较大影响；控制信息数据比状态信息数据的传输频率要低，但是对控制信息数据的传输可靠性要求非常高，绝对不允许有丢包的现象发生，否则会严重影响系统运行。由于 UDP 较 TCP 具有良好的传输性能和资源占用率，尤其是在进行一对多通信时，UDP 多播传输协议是网络拥塞最小化的方法，具备明显的性能优势，但由于 UDP 协议传输本身的不可靠性和无法提供服务质量，因此不直接采用 UDP 协议进行数据传输，而是采用使用 UDP 协议传输数据的 RTP 协议对状态信息数据进行实时传输。由于 RTP 协议并不能完全保证可靠的数据传输，所以采用 TCP 协议来对可靠性要求极高的控制信息数据进行传输。

4 雷达模拟机数据生成

雷达模拟机是空管仿真模拟系统中最具代表性的一类，上一章我们把空管仿真模拟系统设计为了六类相互作用的模型，它们分别为运动实体参数模型、环境模型、想定计划模型、管理模型、仿真计算模型、客户模型。其中管理模型、仿真计算模型、客户模型是对系统动态特性的描述，它们相互作用构成一个仿真事件的循环；环境模型、想定计划模型、运动实体模型为整个仿真过程提供静态的数据支持，是仿真过程静态特性的描述。本章我们将对雷达模拟机的数据生成方式进行更深入的研究，通过对数据库模型的设计与数据库应用程序（NTBASE）的设计具体讨论了雷达模拟机静态数据的生成方式，并从仿真计算模型的设计与服务器席位（Server）的设计入手讨论了雷达模拟机动态数据的生成方式。

4. 1 雷达模拟机系统总体设计

4. 1. 1 雷达模拟机系统结构

雷达模拟机系统采用了 Client/Server (C/S, 客户机/服务器) 结构, 由数据库 (NTBASE)、服务器 (Server)、中心机 (Center)、模拟机长位 (Pilot)、管制员位 (Radar)、内通系统六个部分组成。数据库, 服务器与中心机运行在同一台机器上, 并通过局域网连接多个机长位和多个管制员位, 机长位和管制员位通过内通系统进行模拟地空通话, 系统的体系结构如图 4-1 所示。

雷达模拟机使用基于连接的 Ethernet 局域网, 网络通信协议采用 Microsoft TCP/IP 协议。采用了基于连接的传输层协议 (TCP), 提供了流量控制、差错控制等技术来确保字节流数据的正确传输。流量控制技术可以保证具有不同数据收发速度的设备正确传输数据, 能很好地支持不同档次计算机之间互联; 同时, Windows XP 系统提供全面的硬件无关性, 包括网络硬件无关性, 使得应用程序可以独立于网卡的具体硬件特性。这两个特点不仅方便了系统维护, 同时使用户在系统的硬件配置上, 可以选用不同档次的计算机, 不同型号的网卡等。系统人机界面的输入/输出由客户机完成, 而其它的计算密集型任务由服务器集中处理。也就是说, 所有的飞行目标的仿真计算都在服务器上集

中完成，系统内部网络数据的交换也由服务器控制。采用 C/S 结构的好处在于：首先，在仿真模拟训练过程中，不需要大量的网络数据交换，对飞行目标运动状态的改变只需要改变服务器中飞行目标对象的一个属性，这样大大缩短了系统的响应时间；其次 C/S 结构非常适合系统的维护和功能的扩充，如引接真实雷达信号、远程维护等。在扩展系统功能时，客户端软件的改动是非常小的，绝大部分软件改动是在服务器端完成的。

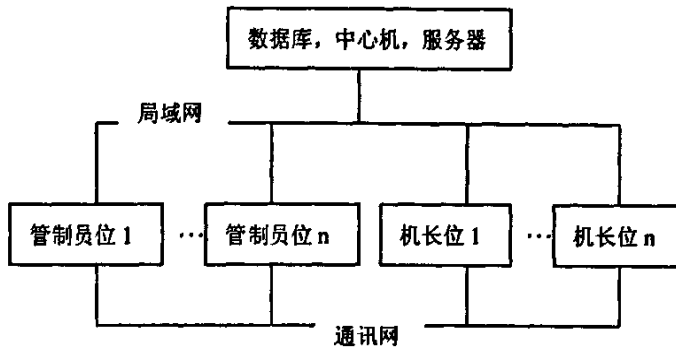


图 4-1 雷达模拟机系统体系结构图

数据库 (NTBASE) 生成并管理雷达模拟机系统中的静态数据，这些数据主要包括想定计划数据、环境数据、飞机运动参数数据三类。生成的静态数据按照一定的格式进行存储，为雷达模拟机系统的运行提供静态数据支持；服务器 (Server) 是整个雷达模拟机系统的核心，其主要功能是仿真计算与控制系统内部数据的网络交换。服务器读取数据库生成的静态数据，通过网络将这些数据初始化发送到中心机、管制员位与机长位，并从网络接收系统控制命令与飞机控制命令，实时计算出飞机当前航迹，通过网络将实时航迹数据发送到中心机、雷达位与机长位；中心机 (Center) 对训练过程进行控制，为用户提供模拟过程的显示与控制界面，并将系统控制命令通过网络发送给服务器，通过网络接受服务器发来的航迹更新数据，在用户界面上显示；机长位 (Pilot) 通过内通系统与管制员交流，接受管制员的管制命令，通过内通系统向管制员提交报告与请求，将飞机控制命令通过网络发送给服务器，并通过网络接收服务器发送过来的周期性的飞机航迹更新数据，在用户界面上显示；管制员位 (Radar) 通过网络接受服务器传来的航迹更新数据，提供显示与控制用户界面，通过内

