

# 基于面向对象技术的飞行仿真研究

张继夫<sup>1</sup>, 陈 蕾<sup>1</sup>, 邓 华<sup>2</sup>, 何 昀<sup>1</sup>

(1. 空军航空大学 军事仿真技术研究所, 吉林 长春 130022;

2. 空军航空大学 计算机教研室, 吉林 长春 130022)

**摘 要:**针对当前在飞行仿真建模领域遇到的模型重用性差,设计模式不统一,不能适应现代军用飞行仿真需求的问题,尝试在工程实践中引入面向对象的设计方法,实现规范仿真建模过程的目的。通过研究面向对象技术在飞行仿真系统研制中的应用范围与应用方法,结合实际项目中飞机导航系统的仿真过程,使用面向对象技术对其进行分析与设计,并据此建立了仿真模型。利用这种方法建立的仿真模型清晰明了,易于理解,有效地增强了系统的可重用性和继承性,收到了良好的应用效果,证明了将面向对象技术应用于飞行仿真领域是可行的。

**关键词:**面向对象技术;面向对象仿真;飞行仿真;导航

中图分类号:TP391.9

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2010)07-0211-05

## Research on Flight Simulation Based on Object - Oriented Technology

ZHANG Ji-fu<sup>1</sup>, CHEN Lei<sup>1</sup>, DENG Hua<sup>2</sup>, HE Yun<sup>1</sup>

(1. Military Simulation Technology Institute, Air Force Aviation University, Changchun 130022, China;

2. Dept. of Computer, Air Force Aviation University, Changchun 130022, China)

**Abstract:** Aiming at the problem that the model in the flight simulation field is poor to reuse, and the design patterns are not uniform, and can not meet the modern military flight simulation needs. Try to bring the object-oriented method to the projects and to standardize the process of building simulation model. Introduced the application of the object-oriented technology in the flight simulator system development, and used the object-oriented technology to analyze and design for the actual project of a flight simulator's navigation system, built the simulation models. The models built by this method are easy to understand, and effective to enhance the system reusability and inheritance, received a good application effect. It proved that the object-oriented technology in the field of the flight simulation is feasible.

**Key words:** object-oriented technology; object-oriented simulation; flight simulation; navigation

## 0 引 言

随着现代军用飞机生产与制造技术的飞速发展,现在装备的及即将入役的三代及三代以上的军用飞机,都是集成化程度很高的高技术平台<sup>[1]</sup>,具有非常复杂的飞控系统、火控设备、航电系统等,因此飞行器系统的高复杂度对飞行仿真提出了越来越高的要求。同样原因,针对更加复杂的多任务的飞行仿真目标,如单机训练、多机交互式仿真、基于网络的仿真互联等等<sup>[2,3]</sup>,也对飞行仿真提出了更加多样的需求,这使得在针对具体目标而进行的飞行仿真建模过程,依旧是一种需要消耗巨大精力的工作过程<sup>[4-6]</sup>。正是由于上

述原因,设想提出一种重用性更强、继承性更好、功能更完善的飞行仿真系统及其合理的、封装性好的软件框架,对适应飞行仿真的需求、改变现有开发模式是非常有益的。从另一角度来看,目前众多飞行仿真建模软件都是采用传统的软件设计模式和设计方法,也使得现有软件结构处在一个很落后的水平上<sup>[7]</sup>。

为了解决上面提出的这些问题,通过基于面向对象方法学的理论研究与实践经验,分析设计过程中建立的对象结构,可以非常便捷地构建出针对具体应用的仿真系统。相对于传统的仿真方法,面向对象的思想与技术则为复杂系统的仿真提供了简单而有效的途径<sup>[8,9]</sup>,面向对象方法为模型与软件的重用提供了基础。

将面向对象思想应用于飞行仿真软件的开发的设计经验,除了来源于以往软件开发过程的经验之外,更多的是基于众多面向对象概念和机制同其它领域相结合,所取得的一系列相应领域的发展成果,这些经验与

收稿日期:2009-11-23;修回日期:2010-02-20

基金项目:空军装备部项目(编号略)

作者简介:张继夫(1981-),男,吉林长春人,硕士,助理工程师,研究方向为分布式仿真及面向对象仿真技术;陈 蕾,博士,副教授,研究方向为数字图像处理及系统仿真。

