

摘要

时间表问题(TTP)是一个应用广泛的、典型的组合优化和不确定性调度问题，并且已经被证明是NP完全问题，课程表的编排问题是TTP的一种典型实例。排课是教学管理中最基本、最重要、同时也是最复杂的管理工作之一，其实质就是为学校所设置的课程安排一组适当的教学时间与空间，从而使整个教学能够有计划有秩序地进行。动态规划是解决多阶段决策过程最优化问题的一种方法，它把比较复杂的问题划分为若干个阶段，通过逐段求解，最终求得全局最优解。

本文立足农林职业技术学院的实际情况，运用多阶段决策技术和动态规划技术对排课问题进行了分解，在分析现有软件系统算法的基础上，提出了一种新的多阶段自动排课算法 MACA (Multistage Auto-arranging Course Algorithm)，并在此基础上建立了一个通用的排课系统，能有效的满足各种排课需求。

2005年1月，该系统在农林职业技术学院投入运行，至今为止，运行效果良好。2005年7月，系统通过软件著作权申请。2006年初，在该系统基础上申请通过了上海市教委项目“通用多学制型-排课考试费用计算链应用系统研究”。

本论文主要完成了以下工作：

- (1) 详细分析了课表编排问题，分析了课表编排过程中涉及的因素及各种约束条件；
- (2) 根据数据库系统设计理论，讨论了排课系统设计过程，包括数据库的概念模型设计、逻辑设计、物理设计及其实施；
- (3) 详细分析了排课中各种冲突，并对每种冲突采取不同的冲突稽核方法；
- (4) 设计了教师分配算法：教师等概率分配算法 EPDA 和首次适应分配算法 FMDA，并分析比较了这两种方法的优缺点，最后提出了将这两种分配算法结合起来的优化算法——等概率首次适应分配算法 EPFMDA；
- (5) 设计了场地最佳适应分配算法 OADA，把场地按类型和大小进行分配，实现了资源的既充分又合理的利用；
- (6) 引入三维时间片划分方法，在此基础上分析了排课问题的可行解和近似最优解，并设计了时间片分配算法 TSDA，采用了加权分组匹配思想。
- (7) 立足农林职业技术学院的实际情况，实现了功能强大的排课系统，不仅可以实现手动排课和自动排课两大基本功能，还可以打印各种报表。

关键字：TTP，MACA，等概率分配，首次适应分配，最佳适应分配，排课系统

Abstract

Timetable Problem (TTP) is a typical combination optimization problem and uncertain management problem, which is applied widely. TTP has been proved a NP-completion problem, and the course arrangement is a typical instance of TTP. Course arrangement is one of the basest, the most important and the most complicated tasks of college, of which the essential is to distribute time and space to courses to make the work in order according to the teaching plan. Dynamic Programming is one of methods to the Multistage Decision-making Problem. It partitions the complex problem into several phases, and gets the whole solution by resolving each phase of the problem.

In this paper, we applied the technology of Multistage Decision-making and Dynamic Programming, analyzed many algorithms of recent software systems, proposed a new algorithm, MACA (Multistage Auto-arranging Course Algorithm), and built a general Course Arrangement System, which can realize all kinds of requirements.

From January of 2005, the system has been put into use in Shanghai Vocational and Technical College of Agriculture and Forestry, and the performance is good, so far. In July of 2005, the system passed the application of the Software Copyright. At the beginning of 2006, a new project based on this system, Study of a General System based on Course Arrangement & Examination Arrangement & Expenses Calculation, was applied and approved by the Shanghai Municipal Education Commission.

The main work of this paper:

- (1) Analyzed the main factors and all kinds of constraints of course arrangement in detail.
- (2) Discussed the design process of Course Arrangement System using the Design Theory of Database System, including the concept design, the logical design, the physical design and the implementation.
- (3) Analyzed all collisions in the course arrangement process, and proposed different solutions.
- (4) Designed algorithms of teacher distribution: Distribute Algorithm of Equal Probability (EPDA) and Distribute Algorithm of First Matching (FMDA). Compared the advantage and disadvantage of the two algorithms, proposed an optimization of

- teacher distribute algorithm, Distribute Algorithm of First Matching based on Equal Probability (EPFMDA) .
- (5) Designed the Optimal Adaptation Distribution Algorithm of place (OADA) , distributed places based on their type and capacity, which can utilize places fully and reasonably.
- (6) Introduced a three-dimensional time-slice method, and analyzed the Feasible Solution (FS) and the Near Excellent Solution (NES) . Designed the Distribute Algorithm of Time-Slice (TSDA) using the idea of weighed group matching.
- (7) Built a general Course Arrangement System based the practice of Shanghai Vocational and Technical College of Agriculture and Forestry, which has two main functions: arranging course by hand and automatically, it also can export all kinds of papers.

Key words: Timetable Problem, Multistage Auto-arranging Course Algorithm, the distribution of equal probability, the distribute of first matching, the distribution of optimal Adaptation, Course Arrangement System

图表索引

图 2.1 空课程表.....	8
图 3.1 数据库逻辑结构设计过程.....	16
图 4.1 DFD 的符号表示.....	21
图 4.2 排课系统顶层 DFD 图.....	22
图 4.3 制订专业教学计划的细化 DFD 图.....	22
图 4.4 手动排课的细化 DFD 图.....	23
图 4.5 ER 模型的符号表示.....	25
图 4.6 学校行政层次 ER 模型.....	25
图 4.7 学校行政层次 ER 模型实例.....	26
图 4.8 排课系统 ER 模型.....	26
图 5.1 手动排课可视化界面.....	30
图 5.2 鼠标拖放冲突稽核过程.....	32
图 5.3 删除排课稽核过程.....	33
图 5.4 与空白时间片换课冲突稽核过程.....	34
图 5.5 与非空白时间片换课冲突稽核过程.....	35
图 5.6 更换教师冲突稽核过程.....	36
图 5.7 更换场地冲突稽核过程.....	37
图 5.8 调课示例.....	38
图 5.9 调课流程.....	39
图 6.1 多阶段排课过程.....	40
图 6.2 教学班级形成过程.....	42
图 6.3 教师和课程之间的关系.....	42
图 6.4 教师等概率分配算法.....	43
图 6.5 教师首次适应分配算法.....	44
图 6.6 等概率首次适应分配算法.....	45
图 6.7 场地最佳适应分配算法.....	47
图 6.8 三维向量图.....	48
图 6.9 时间片分配算法.....	53
图 6.10 基于课程的分配思想.....	54
图 6.11 基于班级的分配思想.....	55
图 7.1 系统功能模块图.....	60

第一章 绪论

时间表问题 TTP (TimeTable Problems) 是一个应用广泛的、典型的组合优化和不确定性调度问题，并且已经被证明是 NP 完全问题^[1]，不存在多项式复杂性的解法。Cooper 等人在^[1]中以五种不同的方式证明了时间表问题是 NP-完全类问题。