通系统接收机长发来的报告与请求，并向机长发送管制命令。系统数据流程如图 4-2 所示。

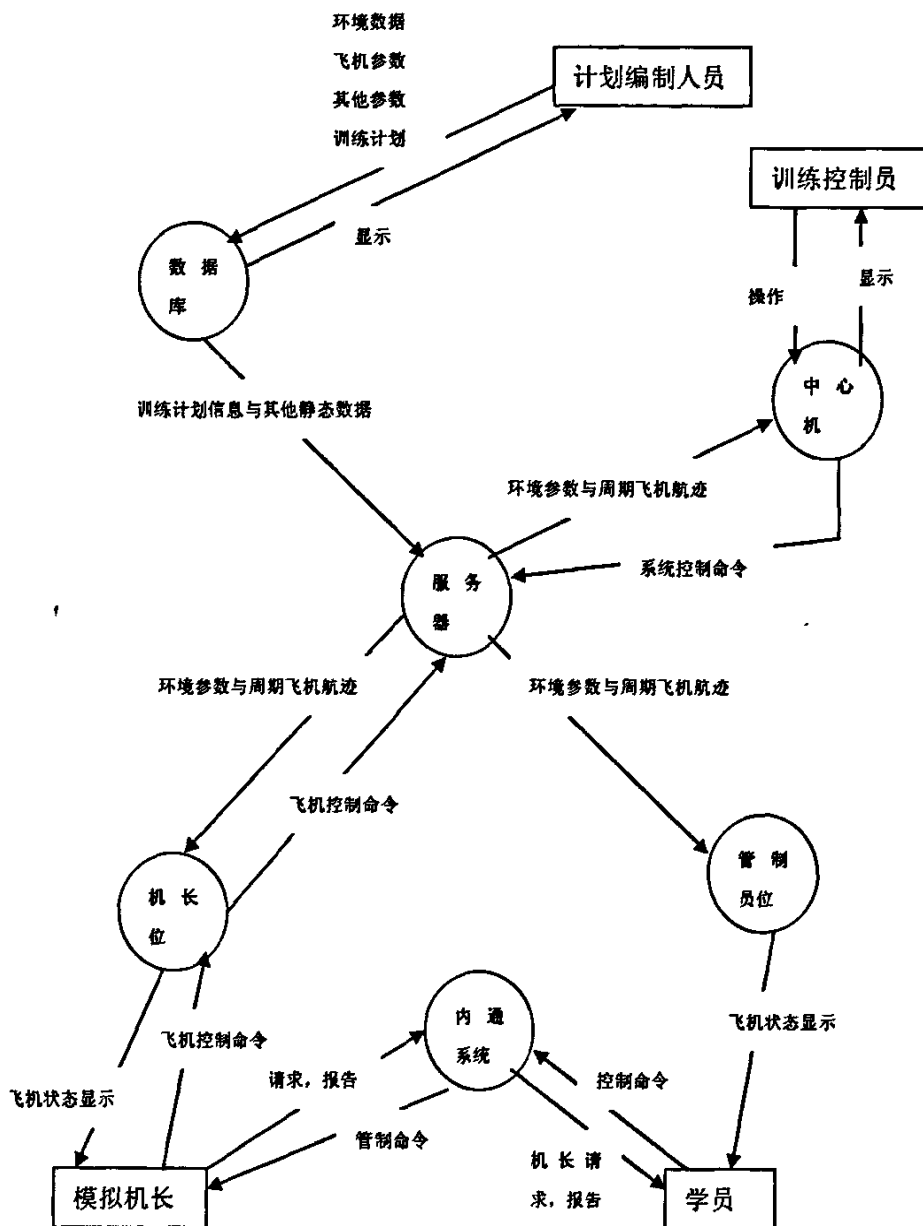


图 4-2 雷达模拟机系统数据流程图

4. 1. 2 开发语言与平台的选择

操作系统平台采用目前被个人计算机广泛使用的 Windows XP 操作系统；软件开发工具为 Microsoft Visual C++ 6.0^[32]。

4. 2 雷达模拟机数据库设计

4. 2. 1 数据模型设计

在对静态数据的生成与管理方面，数据的建模是一个主要的问题，它不仅要自然地反映用户对静态数据的认识和处理要求，而且要方便计算机对数据的处理。对这个问题解决得好坏，直接影响着数据库存取和查询的效率。由于雷达模拟机静态数据本身的特点，要求它的数据模型具有较强的数据描述能力，能直接对复杂数据结构进行描述，具有语义信息的表达能力，能将复杂的数据结构作为完整的独立实体来处理等。雷达模拟机数据库建模就是把雷达管制过程中的静态数据用某种方法组织起来，为整个系统的运行作好数据准备。

在数据库系统中，文件之间不是相互独立的，而是相互联系的，其中有 1-1（一对一），1-n（一对多）和 n-m（多对多）的关系。以关系数据库为例，它将每一个文件处理为一张表，称作一个关系，将文件之间的联系也处理为一张表，而且每个关系都有型（记录型）和值（文件）两个部分。所有记录型的集合构成了关系模式，而所有文件的集合构成了关系数据库。数据库管理系统就是对数据库所有功能和操作的综合，而应用程序就是这些功能和操作的具体程序实现。

本节从分析雷达模拟机静态数据结构的特征出发，运用关系数据库技术设计了雷达模拟机数据库模型。

4. 2. 1. 1 雷达模拟机静态信息特征

通过上一章对空管仿真模拟系统仿真模型的设计，我们将空管仿真过程的静态特征抽象为三个模型：运动实体模型、想定计划模型、环境模型。我们分别就三类模型的特征进行分析：

① 运动实体参数模型是对运动物体（在雷达模拟机中只有飞机一类运动实体）的运动性能的描述。涉及到飞机与雷达管制相关的各种性能参数，包括

各飞行阶段的速度、加（减）速度、飞行包线（飞行包线是对航空器在各个高度的最小速度和最大速度的描述）等。我们可以将这类数据抽象为飞机参数实体。

②想定计划模型对一次空中交通状况进行规划。模拟空中交通状况首先应当设计虚拟的气象条件，诸如风向、风速、气压、气温等气象元素，这些因素在训练执行过程中影响到运动实体的速度、高度、航向等各个航行要素，还会影响到模拟云团的移动趋向和移动速度；接下来需要定义训练的拓扑关系，即管制席位与机长席位的逻辑配对关系。一对一适用于训练一个独立的管制区间（进近或区调或某一管制扇区），该种训练将不涉及到管制移交；N对N（N个管制席位对应N个机长席位，管制席位与机长席位数量相同）适用于训练N个管制区间协同管制，此种训练方式将不可避免地涉及到管制移交和管制接收功能，N个管制席位+N个机长席位形成一个有机的训练整体（如一个管制席位被冻结，则此整体中其它管制席位和机长席位也将全部被冻结）；一对N（一个管制席位对应N个机长席位）适用于在一个独立的管制区间进行高强度管制训练，所有机长席位操纵的运动目标都由同一个管制席位进行管制，各个机长席位操纵着不同的运动目标；训练计划设计的主体是对运动目标的配置。在此，需要定义运动目标的数量，每个目标的名称、激活时刻、激活方式、归属于哪个逻辑上的管制席位。运动目标可以简单地理解为未确定时刻表的航班，它应当有预定飞行航路、执行机型、起降机场、预定速度和高度等属性，每一时期的空中交通状况（即每一个模拟管制的训练计划）都包含数个航班，制作不同训练计划可使用相同的航班，只是同一航班在不同的训练计划中重新被指定激活时刻等特征，因此可以建立一个航班库，并用航班名称来标识它；激活时刻用于安排空中交通流量、预设空中交通冲突。若要细化冲突时刻和冲突地点，除了激活时刻，还可调整运动目标预定飞行航路的首点的位置；激活方式对起飞目标而言，默认方式为到激活时刻请求开车、滑行，再请求起飞，被放飞后出现在雷达屏幕上，可选方式（Auto）为到激活时刻被自动放飞并出现在雷达屏幕上；激活方式针对空中目标（进场或飞越）来说，默认方式为到激活时刻自动在空中出现，可选方式（Manual）为到激活时刻请求进入管制区，被许可后可在空中出现，此方式可被管制教员在训练过程中用于实时调整空中交通流量

与训练难度；在多管制区间协同管制的训练中，需要指定每个目标初始出现时分别归属于哪个管制单位，即在逻辑上指定归哪个管制席位管制。训练过程中，改变目标的管制归属位就必须使用移交和接收指令。我们可以将这类的数据表示为训练计划实体。