成果提供了仿真建模过程的思路和方法。从面向对象角度出发,将飞行仿真对象作为描述飞机设备的标准概念,将真实世界的实际物体、抽象世界的描述和计算机中的实现过程关联为一个整体,这种技术集成和协调了过去软件开发实践的精髓,逐渐成为大型复杂系统研究的强有力工具<sup>[10]</sup>,尤其是类似飞行仿真系统这种大型的军用武器仿真系统开发。将面向对象仿真技术引入军用飞行仿真系统的分析和设计过程中,研究飞行仿真和面向对象技术结合的途径,充分利用了这一开发思想的优点,可以优化和整合飞行仿真系统,实现仿真系统开发过程的系列化和简易化。

## 1 应用实例

以某型号飞行仿真系统的导航部分设计过程为例,基于面向对象的思想和设计方法,进行系统建模与模块设计。

### 1.1 系统仿真目标

导航系统的仿真的主要目标有两个:一是对飞机导航过程进行仿真,和模拟器硬件设施相关联,能实现仪表、指示灯等部件的仿真<sup>[11]</sup>,具体包括:支持飞机状态的仿真模型的建立、修改和删除操作;实现仿真实际设备的运行与操作过程的全部内容,各子系统都应当能够独立运行与操作,驱动模拟器硬件设备并以数据流方式将实时导航参数返回教控台端;提供模拟飞行的实时航迹曲线、仿真参数、操纵记录及能够记录这些参数的数据采集手段;更新导航位置信息及参数,在整个飞行仿真系统工作过程中,仿真系统导调人员可以随时查询当前或某一特定时刻的工作状态。

另一个目标是进行导航研究,包括故障处置研究和系统使用规程的研究<sup>[12,13]</sup>,具体内容包括:支持多种使用科目设置,例如可以在预置的多种事件中选择某种事件发生,加入仿真系统交由飞行学员处置;可以随着对仿真系统认识的加深增加新的故障;可对飞行员的操作过程进行综合判定。

### 1.2 导航仿真系统功能分析

对导航系统进行仿真需要实现的如下功能:

(1)能够建立导航相关的仿真模型,并能够支持对模型的修改与其他操作;

(2)仿真流程必须包含有初始状态设置、仿真运行、故障现象模拟及其他所有操作内容,各个仿真子系统都应当能够独立操作,以数据流方式将实时导航参数输入飞行和教控台;

(3)能够实时地输出飞行轨迹,并且还满足提供历史飞行记录、多种相关数据、状态列表等多种查询和输出需求;

(4)能够实时呈现当前工作状态,当仿真过程正在执行时,教员和学员都可以记录当前的状态;

(5)需要提供数据库修改接口,以便及时更新数据;

(6)能够设置运行状态,包括故障设置,教员可以在已有的状态列表中随机选择系统状态,由学员进行状态处置,根据其表现进行评分;

(7)可以对飞行人员对导航系统的操作进行跟踪,并在教控台复现操作;

(8)教员与学员可以在仿真执行过程中进行交互;

(9)可对飞行员的操作过程进行综合判定,设置评分标准,评分标准可修改。

### 1.3 仿真对象需求分析

确定了导航系统的仿真目标和仿真功能后,就可以对系统进行需求分析了。需求分析要做的工作就是对仿真模型进行分析与抽象<sup>[14]</sup>,得到系统的用例模型。对于用例模型,必须要明确模型中的参与者及用例,这两项内容也就是需求分析的产物<sup>[15]</sup>。结合前面导航系统的功能分析,可以识别出该系统的用例及其参与者,在此基础上构建仿真系统的用例模型。

(1)系统的参与者识别。

对于系统的参与者进行辨识是获取用例的前提。参与者这个概念的范围比较广,不仅仅指现实中的人,也可以指参与到系统工作中的设备,更可以抽象为一个系统。通常情况下,一个系统内往往有多个参与者并存,只要是与系统进行交互工作的,都可以定义为该系统的参与者。

飞行仿真系统中的导航设备主要是仿真实际导航系统的工作过程,它的直接操作者是飞行员,同时教员也可以对该部分进行操作,因此飞行员和教员都是该部分的参与者;一些外部设备要响应和支持导航系统的工作,如动感系统、视景系统等,故参与者也应该包含这些设备;在系统的工作过程中,需要进行数据的查询、存储和输入输出等操作,因而还要增加数据库的支持,参与者还要包括后台数据库。通过上述分析可以得出导航系统的参与者应当有三类:一是现实中的操作人员,即系统用户类,包括飞行员和教员两种;二是设备类,包括相关的各种设备;三是后台数据库类,是与整个飞行仿真交互的系统,它包括地面导航台数据库、飞机姿态数据库、用户数据库、仿真结果数据库和故障数据库等。