课程表编排问题是一个非常难的组合优化问题，是 TTP 的一种典型实例，在研究领域中，它常常是 TTP 的代名词，代表了这样的一类问题。所谓课程表问题，是指用一定方法，排出满足一定条件的课程表，而这些条件因具体学校各自要求的不同而不同，特别是大学的课程表要求与中小学的要求大不相同。

1. 1 课程表编排问题及其研究现状

课程表的编排问题在教务工作中占有重要地位。在每个新学期开始之前，学校根据教学计划，以及教师、学生、教室、设备等情况，编排一个教学活动时间安排表（俗称课程表），以便有秩序地来组织全校的教学活动。

课程表的编排问题是 TTP 的一种典型实例，其难度在于：它是一个好坏标准很难统一的问题，对于同一个排课结果，有人说好，有人说不好，其质量标准很难规定和量化。因此从这种意义上说，求解课表编排问题的最优解是不可能的。在设计中我们把满足用户期望值的程度作为评价课程表优劣的标准。

1. 1. 1 国外研究状况

从上世纪 50 年代末开始，国外就有人着手研究用计算机来解决课表问题。在 1975 年以前的一段时间里，人们主要从构造算法模型入手，研究其解决方法，目的是能找到一个解决问题的有效算法。1962 年，Gotlieb 提出了一个构造课程表的数学模型^[2]，接着人们对这个模型算法解的存在性等问题作了许多探索。1976 年，Even 等人证明了课表问题是一个 NP 完全类问题^[3]。对于大多数这类问题，迄今为止还没有找到在多项式步骤内解决的有效算法。因此，人们寻求有效算法的探索告一段落，而将更多精力转到如何借助计算机这一现代化工具来解决实际课程表的编排问题。

进入 90 年代以后，国外对课表问题的研究仍然十分活跃。如比较有代表性的印度 Vastapur 大学管理学院的Arabinda Tripathy^[4]、加拿大Montreal 大学的Jean Aubin 和 Jacques Ferland^[5]等。

1. 1. 2 国内研究状况

国内对课表问题的研究开始于80年代初期, 所用方法从模拟手工排课到运用人工智能构建专家系统或决策支持系统都有。在国内, 自1984年清华大学发表了实验性研究成果起, 相继多个院校都开展了此项研究工作。具有代表性的有大连理工大学的《教学调度软件》、清华大学的《UTPS自动排课系统》, 南京工学院的《UTSS排课系统》、西北工业大学的《西工大科教排课系统》、北京《科利华排课系统》等。

1. 1. 3 主要算法概述

目前, 解决课表问题的方法有以下几类:

(1) 启发式算法

启发式算法, 如禁忌搜索 (Tabu Search) 算法^[6, 7, 8, 9]、模拟类似自然界金属退火过程的模拟退火算法^[10-13]、类似于自然界种群遗传的遗传算法^[14, 15, 16-22]等等。

Tabu Search (也称列表寻优法), 可以看作是对局部搜索算法的改进, 具有较强的局部搜索能力。在这种技术中, 首先按照随机方法产生一个初始可行解作为当前解, 然后搜索当前解邻域中的所有可行解, 取其最好的可行解作为新的当前解。为了避免陷入局部解, 这种优化方法允许一定的上山操作 (会使解的质量变差)。另外, 为了避免搜索路径的往返重复, Tabu Search 使用列表的形式记录搜索路径的历史信息, 这在一定程度上可使搜索过程避开局部极值点, 开辟新的搜索区域。这一优化方法的主要问题是列表的大小不易确定^[8]。

戴春达^[9]等人在 Tabu Search 算法的基础上, 改进得到了模拟记忆搜索算法。

模拟退火法 (Simulated Annealing) 是 Kirkpatrick 等人于 1983 年首先提出的^[10], 它是人们从自然界固体退火过程中得到启发并从中抽象出来的一种随机优化算法。模拟退火法用于求解优化问题的出发点是基于物理中固体物质的退火过程与一般优化问题间的相似性。在对固体物质进行退火处理时, 常先将它加温使其粒子可自由运动, 以后随着温度的逐渐下降, 粒子逐渐形成低能态晶格。若在凝结点附近的温度下降速率足够慢, 则固体物质定会形成最低能量的基态, 优化问题也存在类似过程。模拟退火法被用来解决许多实际应用中的优化问题, 取得了不错的效果, 但用其解决排课问题, 现在还处在模型试验阶段, 还有许多问题要解决。

李增智^[13]等人提出了一种基于概率型启发式算法 (HA) 的混合型模拟退火算法, 通过

概率型启发式算法得到了模拟退火的初始解，然后用模拟退火方法对初始解进一步优化。

遗传算法^[14, 15, 16-22]是一种借鉴生物界自然选择和进化机制发展起来的高度并行、随机、自适应的随机搜索算法，是一种非常有效的解决 NP 完全的组合优化问题的方法。遗传算法使用群体搜索技术，尤其适用于处理传统搜索方法难以解决的复杂的和非线性的问题。经过近 40 年的发展，遗传算法在理论研究与实际应用中取得了巨大的成功，但相对其鲜明的生物基础，其数学基础还是相对不完善的。

陈本庆^[16]等人针对基本遗传算法不以概率 1 收敛于最优解的问题，提出了一些改进方法并对其收敛性进行了证明。

杨宇^[17]等人对遗传算法做了多个方面的改进优化，得到了一种排课算法，该算法能很好的避免遗传算法出现未成熟收敛等一系列问题。另外，还针对“甩课”问题，设置了三个子算法，分别通过计算机资源优化度和回溯调整方法来避免和解决。

张春梅^[20]等人把排课目标分为优化时间和空间两类，把课程也分为两类，采用遗传算法思想，对两类课程分别给出染色体编码和适应度函数，并采用了自适应的杂交和变异概率。

业宁^[21]等人利用遗传算法建立数据模型，定义一个四维的染色体编码方式和包含多种因素的适应度函数。通过切片算子，生成指定要求的基因型个体，用交叉算子和变异算子对基因型个体进行运算，再利用选择算子选择适应度函数值较高的染色体编码方案，最后对优化的染色体按指定方向切片，生成教师课表、学生课表和教室课表。

（2）优先级算法^[23]

基于优先级的自动排课算法利用了运筹学中分层规划的思想，把求解问题在数学上看作为一个约束条件的组合规划问题，采用了化整为零的思想及提出了优先级的概念，有效地抽象了实际排课情况，缩小了求解问题的空间。杨怡^[23]等人根据北京工商大学人工排课的要求，提出了基于优先级的自动排课算法。

（3）应用专家系统

专家系统作为人工智能领域最活跃的分支，受到普遍的重视。基于专家系统的求解算法^[24-27]，将专家系统知识引入排课问题的求解中，有效组织排课过程中的知识，使各种排课逻辑从程序中解放出来，能够便于各种排课经验的累积，使排课结果更加符合实际情况。王晓昕^[25]、胡小兵^[26]等人进一步扩展了专家系统的适用范围，采用模糊专家系统技术，在探讨模糊知识主要表达技术及各自特点基础上，选用产生式规则表达方法对