③环境模型是对空中交通管制所发生的机场的环境的描述。其中包含了航班信息、标准程序信息、导航台信息。飞行计划的内容包含呼号、预定运动路径（飞行航路）、执行机型、起降机场、预定速度和高度、油量等。指定机型后，系统查询机型性能库，自动填充巡航高度和速度，此为理论值，用作参考，教员依据实际情况修改该高度和速度，在训练过程中，对于非落地目标，如果管制员没有改变其飞行计划（航路、高度、速度），则该目标在飞完计划中的末点后，按此巡航高度和速度飞行；油量的控制可以训练燃油告警的特情处置，油量耗完后目标坠落；起降机场可用于系统识别目标是否本场起飞飞机或到本场着陆飞机。预定飞行航路是定位点的连线，定位点是导航台或地理位置点，目标经过每一个定位点上空时被赋予特定的高度和速度。在不同的航班之间，它们的预定飞行航路可能存在部分或完全的一致，可以将具有一定重复性的公用航路段分离出来，并指定一个代号，制作飞行计划时，用到这些公用航路段时，可用其代号代替此定位点序列。可复用的公用航路段形成了标准飞行路径库，包括SID库、STAR库、目视穿云程序库等。标准飞行路径是N个定位点形成的序列，对每个定位点分别指定运动目标的过点高度，运动目标的过点速度则通过查询机型性能库得到。SID中涉及到的爬升梯度则用于定义当前点到下一点的高度变化坡度。各类机型由于性能限制可能达不到此处要求的梯度，则在运行过程中使用机型性能能达到的最大梯度。飞行路径的基本元素是定位点，定位点的基本属性是地理坐标（经纬度），为高效、简便地使用定位点，将所有导航台和有一定复用频率的地理位置点集合起来，形成定位点库。定位点的定义首先是对其位置的经纬度标识，这是定位点的最基本属性；一旦改变经纬度，则与定位点相关的航路走向、目标运动路径、航图、管制区间的划定等都将随之而改变；定位点的识别标识（代码）也是其至关重要的属性，前述与之相关的飞行航路等对象都是用定位点的代码调用它，如果改变代码，需要在改变之前从所有与该点相关的对象中删除此点，否则将造成整个数据组织的

混乱，产生不可知的错误现象。除了以上两个属性以外，应实际应用的需要，定位点还被赋予以下属性：显示属性指定定位点在雷达席位是否显示，以及以何种图形符号显示；导航属性定义定位点是否是导航台，以及是何种类型的导航台，如果是 VOR 台，则可在训练过程中指挥目标截入其某方位的径向线或沿其径向线飞行；报告点属性则用于判定定位点是否为强制报告点，如果是强制报告点，则目标在经过该点时系统自动在机长位产生飞行报告。对这些数据我们可以用飞行计划、标准程序、导航台、走廊、机场基本参数、机场可调参数、区域、航路、云、盲区、地形这几类的实体来表示。

4. 2. 1. 2 数据库概念模型设计

概念设计的目的是产生反应系统信息需求的数据库概念结构，即概念模式。概念模式独立于计算机硬件结构和支持数据库的 DBMS(数据库管理系统)。概念模型是表达概念设计结果的工具。在进行数据库设计时，如果将现实世界中的客观对象直接转换为机器世界中的对象，会感到非常不便，注意力往往被转移到更多的细节限制方面，而不能集中在最重要的信息的组织结构和处理模式上。因此通常是首先将现实世界中的客观对象首先抽象为不依赖任何机器的信息结构，这种信息结构不是 DBMS 支持的数据模型，而是概念模型。然后再把概念模型转换成机器上 DBMS 支持的数据模型。因此概念模型可以看成是现实世界到机器世界的一个过渡的中间层次。

通过对雷达模拟机静态信息的分析，我们知道在雷达模拟机的静态数据中涉及到 13 类静态数据实体，它们分别是：飞机参数、飞行计划、训练计划、标准程序、导航台、走廊、机场基本参数、机场可调参数、区域、航路、云、盲区、地形。对于雷达模拟机概念模型的设计我们采用从局部到整体的设计方法（自底向上）。首先对单个静态数据实体用 E-R 图建立它们各自的局部概念模式，然后将这些概念模式组合在一起，构成雷达模拟机的整体概念模型。

我们以导航台的局部概念模式设计为例，导航台实体包含了所属机场名、导航台类型、导航台名、导航台的经纬度（经度与纬度）五个属性。对于导航台用导航台名来惟一标识，我们用 E-R 图来表示导航台实体与属性的关系，用方框表示实体，用椭圆表示实体的属性。图 4-3 是对导航台概念模型的 E-R 图

表达。

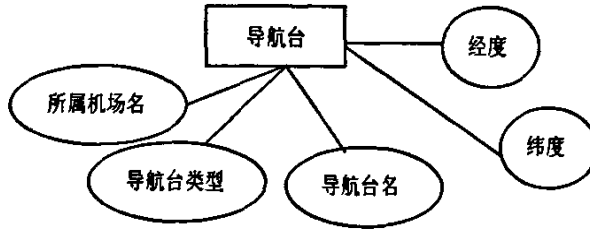


图 4-3 导航台概念模式

我们采用相同的方法对飞机参数、飞行计划、训练计划、标准程序、走廊、机场基本参数、机场可调参数、区域、航路、云、盲区、地形这 12 类实体分别做局部概模式设计^[3]，分别得到飞机参数概念模式、飞行计划概念模式、训练计划概念模式、标准程序概念模式、走廊概念模式、机场基本参数概念模式、机场可调参数概念模式、区域概念模式、航路概念模式、云概念模式、盲区概念模式、地形概念模式，分别用 E-R 图来表示，然后将它们组合成初步全局概念模式，用 E-R 图来表示。通过消除冲突与冗余^[19]将初步全局 E-R 图转换为基本 E-R 图。局部 E-R 图中有三类冲突，它们分别是：属性冲突、命名冲突、结构冲突。属性冲突是指同一实体在不同应用中有不同的抽象；命名冲突是指同一实体在不同应用中的属性不同；结构冲突是指同一联系在不同应用中呈现不同的类型。冗余分为冗余数据与冗余联系两类，冗余数据是指可由基本数据导出的数据；冗余联系是指可以由其它联系导出的联系。通过对冲突与冗余的消除，最后我们得到如图 4-4 所示的雷达模拟机数据库 E-R 模型结构图，图中的方框表示实体，菱形表示实体之间的关系。图 4-4 中省略了实体的属性^[3]。

4. 2. 1. 3 数据库逻辑模型设计

概念设计得到一个与 DBMS (数据库管理系统) 无关的概念模式。而逻辑设计的目的是把概念设计阶段设计好的全局 E-R 模式转换成与选用的具体机器上的 DBMS 所支持的数据模型相符合的逻辑结构。雷达模拟机以二维关系表的形式对数据进行存储，所以我们对雷达模拟机数据库逻辑模型设计的任务就是将概念设计转化为关系逻辑模型。我们将雷达模拟机的数据设计为 13 个关系子