(2)导航系统用例。

用例是导航系统提供的功能块。是由参与者与系统直接的交互过程,辨识出系统的用例如下:飞机状态设定与切换、导航设备仿真、导航管理、故障管理和数

数据库。

### (3)识别关系。

“飞机状态设定与切换”、“导航管理”、“导航设备仿真”和“故障管理”这四个用例都是由“教员”执行或触发的;“导航设备仿真”是由“飞行员”执行或触发的;“飞机状态设定与切换”、“导航设备仿真”、“导航管理”和“故障管理”需要同“数据库”进行数据交互;“导航管理”是用来掌控“导航仿真设备操作”的过程,记录操作数据和运行过程;“导航设备仿真”是用来仿真现实中导航设备的工作过程,在该仿真过程中,需要同“数据库”进行交互,同时,仿真过程中的各项数据也要存入到“数据库”中去;“故障管理”同样需要依赖“数据库”提供数据,同时也具有对“数据库”进行更新操作的权利;“导航设备仿真”将仿真结果传给“外部设备”,必须与“外部设备”进行交互;ADF, DME, ILS 和 MLS 与“导航设备仿真”是泛化关系,前者是后者的一种。

### 1.4 导航系统的动静态描述

根据前面的分析,可以得到如图 1 所示的系统用例图,该用例图描述了系统的逻辑关系。

在建立了系统静态逻辑关系的基础上,接下来需要分析和设计导航系统的动态过程,建立相应的动态模型。动态模型描述了仿真系统随时间变化的行为,这些行为是从静态逻辑关系中抽取的系统的瞬间值的变化来描述的。

首先要建立导航系统的仿真流程(见图 2)。

导航系统的仿真流程描述了系统的仿真过程,系统的动态过程必须由此产生。对导航系统的时序过程描述如下(见图 3)。

向,由于篇幅限制,仅以导航系统中的 ILS 模块为例介绍动态信息交互过程的描述(见图 4)。

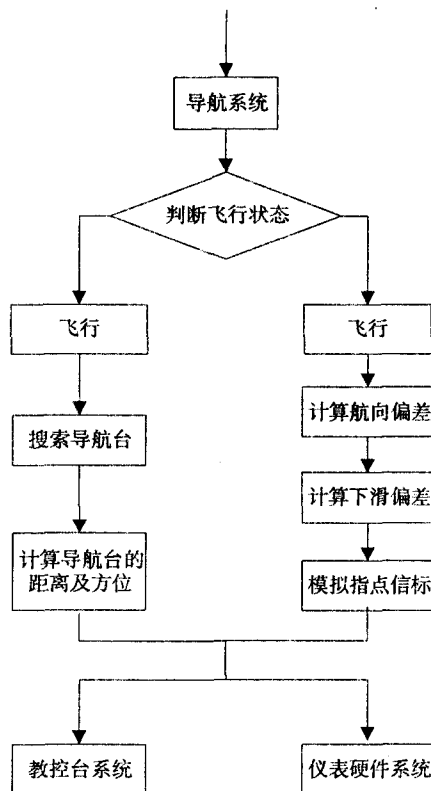


图 2 导航系统仿真流程图

## 2 典型模块设计

下面是 ADF(自动定向仪)的面向对象仿真过程,其他导航模块的仿真方法与之相类似。ADF 的功能是用来接收 NDB 信号,其指针就指向 NDB 台站所在

的方向。如果飞机径直朝台站飞去,指针就指着前方,当飞机飞过台站并继续往前飞时,指针会转过 180 度指向后方。飞机飞过 NDB 正上方的时候,ADF 会出现盲区现象。盲区现象是 ADF 的典型功能,仿真的时候必须要考虑。

ADF 模块主要是用来仿真实际的 ADF 工作过程,并模拟实际使用过程中遇到的故障等特殊情

况,以使飞行员能够熟练掌握该设备的操作方法和意外情况处置过程。该模块的需求分析如下:

(1)模拟 ADF 仪表、ADF 面板的显示;