排课知识的具体表达进行了设计，着重阐述了排课系统推理机制，提出了规则驱动与验证调整相结合的推理方法。

（4）应用人工智能原理

智能规划^[28-31]是人工智能研究领域近年来发展起来的一个热门分支。

丁德路^[28]等人运用智能规划技术，提出了基于智能规划方法的时间表问题解决方案 PlanTTP (Plan_based TTP)。增强学习算法是一种机器学习的框架，其智能体通过一系列的活动影响其环境，并收到活动的回报，智能体通过状态映射到动作来选择能获得最大回报的动作。

郭方铭^[29]等人结合智能学习算法的 Q 学习算法，设计出了课表编排问题的较为实用的模型。并通过对该模型的分析，详细讨论了增强学习算法用于课表编排从理论、实现到实践的每一个环节。

（5）分组优化决策算法

分组优化决策算法^[32-35]是模拟“人工”排课表的一种方法，优化决策的原则是先难后易。李爽^[32]等人根据高校排课中所涉及的诸多因素，提出了一种基于分组优化决策的算法。

（6）作为约束满足问题处理

约束满足方法^[36]是把排课问题当作约束满足问题。对这类约束满足问题已有多种解决方法，如图着色。在图着色的示例中计算时间相当长，一旦指定的值失败就需做大量的反跟踪，因为没有办法避开不可行解。

（7）基于搜索的算法^[37-42]

局部搜索算法是一种比较通用的优化算法，可以对特定问题在可行的时间内求得合理的优化解。但是传统的局部搜索算法在优化过程中容易陷入局部最优。颜鹤^[38]等人在传统局部搜索算法里引入了多领域搜索的思想，避免了局部最优，也极大地提高了解空间里的搜索能力。

回溯是一种优选搜索法。它按选优条件向前搜索，以达到目标，但当搜索到某一步时，发现原先的选择并不优或达不到目标，就退回一步重新选择。吴志斌^[39]、昌玉剑^[40]等人在排课算法中运用了回溯的思想，大大降低了排课过程中死锁的发生。

分支定界法，是将问题采用原始的枚举法进行求解，然后对一个庞大的树进行搜索。在枚举的过程中，将产生大量的不可行的分支，对这些不可行的分支采用分支定界法来剪支。定界是采用一种判别原则，定义一种抽象的界，当超过界时，就把它剪掉。吴金

荣^[41,42]等人把 NP-难的课程表问题采用分支定界的方法进行求解,提出了一种带约束有教案的中学排课程表问题的分支定界算法。

（8）数据挖掘相关算法

魏静波^[43]等人针对数据挖掘中的关联规则挖掘算法——Apriori 算法,提出了一种关联规则算法 Apriori 2 算法。魏峻^[44]等人运用数据挖掘中数据集市理论,通过引入粗糙集理论和贪心算法,完成了排课系统的分析、设计与实现。重点讨论了建立排课模型、组建面向排课问题的数据集市、设计算法策略以及应用软件的开发。

1. 2 研究课程表编排问题的意义

研究课表编排问题的解决方案具有重要的实践应用价值和理论研究意义。

一方面它在教务工作中占有重要地位,各类学校根据教学计划的要求,在每个新学期开始之前,必须根据本校课程设置以及教师、学生、教室、设备等具体情况,编排一个教学活动时间安排表(俗称课程表),以便有秩序地来组织全校的教学活动。

另一方面,由于它是和其它的时间表问题同属于一类问题,并且 1976 年 Even^[3]等人证明了课表问题属于 NP 完全类,因此课表编排问题的解决可以有力地推动其它具有实践意义的时间表问题解决,具有广泛的应用前景:它可以应用于小学、中学以及大学等各类学校的课程表和各类考试的时间安排,各类大型的会议、比赛、晚会,铁路列车时刻表等,也可以应用于与时间相关的装配序列规划 ASP (Assembly Sequence Planner) 中等。

1. 3 本课题研究背景

农林职业技术学院的办学模式是在科教兴市的指导下产生的新一轮办学模式(有中专、高中、高职、高职春季班、2+2(2 年中专, 2 年高职))。特别是最近几年,学校规模发展很快,班级越来越多,而硬件设施增长相对较少。如何运用现有资源为教学服务,使教学管理随着学校规模的扩大更具规范化,现代化,是高层管理人员最关心的问题。

农校在过去的几年中,曾先后买过两套现成的包含排课的软件,但由于以下原因而没有成功。

- (1) 购买的系统大而全,排课数据缺乏独立操作性,许多数据要由其他部门配合输入;
- (2) 网络经常发生故障,调试不顺利。

这就要求建立一个既切合农校实际的办学模式，又具有一定的通用性、可以进行扩展的排课系统软件。

1. 4 计算机排课的目的和意义

在我国现行的教育体制下，学校大体上分为三类：普通中小学、普通高校、中等专业学校和职业学校等。不同体制的学校对课程编排有着不同的要求，课程表问题具有很大的灵活性。但传统的课程表编排是由人工来完成的。教务工作人员在长期的工作实践中摸索出了一些既行之有效，又切合实际的手工编排方法。

随着教学规模的扩大，排课涉及的因素越来越多，问题越来越复杂，使得这项工作耗费了大量的人力，总的来说人工排课存在如下困难：

- (1) 工作量大，耗费较多的时间和人力；
- (2) 课程、教师、学生及课时等数据关系繁杂，人工管理效率低；
- (3) 涉及因素多，要做到考虑全面、没任何冲突很困难；
- (4) 细小数据的调整，往往牵涉很广，增加很多工作量；
- (5) 课表填写、数据汇总等简单重复性工作量很大。

因此，课程表编排问题一直被人们认为是最困难的作业调度问题之一。随着计算机的应用从科学计算、实时控制逐渐扩展到非数值处理的各个领域，计算机系统在办公自动化的应用日益受到各行各业的极大关注。计算机的应用为人们提供了现代化的工具和手段，应用计算机技术进行自动排课，可以大大提高排课效率，合理分配有限的教室和教师资源，尽可能减少排课过程中的人为因素的干扰，从而使得课程安排更加合理。

1. 5 章节安排

本文章节安排如下：

第一章 绪论，概述论文的研究意义、背景、国内外发展现状及章节安排。

第二章 排课问题概述，具体描述了排课问题中涉及到的因素以及各种约束条件，并把约束条件根据约束满足要求分为硬约束和软约束。

第三章 主要技术背景，简要介绍一下本论文中用到的一些技术，包括多阶段决策技术、动态规划技术、以及数据库技术和一些设计工具。

第四章 排课系统的分析与设计，根据数据库系统设计理论，简要介绍排课系统的设计过程。

第五章 排课稽核条件，重点讨论排课过程中可能出现的冲突以及冲突的稽核方法。

第六章 多阶段分组自动排课算法，重点讨论自动排课中涉及到的算法，包括教师等概率分配算法、首次适应算法及两种方法的结合；场地最佳适应算法和时间片的加权匹配算法，并重点讨论了三维时间片的划分方法，结合动态规划技术分析了排课问题的可行解和近似最优解。