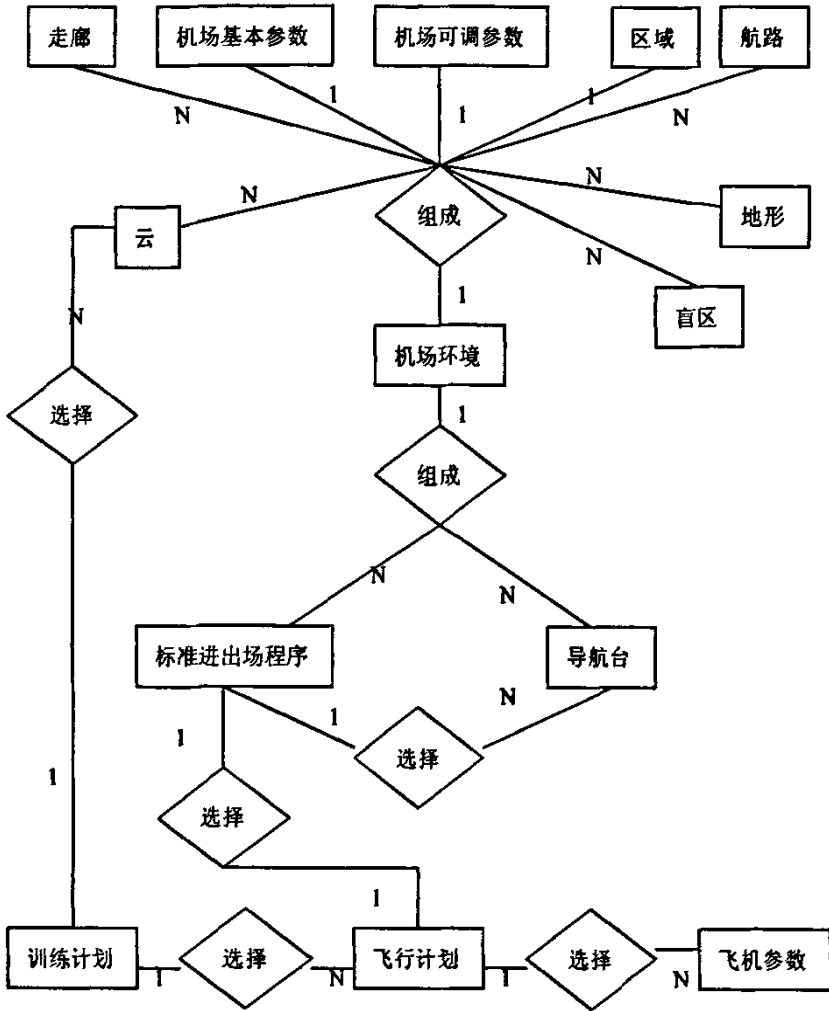


图 4-4 雷达模拟机数据 E-R 模型结构图

模式，它们分别为飞机参数表、飞行计划表、训练计划表、标准程序表、导航台表、走廊表、机场基本参数表、机场可调参数表、区域表、航路表、云表，由于每个表的字段都比较多，我们在对各个关系子模式表示的时候只列出了它们的主码（用下划线表示）与其它一些重要的字段，其他字段用“...”表示，这 13 个表^[1]分别为：

飞机参数（飞机型号，...）

飞行计划（飞行计划名，机场名，飞机型号，标准程序名，导航台名 1，...，

导航台名 n, ...)

训练计划 (训练计划名, 机场名, 飞行计划名 1, ..., 飞行计划名 n, 云名 1, ..., 云名 n, ...)

标准程序 (标准程序名, 机场名, 导航台名 1, ..., 导航台名 n, ...)

导航台 (导航台名, 机场名, ...)

走廊 (走廊名, 机场名, ...)

机场基本参数 (机场基本参数名, 机场名, ...)

机场可调参数 (机场可调参数名, 机场名, ...)

区域 (区域名, 机场名, ...)

航路 (航路名, 机场名, ...)

云 (云名, 机场名, ...)

盲区 (盲区名, 机场名, ...)

地形 (地形名, 机场名, ...)

通过这样的设计,我们就很容易满足雷达模拟机对静态数据的需求。训练计划通过飞行计划名与机场名就可以找到相应的飞行计划;通过云名与机场名就可以找到本次训练中的云的信息。飞行计划通过飞机型号就能找到飞机的飞行参数;通过标准程序名与机场名能查到机场的标准程序;通过导航台名与机场名能查到导航台信息。标准程序通过机场名与导航台名能查到导航台信息。机场环境通过机场名可以查到标准程序、走廊、机场基本参数、机场可调参数、区域、航路、云、飞行计划、盲区、地形的信息。

4. 2. 1. 4 数据库物理模型设计

雷达模拟机数据库以结构化的二进制文件作为数据的物理存储方式,实现了单关键字的关系数据库模型。雷达模拟机数据库以机场为单位,对每一个机场建立一个库,以机场四字码作为库名称,占用一个文件目录。机场的具体数据,如机场参数,机场各种标准过程等作为库中的数据表,它们按照内部定义的数据结构以文件方式存储。一个文件可以看作一张二维关系表,文件是由文件头与有着相同数据结构的记录组成的,文件头中包含文件类型与记录数量两类信息,一个记录可以看作是表的一行,记录的数据结构中不同的项看作是表

的列，数据结构中可以唯一确定这类数据的项看作是关系表的主码，文件的存储结构如图 4-5 所示^[6]。

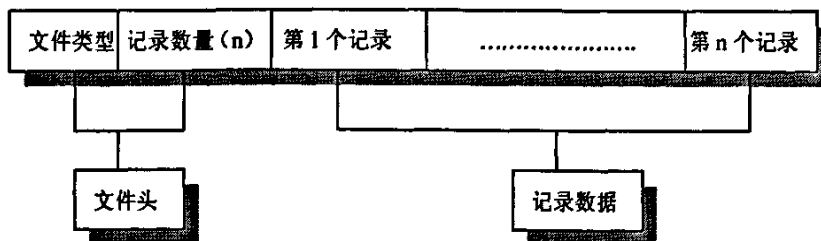


图 4-5 文件存储结构图

针对前面我们对地面环境逻辑模型的分析，我们得到了十三张关系表，我们将每张关系表都对应一个二进制文件，并以机场为单位，除了飞机参数表外，其他数据占用一个文件目录，以该机场的四字码作为目录名（如首都机场 zbaa），同一个机场的文件都存放在这个目录下面，这样设计的好处是将同一机场的表放在一起，当要对数据进行查询，读写操作的时候，只需要在相应机场的目录中操作，减少了数据操作的时间。以首都机场（zbaa）为例，其数据文件与文件的描述如表 4-1 所示（...表示数据库程序的安装目录，zbaa 为首都机场的四字码）。

表 4-1 首都机场静态数据文件及其描述

文件	文件描述
...\zbaa\ air.cpr	飞机参数
...\zbaa\ zbaa.fpl	飞行计划
...\zbaa\ zbaa.epl	训练计划
...\zbaa\ zbaa.sta	标准程序
...\zbaa\ zbaa.fix	导航台
...\zbaa\ zbaa.cor	走廊
...\zbaa\ zbaa.arm	机场基本参数
...\zbaa\ zbaa.asp	机场可调参数
...\zbaa\ zbaa.img	区域
...\zbaa\ zbaa.pic	航路
...\zbaa\ zbaa.cld	云
...\zbaa\ zbaa.lob	盲区
...\zbaa\ zbaa.tgb	地形

采用文件的形式对数据进行存储的好处在于：

① 雷达模拟中的数据量比较小，数据结构比较复杂，采用二进制文件的方式来实现关系型数据库提高了数据结构设计的灵活性，可以将这种方式理解为“表内套表”，如果采用像 SQL SERVER 一类的通用数据库会增加数据结构设计的难度。

② 雷达模拟机的数据都是模拟数据，它们对安全性的要求不是很高，而且采用通用数据库涉及到通用数据库的配置，可移植性较差，采用文件的形式对数据进行存储，不需要对通用数据库进行配置（如 ORACLE），在不同机器上使用同样的计划只需要将文件拷贝到相应的目录下就可以马上运行。

雷达模拟机提供专门的数据库管理系统（DBMS）对数据进行管理，对数据的存储、查询实现了优化，虽然在效率上比通用的数据库管理系统要差一些，但考虑到数据的生成与管理都是脱机运行的，而且从可移植性与数据量的方面考虑，采用文件方式对数据进行存储是有很明显的优势的。

4. 3 雷达模拟机数据库席位（NTBASE）的设计与实现

雷达模拟机数据库席位^[2]主要实现静态数据的生成与管理功能，首先它是个应用程序，用户通过应用程序提供的用户界面生成并管理数据，这些数据是对整个雷达管制的静态特征的描述，主要是对飞机飞行参数、机场环境数据、训练计划数据的图形化编辑与管理，并对用户输入的数据进行分析处理；其次它是一个数据库管理系统（DBMS），对数据进行读写、查询操作。雷达模拟机的静态数据分为两种存在形式。一种数据在数据准备时以二维关系数据表的形式存放于数据库程序的安装目录下（原始数据）；另外一种数据是在雷达模拟机系统训练运行时调用的描述运动目标的预定路径和点迹为主的二进制文件（训练数据），一般存放在 C:\FPLN 目录下。这样设计的好处在于：