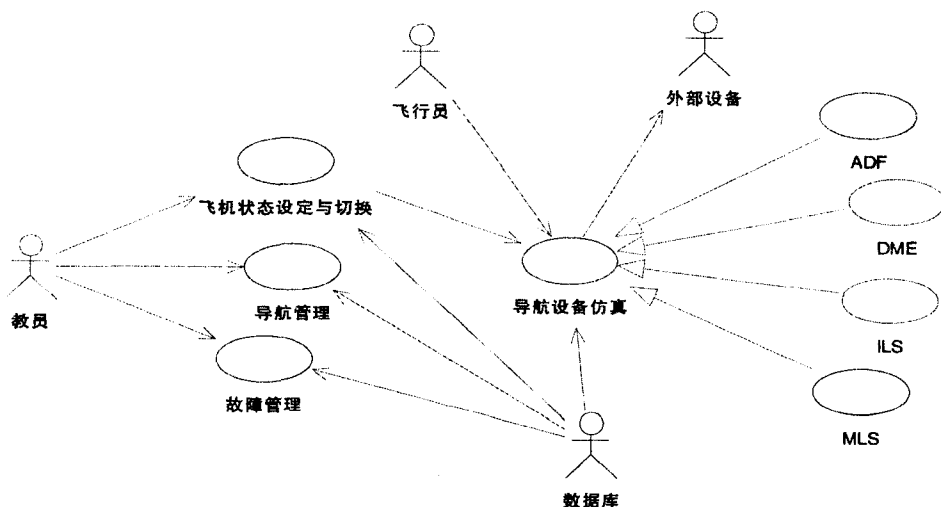


图 1 导航系统用例图

确定了导航系统的仿真时序过程后,该系统的动态模型还不够完整,还需要对系统的动态信息交互过程进行描述,这个信息交互过程反映了消息的传输流

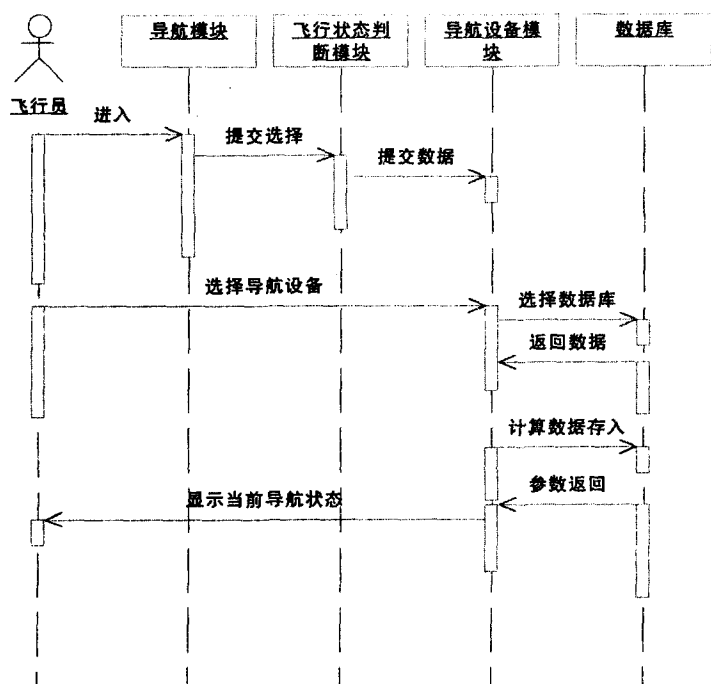


图3 导航系统的时序过程

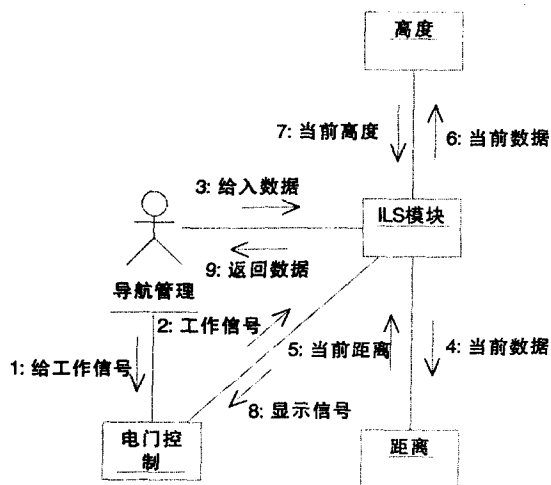


图4 ILS模块工作协作图

(2)模拟 ADF 指示灯、电铃、按钮的操作,相应响应正确;

(3)模拟 ADF 自检功能,即按下自检按钮后,表针能够转动,松开按钮时,表针复位;