第七章 排课系统的实施与测试，简要介绍排课系统的功能，以及测试。

第八章 总结与展望，简要概括了本论文所做的工作，以及将来需要进一步考虑的后续问题。

最后是参考文献，读硕期间研究成果和致谢等。

第二章 排课问题概述

就其实质而言，排课问题是一个有约束的、非线性的、模糊多目标优化的、难解的、时空组合的数学问题。即在满足各种已知的约束条件下，找到一组较优的时空组合，同时在具体实践上它受到教学组织形式、客观物质条件和求解目标等多种因素的相互影响，使这一问题在实际解决时呈现出受具体条件制约的特点。

当前大多数院校的排课是采用手工编排方法，它主要通过人的判断和协调来完成。手工编排工作往往开始于一个学期数月前，各部门的协调交互频繁，而且在实际安排过程中，涉及的校区可能有多个，教师数量成千，学生数目上万，教师跨院上课和班级交叉上课众多，而且在计划安排完毕之后，往往由于频繁的变动不得不及时调整。所有诸如此类因素，使得排课工作不堪重负，工作结果也不尽人意。

计算机排课，是把排课问题化为计算领域的、有约束的时空组合优化问题来进行求解。它对课表上的时间进行了分片处理，使分成的每个时间片和每个教室空间组合，构建了一个个大小不等的时空组合块，并根据求解规则，对每个开课计划进行时空组合块分配，而且分配的组合，必须在目标空间中表现出良好的人为满意度。这些人为满意度往往有多个，而且是模糊的。

2. 1 课表编排中的基本问题

2. 1. 1 课程表结构

在我们的排课系统中，把“周”划分成若干个以“一课时”为单位的时间片的集合，设每天上课的节数为M，每周的天数为N，这样就形成了一个M*N的周时间表矩阵。取M=12，N=7，时间表如图2.1所示：

	星期一	星期二	星期三	星期四	星期五	星期六	星期日
1	■	■	■	■	■	■	■
2	■	■	■	■	■	■	■
3	■	■	■	■	■	■	■
4	■	■	■	■	■	■	■
5	■	■	■	■	■	■	■
6	■	■	■	■	■	■	■
7	■	■	■	■	■	■	■
8	■	■	■	■	■	■	■
9	■	■	■	■	■	■	■
10	■	■	■	■	■	■	■
11	■	■	■	■	■	■	■
12	■	■	■	■	■	■	■

图2.1 空课程表

这样的课表划分可以满足不同体制学校的不同上课要求，可以单节课安排，也可以连接几节课一起安排，使课表在编排上具有很大的灵活性。

每个行政班级都有对应的课程表，每张课表的眉头显示的是行政班级的名称以及学年度学期信息。图2.1表示一周七天，从星期一到星期日；每天十二节课，其中上午四节，下午至晚上八节，中间由分隔线分开，也可以根据具体情况作适当调整。“X”表示该单元格还未被占用。

2. 1. 2 基本排课术语

排课过程是一个非常复杂的过程，在课表编排过程中将会遇到教务管理中各种常用的名词术语，不同体制的学校可能不相同，现统一加以说明。

定义2.1 课程：待排课程的集合，也就是教学计划中所有课程的集合。

定义2.2 班级：待排课的班级集合，一般特指行政班级，有时也称行政班级。

定义2.3 教师：所有参加排课的教师的集合。

定义2.4 场地：所有参加排课的教室、实验室、体育场地等等可供教学使用的场所集合。

定义2.5 学时：教学活动所延续的课时数。

定义2.6 时间片：把课程表根据单课时的时间长度，划分为长度相等的若干个时间段，每个时间段称为一个时间片。

定义2.7 行政班级：简称班级，即最初注册入学的班级单元。

定义2.8 教学班级：实际参与排课的单元，即独立授课的一个单元。它可能是几个行政班级的合并，或者某个行政班级的一部分，也可能是几个行政班级的交叉组合。

每个教学班级都有一个唯一的序列号，称为教学班级号，通过教学班级号可以确定和该教学班级相关的教师信息、课程信息、场地信息等等。

定义2.9 教学班级号：一个自增长序列，表示本学年度、本学期以课程和教师组织教学的一个序列，它是排课中作为稽核条件的唯一标志。

定义2.10 合班上课：出于资源分配的需要，多个开设同一门课程的行政班级可能合在一起进行授课。合班上课的行政班级对应一个教学班级号。

定义2.11 拆班上课：一个行政班级根据一定的拆分规则，拆成几个教学班级进行授课。拆班的行政班级对应于同一门课程有多个教学班级号。

定义2.12 拆班后再合班上课：多个行政班级中的某个或某些行政班级按某种规则

抽出部分同学，然后再交叉组合进行授课，组合后的每个教学班级对应一个教学班级号。

2. 1. 3 课表编排

课表编排的基本目标就是在图2.1中的“X”中填入教学计划中的课程，为每个行政班级生成学期课程表，并且使得不产生教师、场地、班级等的冲突。

课表编排的任务是以“教师在某时某地担任某班级某课程”的基本形式下达的。课程的设置是由教学计划规定的，教学活动的组织是根据学校的实际情况，把课程、班级、教师、场地以及时间作为教学活动组织的对象，通过优化组合，然后以课程表的形式直观的显示出来。

课表编排完成后，教学计划中规定的每个班级开设的每门课程都应和一个任课教师、一个上课场地以及一些时间片相联系，同时，不会出现任课老师、上课场地和上课时间的冲突，并且可以满足学校、教师和场地等的一些特殊要求。

2. 1. 4 课表调整

课表编排完毕后，应能根据实际需要进行局部的微调。比如某个教师对自己的课程安排又提出了新的要求；某门课程的上课场地另有他用，需要更换等等。

2. 2 基本排课要素

排课问题是一个多约束问题。在排课系统中主要涉及五类要素：课程要素、班级要素、教师要素、场地要素和时间要素。

2. 2. 1 课程要素

课程即教学计划中规定开设的课。课程除一些基本属性，如课程编号、课程名称外，还应该有一个课程类型属性，用以标明该课程是公共课程、必修课程或者选修课程等等。一般情况下，公共课程的优先级最高，即，排课时应先考虑公共课程的编排，再考虑其他课程的编排。

2. 2. 2 班级要素

班级又分为行政班级和教学班级（定义见2.1.2）。行政班级指招生时注册的班级，每个行政班级有一个编号和相应的行政班级名称。但在实际排课时，因为要考虑某些课

程需要合班上课，比如公共政治课可以几个行政班级合在一起授课；而有些课程需要拆班上课，比如体育课要求男女生分开上课；这样就使得真正上课的班级有可能并不是单独的行政班级，而是几个行政班级的组合或者一个行政班级的一部分。因此，这里引入了教学班级的概念，即，教学班级或者是几个行政班级的合并，或者是一个行政班级拆开的一部分，也有可能是几个行政班级拆分后的再组合。而教学班级才是真正参与排课的班级元素，每个教学班级都有一个唯一的编号和相应的教学班级名称。