① 除了数据库席位外系统不直接对数据库原始数据进行操作，提高了数据库的安全性，并保证了数据库原始数据的完整性；

② 训练数据在训练开始时将通过服务器一次性地发送给其他席位（管制员位、雷达位、中心机），数据的发送是通过网络进行的，将原始数据中对该次训练有用的数据进行提取可以减少数据网络发包的数量，提高数据传输的速

度。

③ 训练数据中包含有从仿真计算模型中计算生成的以预定路径与点迹的形式来保存的初始飞机航迹数据，通过这样处理可以大大减轻服务器的计算量，提高系统的运行效率，减轻服务器的负担。

数据库席位由三个基本模块组成(图 4-6)，它们分别是表格输入模块、数据库引擎模块、仿真计算模型模块。表格输入模块实现数据库表格记录项数据的输入；数据库引擎模块管理数据库的各种表格和记录项，这里所说的表格和记录项是指的数据库的原始数据；仿真计算模型模块根据数据库的数据计算出每架飞机的初始航迹数据（每架飞机六百个航迹点）；

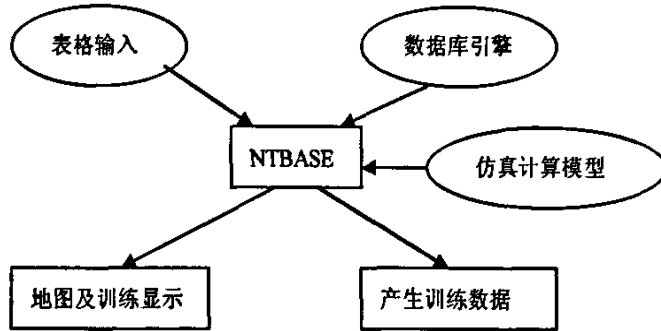


图 4-6 NTBASE 程序结构图

4. 3. 1 用户界面

NTBASE 的最主要的功能是为用户提供良好的数据输入与编辑环境，这是应用程序与用户交互的接口，用户不需要关心数据是如何处理与存储的，这对用户来说是透明的，用户只需要按照自己对某一次空管仿真模拟的设想通过用户界面对数据进行操作，用户操作的过程实际就是将用户想定的空管仿真模拟过程“告诉”给计算机系统过程，这些数据将被应用程序按照一定结构、一定的存储方式记录下来，这个过程也可以理解为一个将空管环境映射到计算机中的过程，只是在计算机系统中是以数据的形式来表达的。对于用户界面来说，要解决操作与显示两个方面的问题。

图 4-7 显示的是数据库应用程序的操作界面，用户通过选择菜单确定对某一类数据的操作，例如图中显示的是对机场地面环境中的固定点进行编辑的界面。用户通过工具栏中的新建按钮或者直接用鼠标在显示区双击就会自动弹出导航台编辑对话框，当用户按照输入对话框的提示输入数据完毕后点击确定，该固定点就会出现在选择栏中，如需要对固定点进行编辑，直接在选择栏中双击需要编辑的固定点或者直接在显示区中双击该点。对于用户界面的设计尽量考虑到了用户操作的简单性与直观性，特别是对一些图形的输入上面，实现了用户直接在显示区域用鼠标直接绘图并用对话框进行微调的功能，大大减少了用户数据编辑的工作量。

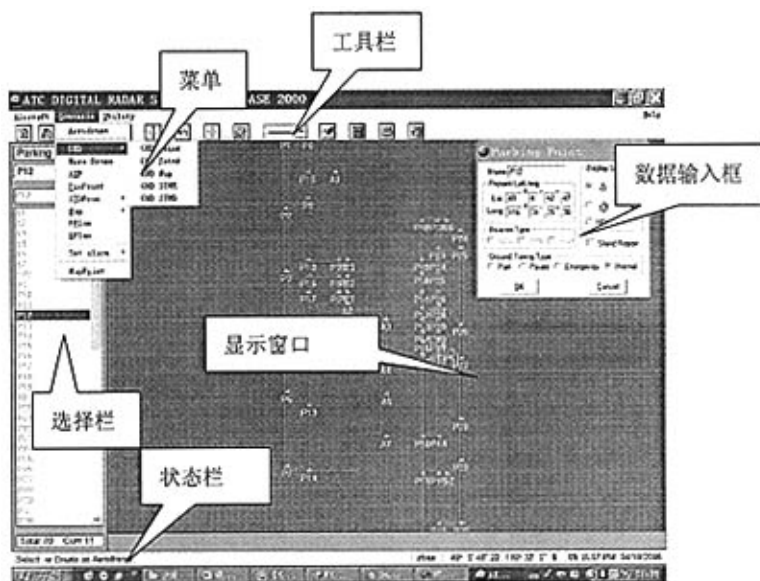


图 4-7 NTBASE 用户界面

4.3.2 数据分析处理

数据分析处理先对数据有效性进行检查，然后对数据的依赖性进行检查，最后将数据按照一定的结构组织起来，为数据的物理存储做准备。数据库应用程序中有一系列的数据有效性与倚赖性规则，这些规则通过不同的函数来实现，将用户数据的数据作为参数传递给这些判定函数，如果函数返回真，这些数据将被程序接受，如果函数返回为假，数据将被返回给用户，并在用户界面中显示修改提示；通过有效性与依赖性检查的数据将被封装到特定的数据结构

中并在内存中进行保存，直到数据被写入到硬盘中。

4. 3. 3 数据读写

对于有效的数据将对它们进行物理的存储，对数据读写操作来说，数据库席位体现的是其作为数据库管理系统 (DBMS) 的功能。数据通过二进制文件的形式进行存储，读数据采用 ReadFile() 函数^[33]实现，写数据采用 WriteFile() 函数^[33]实现。所有的文件都有统一的文件头数据结构：

```
typedef struct
{
    BYTE  byFileID;//文件类型
    int   iRecNum;//记录数量
}tagBaseFILEHEAD;
```

相同类型的数据通过一个文件来存放，文件包括文件头与一组有固定数据结构的记录按照首尾相接的形式排列而成，文件头中标明文件的类型与本文件所存储的记录数量，对这些数据的访问通过指针的偏移来实现。

4. 3. 4 训练数据的生成

前面我们提到了 NTBASE 的数据分为两类，一类是数据库原始数据，这部分数据通过 NTBASE 的数据库引擎进行管理，这些数据不直接参与仿真系统的运行；另一类数据是训练数据，这些数据是 NTBASE 通过原始数据生成的，它将原始数据中对某一次训练计划所需的数据进行提取，并分别计算出每架飞机按照计划飞行的预计航路与 600 个航迹点，这些航迹点组合起来描述飞机的运行轨迹，如果计划飞行中有 50 架飞机，那么对这次训练计划就会分别生成与飞机相对应的 50 个航路文件与 50 个航迹文件，这样处理的好处就是服务器读取相应飞机的预计飞行状态数据，在仿真系统的运行过程中，如果没有命令改变飞机的运行状态，服务器就不用再次计算所有飞机的飞行航迹，飞机就按照预计的飞行航迹飞行，直到有命令改变它的飞行状态，服务器再重新进行计算，这样大大减少了服务器的计算量。训练计划数据一般是保存在 C:\FPLN 目录下的，在 FPLN 目录下以机场的四字码作为文件夹的名字，分别将不同机场的数据放到相应的目录下，例如 zbaa 表示首都机，zhhh 表示武汉机场。对于每个