(4)模拟 ADF 盲区现象,即 ADF 表在原有指针的基础上做 $\pm 60^\circ$ 摆动;

(5)模拟典型的故障现象,即指针不受控制,始终停在某一位置不动。

经过分析可以看出,ADF 模块的参与者首先是系统用户——飞行员和教员,与它进行交互的系统是相应的硬件设备,即外部设备,除此之外,ADF 响应的数据预先存放在后台数据库中,所以数据库也是参与者。

参与者是:飞行员、教员、外部设备和数据库。

由上面的功能性需求,可以得出 ADF 模块的用例有:

(1)ADF 初态:提供设置 ADF 初始状态的功能;

(2)ADF 功能:包括自检、导航和盲区三个用例,提供了 ADF 的基本功能;

(3)设置 ADF 故障:提供了设置 ADF 故障的功能;

(4)排除 ADF 故障:提供了排除 ADF 故障的功能。

参与者“教员”可以执行“设置初态”、“设置故障”和“排除故障”的操作;“飞行员”可以执行“ADF 功能”和“排除故障”的操作;“ADF 功能”包含有三个子用例,即“自检”、“导航”和“盲区”,三个子用例之间是并列关系,并不发生交互。该模块的用例图关系见图 5。

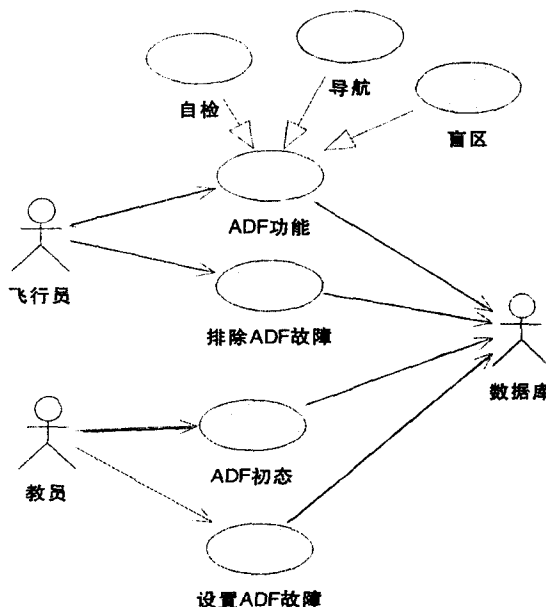


图5 ADF模块用例图

采用事件流的方式对 ADF 模块的用例进行分析,可以得到该模块的工作过程(见图 6)。

### 3 结束语

文中利用面向对象技术,设计了飞行仿真系统的导航系统部分,给出了系统的需求分析,确定了导航模块的参与者和用例,并确定了他们之间的关系,建立了完整的系统对象模型。

通过工程实践可以知道,采用面向对象技术进行仿真设计有效地提高了系统的开发效率,减少了建模的工作量,同时增强了系统升级的灵活性和可重用性。如何进一步细化模型,拓展飞行仿真领域的面向对象建模范围是后续工作的主要内容。