2. 2. 3 教师要素

教师即有可能参与排课的所有教师的集合。排课时除了需要考虑教师所在的分校、部门、专业或教研室等信息外，还需要考虑教师的特殊需求，即教师本人对排课时间、地点等的特殊要求。例如：

- (1) 某某老师要求他的课不要安排在星期一。
- (2) 某某老师要求将她计算机一班的高等数学课安排在西部校区，并且在星期三上午1, 2节。

2. 2. 4 场地要素

场地即可以用于排课的所有的教室、实验室或体育场地的集合。场地除了容量等属性外，还应该有一个标识场地类型的属性，可能包括普通教室、多媒体教室等等。例如，101教室是一个非多媒体教室，那么某门需要多媒体教学的课程就不能排在该教室上课。任何场地还可能有其自身的特殊要求，例如，102教室要求星期五第二大节不能安排课。

2. 2. 5 时间要素

时间要素用于说明各个时间片是否安排上课。在安排时间片的过程中，要考虑三个方面的冲突：（1）同一个教师不能在同一个时间段上两门课；（2）同一个班级不能在同一个时间段上两门课；（3）同一个场地不能在同一个时间段安排两门课。

另外，时间片本身还需要满足一定的要求，可以分为一般性要求和特殊性要求。一般性要求对大部分学校普遍适用，主要有以下两条：

- (1) 星期六、星期日一般不上课。
- (2) 晚上一般不上课。

特殊性要求主要是各学校针对自身情况做出的规定，差异性较大。例如：某校规定

星期三下午不安排课，用作政治学习。

2. 3 排课约束条件及分类

根据约束条件被满足的不同情况，可以把约束分为两类^[30]：硬约束和软约束。硬约束，是指在排课过程中，必须要满足的约束，不存在任何取舍问题。相反，软约束是指可以被违反，应尽可能满足的约束。结合农校的实际情况，主要存在以下约束条件。

2. 3. 1 硬约束

- (1) 在同一时间同一学生不能上两门不同的课程；
- (2) 在同一时间同一教师不能给两门不同课程上课；
- (3) 在同一时间同一教室不能安排两门不同课程；
- (4) 教室必须足够大，能够容纳上课的学生；
- (5) 上课场地必须满足上课类型要求；

2. 3. 2 软约束

- (1) 一个班级上课时间安排在周内要尽量分布均匀；
- (2) 对于跨校区设置的课表在各个时间存在一定的偏好；
- (3) 尽量满足教师上课时间的期望；
- (4) 教师对时间安排在课表上的密度有一定的喜好；
- (5) 教师和班级接连两次上课地点尽量较近等等。

利用计算机来模拟手工排课工作，可以抽象问题中的各个要素，数学表达各种约束条件，并根据课表的组织形式和普遍存在的规律，缩减问题空间的搜索范围，以及有效的组织排课知识，使其在一定程度上呈现智能化。但由于其问题本身的求解规模过于庞大，各要素之间的关联层出不穷，以及人们对课表优劣评定的准则存在差异，使计算机在求解排课问题的过程中，面对难以穷尽的组合和多个模糊目标的优化，也表现得无能为力。

第三章 主要技术背景

3. 1 多阶段决策最优化问题与动态规划

3. 1. 1 多阶段决策最优化问题

在现实生活中，有一类活动过程，由于它们的特殊性，可将过程分成若干个互相联系的阶段，每一阶段都需要作出决策，从而使整个过程达到最好的活动效果。各个阶段的决策不能任意确定，它依赖于当前面临的状态，又影响以后的发展。当各个阶段决策确定后，就组成一个决策序列，从而也就确定了整个过程的一条活动路线。这种把一个问题看做是一个前后关联，具有链状结构的多阶段过程就称为多阶段决策过程，这种问题称为多阶段决策最优化问题^[46]。

多阶段决策问题，不论其本身是否与时间有关，由于分为阶段来依次解决，这便具有了明显的时序性。一些静态模型，只要人为地引进“时间”因素，分成时段，就可以将其转化为一个动态的多阶段决策问题。

3. 1. 2 最优化原理

1951年美国数学家 R. Bellman 等人，提出了解决一类多阶段问题的“最优化原理”(Principle of optimality)：“一个过程的最优决策具有这样的性质：即无论其初始状态和初始决策如何，其今后诸策略对以第一个决策所形成的状态作为初始状态的过程而言，必须构成最优策略”^[46]。简言之，一个最优策略的子策略，对于它的初态和终态而言也必是最优的。

这个“最优化原理”如果用数学化一点的语言来描述的话，就是：假设为了解决某一优化问题，需要依次作出 n 个决策 D_1, D_2, \dots, D_n ，如若这个决策序列是最优的，对于任何一个整数 k ， $1 < k < n$ ，不论前面 k 个决策是怎样的，以后的最优决策只取决于由前面决策所确定的当前状态，即以后的决策 $D_{k+1}, D_{k+2}, \dots, D_n$ 也是最优的^[46]。

最优化原理是动态规划的基础。任何一个问题，如果失去了这个最优化原理的支持，就不可能用动态规划方法计算。

3. 1. 3 动态规划概念

动态规划是解决多阶段决策最优化问题的一种方法。动态规划把比较复杂的问题划

分为若干个阶段，通过逐段求解，最终求得全局最优解。这种方法在一些较难解决的问题中显示出优越性，尤其是离散型问题用动态规划的方法去处理，比用线性规划或非线性规划方法有时更有效。

动态规划是运筹学的一个分支。与其说动态规划是一种算法，不如说是一种思维方法来得更贴切。因为动态规划没有固定的框架，即便是应用到同一道题上，也可以建立多种形式的求解算法。许多隐式图上的算法，例如求单源最短路径的 Dijkstra 算法、广度优先搜索算法，都渗透着动态规划的思想。还有许多数学问题，表面上看起来与动态规划风马牛不相及，但是其求解思想与动态规划是完全一致的^[46]。

因此，动态规划不像深度或广度优先那样可以提供一套模式，需要的时候，取来就可以使用；它必须对具体问题进行具体分析处理，需要丰富的想象力去建立模型，需要创造性的思想去求解。

3. 1. 4 动态规划的适用范围

准确地说，动态规划不是万能的，它只适于解决一定条件的最优策略问题。但是，这并没有削减动态规划的光辉，因为属于上面范围内问题极多，还有许多看似不是这个范围中的问题都可以转化成这类问题。

上面所说的“满足一定条件”主要指下面两点：

- (1) 状态必须满足最优化原理；
- (2) 状态必须满足无后效性。

所谓的无后效性是指：“过去的决策只能通过当前状态影响未来的发展，当前的状态是对以往决策的总结”^[47]。它说明动态规划适于解决当前决策和过去状态无关的问题。

3. 1. 5 动态规划的优缺点

动态规划的最大优势在于它具有极高的效率，另外还有其他的优势，例如：动态规划可以得出一系列解，算法清晰简便，程序易编、易调，等等。

(1) 优点：

1) 易于求得全局最优解。动态规划把复杂的问题分成若干个相互联系的阶段，每个阶段求解的问题相对简单，而通过逐段求解这一递推过程便可得到该问题的全局最优解；

2) 可以得到有价值的相关信息。

(2) 缺点:

- 1) 没有统一的标准模型可供采用,不同的实际问题,其动态规划模型也随之不同,因而,实际问题的动态规划模型的建立往往需要丰富的想象力和灵活的技巧;
- 2) 存在所谓的“维数障碍”,即当问题的变量个数(维数)太大时,受计算机存储器容量和计算速度的限制,常常无法解决。

3. 2 数据库设计理论

根据软件工程生命周期理论,数据库的应用设计分为以下几个步骤^[48]:

- (1) 用户需求分析;
- (2) 数据库的概念模型设计;
- (3) 数据库的逻辑设计、优化设计;
- (4) 数据库的物理设计;
- (5) 数据库实施,包括物理数据库的建立、试运行、评价;
- (6) 数据库的使用与维护。

3. 2. 1 用户需求分析

对用户需求进行调查、描述和分析是数据库设计过程的第一步,也是最基础的一步。用户需求调研常用的方法有跟班作业、开调查会、请专人介绍、询问、设计调查表请用户填写、查阅记录等。在调研过程中,不但应该仔细研究用户的业务需求,而且还要考察现有的系统。

了解用户需求后,还需要进一步描述和分析用户的需求。在众多的分析方法中,结构化分析 (Structured Analysis, SA) 方法是一种简单实用的方法。SA方法从最上层的系统组织机构入手,采用自顶向下、逐层分解的方式分析系统。主要使用数据流图 (DFD) 和数据字典 (DD) 两种分析工具。

3. 2. 2 数据库的概念模型设计

概念设计是数据库设计的核心环节。概念数据模型是对现实世界的抽象和模拟,是在用户需求描述与分析的基础上,以DFD和DD提供的信息作为输入,运用信息模型工具,设计人员发挥综合抽象能力,对目标进行描述,并以用户能理解的形式表达信息。

概念设计的方法很多,目前应用最广泛的是ER方法及其扩充版本 (EER)。ER方法

最早在70年代被提出。用ER方法设计得到的概念模型是实体-联系模型，或叫ER图。ER设计方法的实质，是将现实世界抽象为具有某种属性的实体，而实体间相互有联系。ER方法设计概念模型一般有两种方法：（1）集中模式设计法；（2）视图集成法。

3. 2. 3 数据库的逻辑设计、优化设计

逻辑设计在数据库概念设计的基础上进行。其主要任务，是将概念模型转换为数据库的逻辑模型，并与选用的DBMS相结合，产生具体的DBMS所支持数据模型的逻辑模式。

数据库逻辑设计过程^[48]，如图所示：

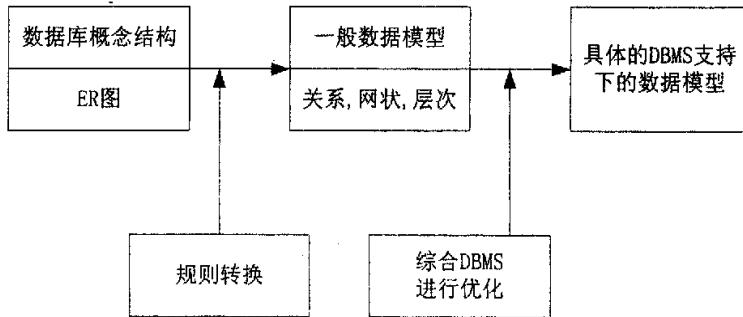


图3.1 数据库逻辑结构设计过程

ER图转换为关系模型，总的原则是：ER图中的实体和联系转换成关系，属性转换成关系的属性。

数据模式的优化，即以关系数据库设计理论为指导，对得到的关系模式进行规范化，逐一分析，确定它们分别是第几范式，并通过必要的分解来得到一组第三范式的关系。规范化的优点是消除异常、减少数据冗余、节省存储空间，相应的逻辑和物理的I/O次数减少，同时加快了增、删、改的速度。但是，对完全规范的数据库查询，通常需要更多的连接操作，而连接操作很费时间，从而影响查询的速度。因此，有时为了提高某些查询或应用的性能，而有意破坏规范化规则，这一过程叫逆规范化。逆规范化可以通过增加冗余属性、增加派生属性、重建关系和分割关系等方法实现。

3. 2. 4 数据库的物理设计

数据库的设计即数据的内容和组织方式，是系统开发实现的关键。在设计数据库的时候，要明确数据库要完成的任务和功能，针对这些功能建立模型，即模型化。而后，就需要考虑应当在数据库中存放哪些数据，将数据组织成表或关系，并为数据表建立索引和设置有效性规则。如果需要再创建必要的查询，这样就完成了数据库的设计。好的

数据库结构对保证系统的顺利运行有着重要的意义。

在排课系统数据库设计过程中，主要考虑以下问题：

- (1) 符合排课过程的需要。能正确反映教学管理的实际环境，包括排课过程所需的所有数据，并且支持排课过程的所有操作；
- (2) 有利于数据库系统的实现；
- (3) 具有良好的结构，易于维护，易于理解，效率较高；
- (4) 尽可能减少数据冗余；
- (5) 与其他系统有较好的兼容性。

3. 2. 5 数据库实施

在系统开发过程中，需要一个数据库管理系统(DBMS)来负责数据库的定义、建立、操作、管理和维护。其作用是把用户对数据的操作转换为对系统文件的存储操作，同时把对数据库的访问，从用户级带到概念级，再导向物理级，其职能就是有效地实现数据库三级之间的转换。对DBMS的选择主要考虑的问题有以下几个方面：

- (1) 数据库的定义与建立；
- (2) 数据库的操作；
- (3) 数据库的控制；
- (4) 数据库的维护；
- (5) 故障恢复。

3. 2. 6 数据库的使用与维护

系统的性能将直接关系到用户对软件的满意程度，一个好的系统应该有如下的良好性能。

(1) 安全可靠性

系统应准确、安全和可靠地运行，具备较强的抗误操作能力，保证数据一致性，确保排课的顺利进行。

(2) 操作灵活性

系统具有友好的人机界面，要求简单、明了、提示性强、操作简单。系统需要进行特别设计，以适合教学管理者使用。

(3) 通用性

在不同的教学环境和教学体制下，系统都能根据需要排出符合要求的课表。

3. 3 开发工具简介

3. 3. 1 PB 9. 0

2003年3月24日，在加州圣迭戈GARTNER展示会/ITxpo 2003上，Sybase公司展示了革命性的开发工具--PowerBuilder 9. 0，同时宣布3月底发行PowerBuilder® 9. 0。

PowerBuilder 9. 0^[49]中实现了对XML、JSP、.NET以及Web Services的支持，不仅可以满足企业级应用的需求，而且可以实现对手持设备的应用开发。PowerBuilder9. 0将使这个古老的产品焕发新生命力，使之成为具有高度集成性的新一代开发平台。