机场，可以有多个的训练计划，例如在首都机场 zbaa 中可能会有 P001, P002 或更多的训练计划，它们也通过不同的文件夹来存，训练计划名作为文件夹名。对于训练数据的生成需要对原始数据的格式进行转换，最后在 C:\fpln 文件夹下生成的文件(以首都机场 zbaa 与训练计划 P001 为例)与描述如表 4-2 所示：

表 4-2 训练数据及其描述

文件	文件描述
C:\fpln\zbaa\zbaa.pmp	空域描述
C:\fpln\zbaa\zbaa.evn	
C:\fpln\zbaa\zbaa.tgp	地形
C:\fpln\zbaa\zbaa.lob	盲区
C:\fpln\zbaa\basic.inf	气象信息
C:\fpln\zbaa\cloud.inf	云团
C:\fpln\zbaa\P001\route001.fil	第一架飞机预计航路
.....
C:\fpln\zbaa\P001\route00n.fil	第 n 架飞机预计航路
C:\fpln\zbaa\P001\trace001.dat	第一架飞机预计航迹
.....
C:\fpln\zbaa\P001\trace00n.dat	第 n 架飞机预计航迹

通过这样的处理，服务器不用直接连接数据库引擎，而是直接从该机场目录下寻找本次训练所需要的数据，并且数据通过转换后只保留了对该次训练有用的数据，这样大大提高了服务器的数据读取与网络传输速度，由于预先对飞机的航路与航迹进行了计算，也减少了服务器计算的开销。

4. 4 动态航迹生成

雷达模拟机中的运动实体只有飞机一种类型，所以雷达模拟机中的动态数据就是飞机的动态航迹数据，它是由仿真计算生成的，雷达模拟机中实现仿真计算模块的是服务器席位。上一章我们将系统的动态特征用管理模型、客户模型、仿真计算模型来表示，对仿真计算模型的设计我们采用了多层综合建模^[4] (MLSM) 方法，将仿真计算模型分为命令解析层与运动核心层。本节从雷达模

拟机服务器席位的总体设计入手，分别讨论了命令解析层与运动核心层的具体实现，阐述了动态航迹的生成过程。

4. 4. 1 服务器席位 (Server) 设计与实现

雷达模拟机的服务器是空管仿真过程中最重要的部分，它主要实现以下几个功能^[12]：

①通过局域网接受所有机场管制训练的计划控制命令，并对命令进行有效性检查；

② 将机场管制训练所需的初始数据通过局域网发送到相应席位；

③ 通过局域网接受所有的机场管制命令，并对命令进行有效性检查；

④ 执行航空器地面滑行、起飞、降落等的雷达航迹仿真计算任务；

⑤ 执行有效的机场管制命令，反馈执行结果信息给相应席位；

⑥ 将周期性数据分发到相应席位；

⑦ 根据要求控制多通道同步话音记录仪的录音、停止和放音等。

服务器席位的设计采用多线程结构，采用多线程进行程序设计的好处在于可以让服务器同时执行不同的操作，例如在接收网络命令的时候可以同时进行仿真计算。雷达模拟机服务器用三个线程来分担各功能，这三个线程分别是：主线程、网络线程^[34]、计算线程。其中主线程负责系统初始化和用户界面，网络线程负责网络传输，计算线程则负责所有命令的执行。线程间之间采用共享缓冲区的方式进行数据共享，共享缓冲区又分为网络缓冲区与命令缓冲区，网络缓冲区由输入缓冲区与输出缓冲区组成。服务器程序结构如图 4-8 所示。

网络线程与计算线程都通过主线程创建，线程间通过 WINDOWS 的消息机制进行通信，网络线程从网络上接收数据，并将接收到的数据放入到输入缓冲区中，发送消息告诉主线程有数据进入；主线程收到消息后将数据从输入缓冲区中取出，并对数据解包后进行命令解析，如果是合法命令就将命令放入到命令缓冲区中并发送消息通知计算线程将命令取走，如果是非法的命令，主线程直接将命令放到输出缓冲区，并通知网络线程通知命令的发送者该命令无效；计算线程从命令缓冲区取出命令，并通过仿真计算将计算结果放到输出缓冲区，通知网络线程将数据发送。

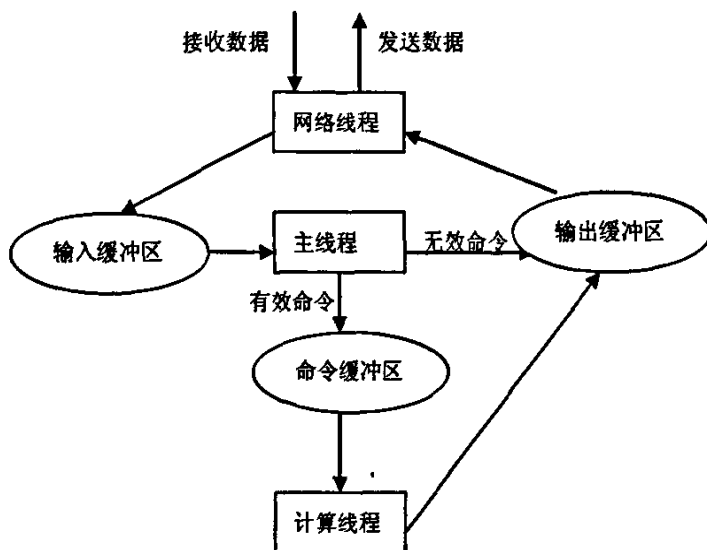


图 4-8 Server 程序结构图

对服务器程序的实现我们采用了面向对象的设计方法^[36]，主控线程由 ServerWnd 类实现，负责系统初始化、用户界面、对各飞行计划和席位进行管理和网络调度以及对网络线程送来的命令进行解码和执行，并创建网络线程与计算线程；网络线程由 CNetWnd 类来实现，负责所有的网络传输；要求网络线程将输出缓冲区中的命令正确无误的发走，和正确无误的接收网络数据到输入缓冲区中并通知主控线程。为了确保网络线程传送数据及时可靠，采用超时重发的机制，即每发送一个命令，记下发送时间，若超过一定时间（如 3 秒）还未收到相应的应答包，则重发该数据包，如果超时还未收到应答，再重发，如果反复三次都未能收到应答，则表示链路可能断了，报错同时丢弃原链路，并等待该席位的请求建立连接。计算线程由 CFlyingProc 类实现，负责从命令缓冲区取出命令，并实时计算出更新的航迹数据；CFlyingPar 类为飞机参数类，实现了对飞机参数进行操作的接口。CEnvironment 类为飞行环境类，实现了对飞行环境操作的接口；CPlan 类为飞行计划类，实现了对训练计划操作的接口。

4. 4. 2 仿真计算模型的实现

雷达模拟机的动态数据是由仿真计算模型生成的，它主要是飞机的航迹数据。通过上一章的分析，我们知道整个系统的动态性是由仿真计算模型、客户模型、管理模型三类模型之间循环来体现的。对雷达模拟机来说，服务器是对仿真计算模型的实现。我们将仿真计算模型划分为命令解析层与运动核心层来具体实现。

4. 4. 2. 1 命令解析层

雷达模拟机器的命令是通过局域网进行传输的，使用了 TCP/IP 协议中的基于连接的传输层 TCP 协议，通过自定义的数据格式将命令进行封装，在接收到数据包后将数据包进行解包操作，将数据包中的命令数据取出来，通过仿真计算模型中的命令解析层进行词法与语法分析，将命令分解为命令类型与命令参数，通过对命令的有效性分析后，将有效命令的类型与参数向下传递到运动核心层，无效的命令会被运动核心层所拒绝。表 4-3 显示的是网络数据的传输格式，数据包由命令头与命令内容组成，其中命令头由校验和、数据总长度、顺序号/确认号、命令长度、席位标志共占 17 个字节，命令内容的长度由命令头中的命令长度的值所确定。