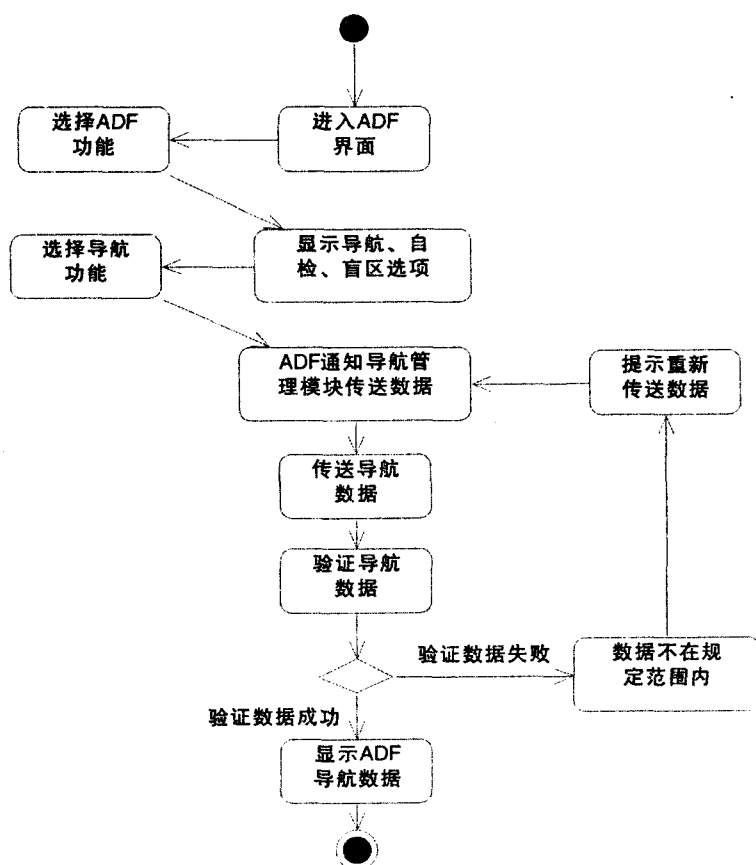


图6 ADF模块导航过程的活动图

## 参考文献:

- [1] 张红亮, 龚光红, 王江云. 飞行仿真器导航系统建模与仿真[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(8): 130-133.
- [2] Allerton D J. The case for flight simulation in general aviation[J]. Aeronautical Journal, 2002, 106(1065): 607-612.
- [3] Wong V. Flight Simulation - an application of virtual reality [EB/OL]. 2004-03-05. <http://www.students.doc.ic.ac.uk>.
- [4] Salah B B, Benrejeby M. A Digital Control for Improving the Position Resolution of Permanent Magnet Stepping Motors[J]. Systems Analysis Modeling Simulation, 2003, 43(2): 189-200.
- [5] Lei Xiaoyong. Virtual cockpit simulation system [C] // Proceedings of Asian Simulation Conference: System Simulation and Scientific Computing. Shanghai: [s.n.], 2002: 686-690.
- [6] 罗亚中, 唐国今, 张海联. 面向对象的飞行器仿真综述[J]. 系统仿真学报, 2004, 16(8): 1615-1620.
- [7] 马沪东, 王明海. 软件工程方法在飞行仿真系统开发中的应用[J]. 上海航天, 2002(4): 22-25.
- [8] Williams, Guy, Weeks, et al. Modeling and Simulation Technologies: Reconfigurable Flight Simulators in Modeling and Simulation[M]. USA: AIAA-PAPER, 2004.
- [9] 陈宏宇. 基于面向对象的空间飞行器仿真系统设计[J]. 宇航计测技术, 2005, 25(8): 41-45.
- [10] Sait N Y, Lbrahim O, Chinqiz H. Error analysis and motion determination of a flight simulator[J]. Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 2004(2): 185-192.
- [11] 黄金明, 王立文, 郑淑涛. 飞行综合导航系统建模与仿真[J]. 系统仿真学报, 2006, 18(8): 664-668.
- [12] 李嘉林, 董杰. 面向对象的战斗机飞行仿真建模初探[J]. 系统仿真学报, 2003, 15(5): 634-636.
- [13] 盛赛斌, 王彬如. 面向对象系统仿真方法及其应用[J]. 系统仿真学报, 2005, 17(2): 290-292.
- [14] Keppel A, Wormer J. Making UML Activity Diagrams Object Oriented[J]. Technology of Object-Oriented Languages and Systems, 2005, 6(8): 288-289.
- [15] 刘通, 谢剑斌, 丁文霞, 等. 飞行仿真实验中飞机飞行参数与坐标系变换[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(10): 191-193.
- [9] 郭思媚. 数据复制在管理信息系统中的应用[J]. 计算机辅助工程, 2000(3): 76-77.
- [10] 何杨平, 韩海雯, 沈波. 一种基于数据库复制技术的分布式联机方案[J]. 微机发展(现更名: 计算机技术与发展), 2004, 14(7): 33-34.
- [11] 李娜. SQL Server 数据复制方法研究[J]. 电脑知识与技术, 2006(12): 11-12.
- [12] 张湘辉. 分布式数据库数据复制技术研究与应用[D]. 武汉: 武汉大学, 2004.

(上接第210页)

津: 天津大学, 2003.

- [5] 刘智勇. SQL Server 2005 宝典[M]. 北京: 电子工业出版社, 2007.
- [6] 潘群华, 吴秋云, 陈宏盛. 分布式数据库系统中数据一致性维护方法[J]. 计算机工程, 2002, 28: 255-257.
- [7] Lee Youngkon, Moon Songchun. Cost-optimal dynamic data replication for distributed database systems[J]. Microprocessing and Microprogramming, 1994, 40: 747-748.
- [8] Gretton-Watson P. Distributed database development[J]. Computer Communications, 1988(11): 275-277.