3. 3. 2 SQL Server 2000

SQL Server 2000是微软开发的大型关系型数据库系统，是一个可伸缩的、高性能的数据库管理系统，专为分布式客户机/服务器环境而设计，具有丰富的开发环境和高性能数据管理能力。SQL Server 2000沿袭了SQL Server 7.0的易操作性、易应用性。从系统的安装、数据库建立直到数据库维护都可以通过图形界面和向导程序完成。SQL Server 2000是企业进行大量数据存储、检索、更新的重要系统，它担负着企业内部重要数据的处理，这种操作对数据库的稳定性、效率要求都很高。随着SQL Server 2000不断的发展完善，逐渐在企业的数据处理应用中取得了非常重要的位置。SQL Server 2000同其他企业级数据库一样，具有数据库管理图形工具、数据库引擎、完备的帮助系统、数据导入导出、服务器网络使用工具、客户端使用工具等，还包括在IIS中配置SQL XML的支持。相比SQL Server 7.0，SQL Server 2000增加了很多新特性。

3. 3. 3 ASP

ASP，即Microsoft Active Server Pages的简称。ASP是一套微软开发的服务器端运行的脚本平台，ASP内含于IIS当中。

通过ASP可以结合HTML网页、ASP指令和ActiveX元件建立动态、交互且高效的WEB服务器应用程序。同时，ASP也支持VbScript和JavaScript等脚本语言，默认为VbScript。

ASP是经过服务器解析之后再向浏览器返回数据，所以有了ASP就不必担心客户的浏览器是否能运行你所编写的代码。因为所有的程序都将在服务器端执行，包括所有嵌在

普通HTML中的脚本程序。当程序执行完毕后，服务器仅将执行的结果返回给客户浏览器，这样也就减轻了客户端浏览器的负担，大大提高了交互的速度。

3. 4 系统体系结构

现有管理信息系统采用的体系结构，可以分为两种：C/S (Client/Server) 和B/S (Browser/Server) ^[48, 50]。

3. 4. 1 C/S 结构

基于C/S结构的数据库应用中，应用系统分成客户端和服务器两部分。

其工作过程为：客户端的机器执行应用程序，连接到后端的数据库服务器中，向服务器请求存取数据信息，而数据访问和事务处理由服务器完成。它实现了功能的分布，即部分处理任务交给了客户端，而数据集中在服务器端。这样可以保证数据的相对安全，并可以保证数据的同步。但是，因为企业的逻辑应用都编写在客户端的应用程序中，造成客户端非常臃肿，且当应用系统需求改变时，所有在客户端的应用程序都必须改变，使维护成本太高；另一方面，应用程序向处理服务器请求数据，并传到客户端进行处理，这需要占用大量的网络通信带宽，这样将加重网络通信负荷。

3. 4. 2 基于 B/S 的多层次数据库系统结构

它是基于 Internet/Intranet 的体系结构模型，由客户端、Web 服务器、应用服务器和数据库服务器组成。

此种结构，由客户端通过浏览器向 Web 服务器发出请求；涉及业务逻辑时，则由 Web 服务器送至应用服务器，再由应用服务器向数据库服务器发出数据访问请求，接收到数据库服务器的应答后，返回给 Web 服务器；由 Web 服务器以页面形式回送客户端。这样，客户端不直接和数据库服务器发生关系，保证了数据的安全性。

3. 4. 3 多层体系结构

在更复杂的多层次体系结构中，“瘦”客户与远程数据库服务器之间，可以加入更多的中间应用服务器，如加入一个中间安全服务器或中间转换服务器，用于对不同平台数据进行处理。其中，应用程序服务器作为中间层集中实现企业逻辑，协调多层之间的请求，并掌握数据集定义的全部细节，与远程数据库服务器进行通信。这样，客户端应用

程序就重点放在显示数据和与用户交互的表示逻辑上，客户端应用程序甚至都不知道数据的物理位置。

第四章 排课系统的分析与设计

计算机排课系统应实现信息管理、课表编排、课表打印及数据统计等过程的自动化。排课系统应能满足时间、教室和教师等各种约束条件；能解决跨专业选课、教师跨年级跨班级任课，专业课分班上和公共课合班上等难题；能在不影响全校总课表的前提下，加排新生课表；能提供查询统计功能，便于对课程设置情况、教师课时数和班级课时数进行统计比较，并免除课表抄写工作等。

4. 1 系统分析

4. 1. 1 用户需求分析

用户需求分析是数据库设计的第一步。主要借助数据流图 (DFD) 和数据字典 (DD) 两种分析工具^[48]。

(1) 数据流图 DFD 和数据字典 DD

数据流图 (DFD) 是结构化分析方法的工具之一，也是常用的对用户需求进行分析的工具。它以图形化方式刻画数据流从输入到输出的变换过程。

DFD 中包括外部项、数据流、处理 (加工) 和数据存储。表示方法如图 4.1 所示。

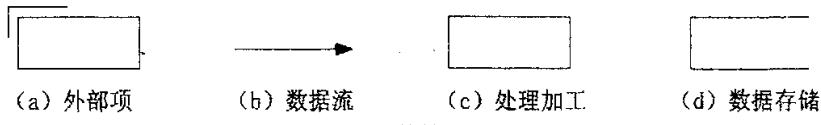


图 4.1 DFD 的符号表示

通常较复杂问题的数据处理过程，用一张 DFD 是不够的，要按照问题的层次结构进行逐步分解，并以一套分层的 DFD 反映这种结构关系。分层的一般方法是先画系统的输入输出，然后再画系统内部。