表 4-3 雷达模拟机命令数据包的格式

命令头	校验和	4 字节
	数据总长度	4 字节
	顺序号/确认号	4 字节
	命令长度	4 字节
	本席位标志	1 字节
命令内容		

对从网络接收到的命令包进行解包操作后，得到了命令的基本内容字符串。命令解析层的主要任务就是对命令基本内容字符串中的命令进行分解，获得命令中的类型信息与参数信息，为运动核心层的计算做好准备。

雷达模拟机中的命令主要分为两类：系统控制命令与运动目标（飞机）控制命令。系统控制命令主要用于对整个训练系统进行配置和控制，如配置系统

参数、系统启动和停止等，主要由系统管理人员使用。运动目标控制命令主要用于航空器和机场车辆的指挥和控制，主要由接受管制命令的机长席位人员使用。雷达模拟机中的命令都有固定的格式，如下所示：

命令名称 [命令参数关键字][命令参数数值]

命令名称表示该命令用于不同的场景，如 TWR 用于地面滑行，而 TOFF 用于起飞。命令参数关键字是为了标识紧跟其后的命令参数数值的意义，如命令 SPD A050 中的 A 是为了表示加速的意思，整条命令表示飞行表速加速 50 公里/小时。相应的参数数值有默认的标准单位，如 SPD A050 中的 050 的单位是公里/小时，当然也可以自己设置单位，上面的命令如果是采用英制，表速单位就为海里/小时。

对于命令的解析就是要将命令分解为计算模型所“知道”的类型与参数，在知道了命令的类型后，运动核心层才知道应该调用哪个对应的数据模型，知道了命令的参数才知道执行该计算模型所需要的参数。我们将命令解析层的命令解析功能用专门的软件模块来实现，也就是实现一个专门的命令解析器。实现命令解析器前需要对命令解析器进行初始化，其目的是让解析器知道已定义的与命令有关的相关各类参数，比如导航台点、跑道、机场标高等，通过已知的参数对命令参数进行分析。命令按照字符串的形式被送入解析器，目标字符串中的各条基本命令用“;”分开，基本命令中的名称与参数以及参数间用空格分开。

解析器对于输入的目标字符串的处理分为词法分析与语法分析两步。词法分析是将目标字符串切分为各条基本命令与各条基本命令所携带的参数。语法分析的任务是将词法分析中切分出来的基本命令进行语义分析，并检查其合法性，对每条基本命令分别进行解析，确定其类型，最后通过对命令参数的处理，生成运动核心层所需的数据。

在对目标串的词法分析中，切分基本命令是根据“;”进行的，对其参数的切分根据空格进行。

语法分析中，主要对基本命令的参数个数、参数位置、参数范围等的合法性进行检测，并解析出相应的参数意义。在命令解析器中，针对每一种基本命令都提供一个独立的解析函数完成与该命令的需求相应的计算。这样，对基本

命令的增加或修改，只需增加或修改对应的解析函数即可。

4. 4. 2. 2 运动核心层

通过命令解析层对命令的解析，得到命令的类型与参数，对命令的处理是在运动核心层实现的，在运动核心层中建立了一套飞机进行各种运动时状态变化的数学计算模型，飞机状态的变化主要包括位置、速度和航向，运动核心层将飞机运动类型及其参数序列作为输入参数，运用计算模型进行数学运算，最终得到了一个飞机在执行该控制命令的每一个雷达扫描周期中的状态的更新序列。这个新的状态序列被缓存下来，用于在飞机运动的每一个雷达扫描周期对其状态进行更新。

我们采用了面向对象建模与设计方法对运动核心层进行了设计，将飞机的运动规律用 CFlyingProc 类来描述，类中的一个方法就是一类运动的数学模型的实现，通过命令解析层输入的飞机运动类型选择相应的方法，并将飞机运动参数作为该方法的参数进行计算，通过计算得到飞机在下一个雷达扫描周期的状态数据（航迹点数据）。例如 GNDLanding（）方法是对飞机降落过程数学模型的实现。CFlyingProc 类的定义如下所示（省略号表示未列出的属性或方法）：

```
class CFlyingProc //运动规律类
{
    CFlyingPar      *m_pflFlyingPar; //飞机参数
    CEnvironment   *m_pEnvironment; //飞行环境
    其他计算所需要的数据属性
    .....
    其它计算方法
    int GetCmdType() {return CmdType;}
    int FindControlPointPosition(tagTRACE CurrentTracePoint);
    int GNDDownSPDPosition(int count, tagTRACE Trace[], float *a);
    int OrganizeRoute(int RouteNum, char szRouteName[][15]);
    int MakeGndSPD(int DestIAS, int *exc_case);
    int GNDROUTEFlying();
}
```

```

int GNDLanding(int DestIAS, int *exc_case);
int GNDPause(int GndCurIAS, int *exc_case);
int GNDTakingOff(int DestIAS, BOOL tg, int *exc_case);
int GNDStopTakingOff(int DestIAS, int *exc_case);
int GNDSPDUpDown(int dest_IAS, float AccDec, int *ArivalFlag);
int GNDExeFlyToNextPoint();
.....
}

```

运动核心层的输出就是飞机的航迹点数据。飞机的航迹是通过具有不同参数（如高度，速度，方向等）的航迹点所组成的。航迹点有如下的结构：

```

struct Trace
{
.....
short      iSum ;
unsigned char  byCode ;
unsigned char  byAtt ;
short      iAlt ;    //高度
short      iGAS ;   //速度
long      lAbsX ;   //X 坐标
long      lAbsY ;   //Y 坐标
.....
};

```

通过航迹点我们就可以表示飞机在某一时刻的状态，航迹点数据将由服务器席位通过网络周期性地发送给管制员位、中心机位、机长位，这些数据将在各个席位的显示屏上显示，体现出飞机的运行轨迹。

4. 5 总结

本章分别对雷达模拟机静态数据与动态数据的生成进行了研究。要用计算机来模拟雷达管制的过程光有这些数据也是不行的，要真正实现雷达管制的模

拟还涉及到对这些数据的操作，数据的操作包括显示、传输、存储、控制等。通过数据与对数据的操作，就能将雷达管制过程用计算机来仿真。

5 结论与展望

空管仿真模拟系统的数据是根据一种想定的空管状态由计算机系统生成的,系统的仿真模拟过程可以用数据与对数据的操作来表达。根据数据的不同属性,又可以将它们分为静态数据与动态数据。静态数据在系统运行过程中不发生变化,一般由数据库系统生成与管理;动态数据在系统运行的过程中不断变化,实时刷新。本文首先建立了系统的仿真模型,以此为基础分析了空管仿真模拟系统的静态与动态数据的生成,通过对数据库模型与数据库应用程序的分析对静态数据的生成进行了讨论。然后使用多层综合建模的方法对动态数据的生成进行了分析。最后通过对数据生成的分析对空管仿真模拟系统中应用最广泛的雷达模拟机的数据生成进行了详细的研究。

DRS 系列雷达模拟机已经在全国民航所有七大管理局和主要机场、三大民航院校以及军航中得到了广泛地推广和应用,占有国内市场 95%以上的份额,并完全替代了进口。到目前为止产值达到了 7000 千万元;DPS 程序模拟机曾获得教育部科技进步二等奖。CDZS 三维视景塔台模拟机也通过了国家鉴定。实际应用的结果表明,本文所提出的数据生成方式具有很好的稳定性与实用性,并且具有良好的可重用性,可以为其它同类仿真模拟系统提供一种数据生成方式的参考。

如何让管制员在一个更接近真实的管制环境中训练已经成为了对空管仿真模拟系统未来发展提出的新的要求,要解决这一问题需要从硬件与软件两方面入手。从硬件方面来说,要使系统的硬件设备的外观与对硬件设备的操作更接近真实情况,使管制员有种身临其境的感受;对于软件方面来说,需要对系统的数据生成方式进行优化,特别是对仿真计算模型的优化,使系统对运动目标的模拟更接近真实状况。

参考文献

- [1] 中国民用航空总局. 中国民用航空空中交通管理规则. 1999.7
- [2] 川大智胜公司. DRS2000 航管雷达模拟机用户手册 (共六册). 2002.8
- [3] 川大智胜公司. DRS2000 航管雷达模拟机技术手册 (共六册). 2002.8
- [4] 川大智胜公司. TS360 机场塔台视景模拟机用户手册. 2004.11
- [5] 莫世锋. 空管模拟训练软件产品线体系结构的研究. 四川大学硕士论文. 2005.4
- [6] <http://www.wisesoft.com.cn>. 川大智胜软件股份有限公司. 主页
- [7] 屠仁寿. 经济系统建模与仿真. 中国科学技术大学出版社. 1994:16~36
- [8] 马裕民. 水下对抗分布交互仿真系统的设计与实现. 西北工业大学硕士论文. 2005.5
- [9] 王爽. 铁路区间信号系统测试评估平台专用数据库子系统研究. 同济大学硕士论文. 2004.3
- [10] 苏庆堂. 分布交互仿真中数据通讯的研究与实现. 昆明理工大学硕士论文. 2005.3
- [11] 柯力, 王丹霞. 一种多层综合建模方法及在塔台仿真系统中的实现. 四川大学学报自然科学版. 2004.3
- [12] 董天罡. 场面监视雷达仿真系统的设计与实现. 四川大学硕士论文. 2005.5
- [13] 邓明君. 驾驶模拟器数据支持系统研究. 昆明理工大学硕士论文. 2005.6
- [14] 柯力. 新一代塔台模拟机及多层综合建模结构. 四川大学硕士论文. 2004.4
- [15] 胡金星, 吴焕萍, 潘懋, 马照亭. 基于格网划分的海量 DEM 数据生成. 计算机辅助设计与图形学学报. 2004.1
- [16] 吴懿, 李永宁. DRS 航管雷达模拟机数据库数据生成技术分析. 中国民航飞行学院学报. 2006.1
- [17] 施伯乐, 丁宝康, 周傲英, 田增平. 数据库系统教程. 高等教育出版社. 1999
- [18] 荆剑, 吴芳美. 计算机联锁安全软件测试评估平台的静态数据交换策略. 上海铁道大学学报. 1999.2
- [19] 西尔伯沙茨 (Silberschats,A.) 等著, 杨冬青等译. 数据库系统概念 (原书第 4 版). 北京:机械工业出版社. 2003.3

- [20] 徐高骞. 分布仿真环境中的动态数据处理技术研究. 南京理工大学硕士论文. 2005.6
- [21] 陈志斌. 塔台模拟器训练计划管理子系统的设计与实现. 北京航空航天大学硕士论文. 2003.6
- [22] 肖忠. 常见数据模型及其转换. 伊犁师范大学学报. 1999.2
- [23] 李志伟, 郭峰. 基于二进制数据库的信息搜索算法. 计算机工程与设计. 2005.10
- [24] 姜翠霞. E-R 模型向关系模型转换的研究. 齐齐哈尔大学学报. 2004.12
- [25] 华为 3Com 技术有限公司编著. HCNE 认证教材-构造中小企业网络 (第一分册). 华为 3Com 认证培训系列教程. 2005.12:2~14
- [26] 陈东海. 数据库技术在项目开发数据管理中的应用. 吉林大学硕士论文. 2005.5
- [27] 李峰. 基于作战环境的无人机交互式仿真技术研究. 西北工业大学硕士论文. 2005.3
- [28] 陈虔. 虚拟现实协同仿真建模与应用研究. 北京航空航天大学博士后研究工作报告. 2000.5
- [29] 求是科技, 黄超等. Windows 网络编程. 北京:人民邮电出版社. 2003
- [30] 陈楷民, 帅锐. 基于 Vega prime 的塔台视景仿真系统的实现. 中国民航飞行学院学报. 2006.1
- [31] 孙建锋. 风电场建模和仿真研究. 清华大学硕士论文. 2004.6
- [32] Michael J. Youn 著, 邱仲潘等译. Visual C++ 6 从入门到精通. 电子工业出版社. 2001.8
- [33] Jeffrey Richter 著, 王建华等译. Windows 核心编程. 机械工业出版社. 2000.5
- [34] Anthony Jones, Jim Ohlund 著, 京京工作室译. Windows 网络编程技术. 机械工业出版社. 2000.3
- [35] 吴旭光, 王新民. 计算机仿真技术与应用. 西北工业大学出版社. 1998.5
- [36] 宛延阁. C++语言和面向对象程序设计 (第二版). 清华大学出版社. 1998.6
- [37] 何江华. 计算机仿真导论. 科学出版社. 2001.3

作者在读期间科研成果简介

发表论文:

吴懿,李永宁. DRS 航管雷达模拟机数据库数据生成技术分析.中国民航飞行学院学报. 2006.1

声明

本人声明所呈交的学位论文是本人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。除了文中特别加以标注和致谢的地方外，论文中不包含其他人已经发表或撰写过的研究成果，也不包含为获得四川大学或其他教育机构的学位或证书而使用过的材料。与我一同工作的同事对本研究所做的任何贡献均已在论文中作了明确的说明并表示谢意。

本学位论文成果是本人在四川大学读书期间在导师指导下取得的，论文成果归四川大学所有，特此声明。

签名： 吴懿 导师签名： 李永宁
日期： 2006年5月29日

致谢

经过对已有工作的总结和整理分析后，完成了这篇论文。在工程的实现和论文写作的过程中，我得到了很多老师同学的帮助和支持。

感谢我的导师李永宁老师，李老师治学严谨、实事求是的科学态度和不断发展的远见卓识使我受益匪浅。李老师不仅在学业上认真指导，还为我创造良好的学习研究环境，使我能够不断提高自己分析问题和解决问题的能力，为论文的顺利完成提供了良好的条件。在此，向我的恩师李永宁老师表示最真切的感谢。

在此，我也要特别感谢我的老师游志胜教授，游老师学识渊博、志向远大。游老师为我提供了良好的科研工作机会，这使我的科研能力进步很快。

衷心感谢李辉老师、董天刚老师在我三年的学习生活中给予我的关心、帮助和指导，他们的热情教诲和帮助使我能够在这三年的学习生活中得以增长学识、顺利完成我的学业。感谢仿真部的同事们，感谢他们在工作上和业务上给了我无私的帮助，他们是：王勇、彭志勇等。还要感谢川大智胜软件股份有限公司的所有其他老师，他们对我的帮助和支持至关重要。

还要感谢我的同学们，他们不仅是我大学生活中的好伙伴，更重要的是，这三年来的彼此交流和学习对我的学业有很大的支持和帮助。

最后，特别感谢我的父母及亲人在我求学过程中自始至终的支持和鼓励。

吴 懿

2006年4月30日