数据字典 (DD) 用来定义 DFD 中的各个成分的具体含义。它以一种准确的、无歧义性的说明方式，为系统的分析、设计及维护提供了有关元素的，一致的定义和描述。

DFD 和 DD 共同构成了系统的逻辑模型，是“需求说明书”的主要组成部分。

(2) 排课系统数据流图

排课系统总的数据流图如图 4.2 所示：

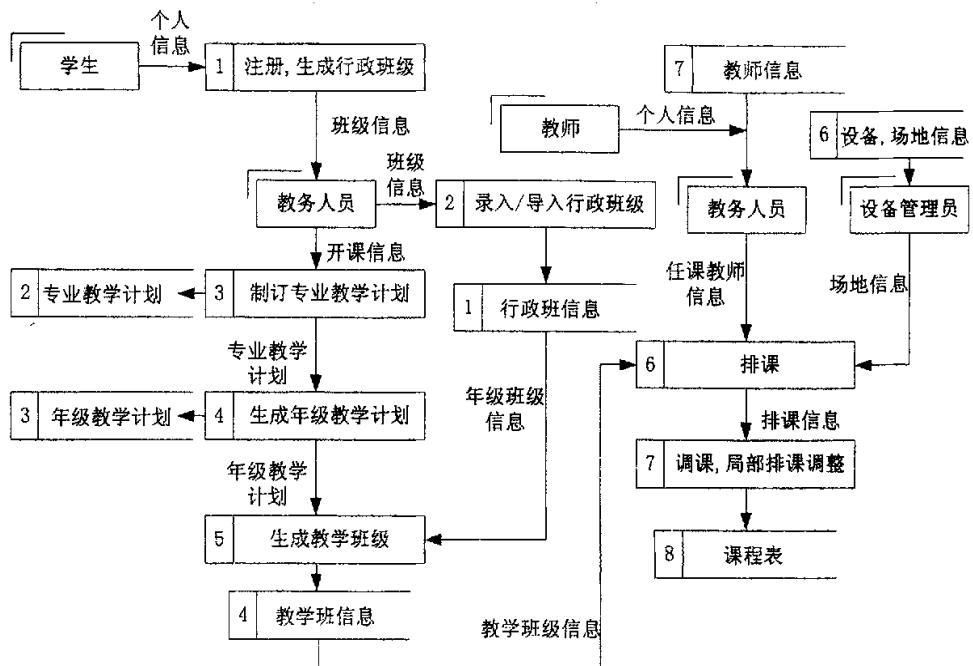


图4.2 排课系统顶层DFD图

对总的数据流图中的每个具体操作进行细化，都可以得到一个细化的子数据流图，图 4.3、图 4.4 分别是制订专业教学计划和手动排课的细化数据流图。

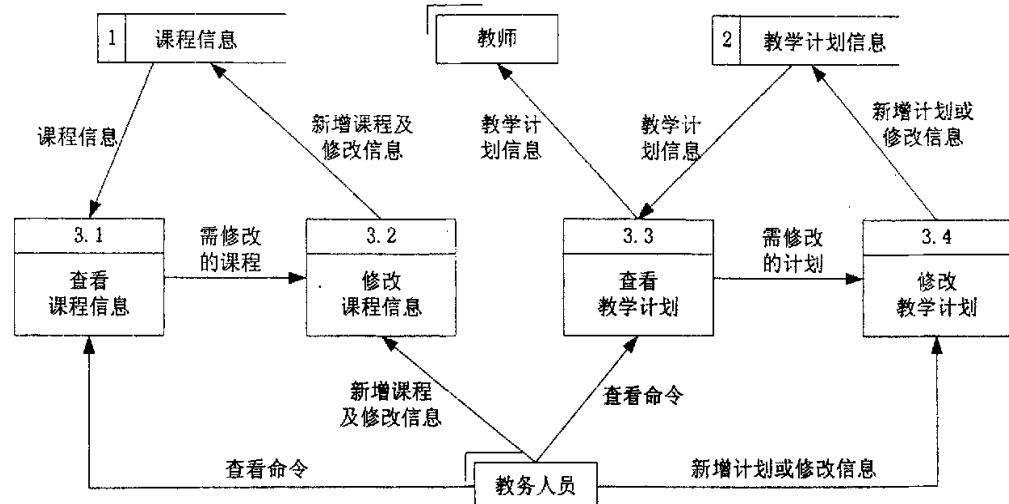


图4.3 制订专业教学计划的细化DFD图

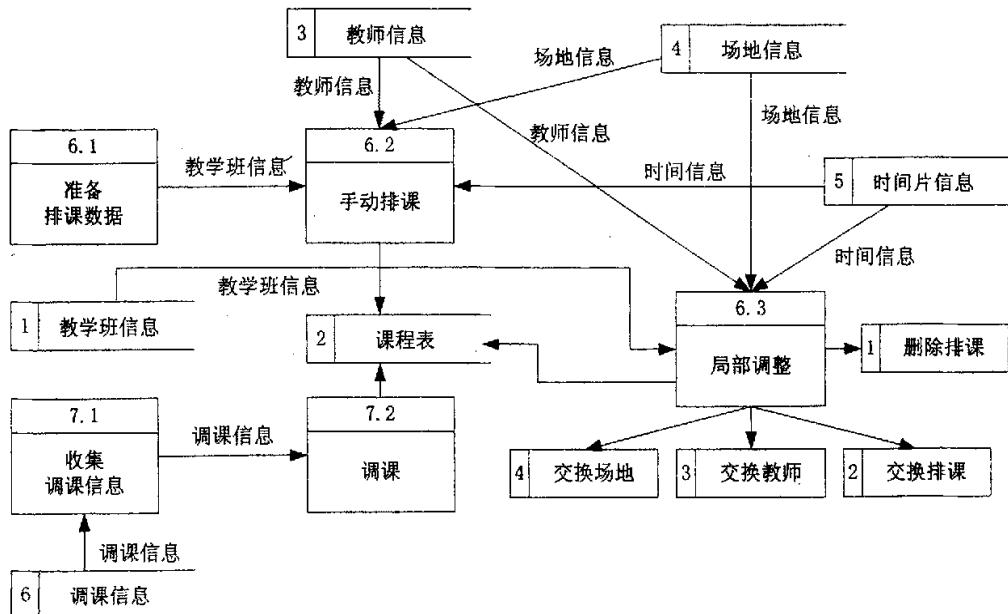


图4.4 手动排课的细化DFD图

4. 1. 2 系统功能目标分析

通过以上需求分析，该排课系统将实现以下目标：

- (1) 有手动排课和自动排课两部分功能，对于小范围的课表编排，可以考虑直接使用手动排课，而对于大范围的课表编排，可以考虑先用自动排课，对于个别要调整的课程，可以采用手工编排方法。
- (2) 同屏显示学校整个行政层次（可以定位到任何一个行政班级）和班级课表以及该班教学计划中开设的所有课程信息（包括课程、任课教师和学时数等等），还应该包括可供选用的场地信息，以方便场地的随时调整。
- (3) 一个班的课表排好后让用户审查，不满意的课可以在系统的帮助下极其方便地调动，包括删除已排的课程以便重新安排，或者交换场地、交换任课教师、交换上课时间段等等。
- (4) 教师在同年级同学科不同班级的授课进度应保持基本一致，有少量不一致的可以在排课时或排课后自动查出，以便调整。
- (5) 可以锁定某些课使之不可调，可以使锁定课解锁使之可以调。
- (6) 排好的课表可以随时调出来查看、改动或清除重排。
- (7) 班级、教师、教室课表可以多张同屏显示。

- (8) 可以不受排课原则和用户的排课设置的限制, 强行修改课表。
- (9) 可以临时调课或改课, 打印临时调课通知。
- (10) 可以编排代课教师的临时课表。

4. 2 系统设计

4. 2. 1 系统的总体设计思想

系统设计本着“综合考虑, 注重实效, 分步实施”的思想, 力求保证系统的先进性、可扩充性、易操作性、易维护性、开放性、经济性、实用性、安全性等。

- (1) 先进性: 指开发技术应与计算机网络的迅猛发展相适应, 使用新兴的网络应用软件开发技术, 使开发的软件使用寿命增长。
- (2) 可扩充性: 指应按发展的眼光考虑今后对已开发软件进行修改、升级的工作, 为后续工作留有空间。
- (3) 易操作性: 由于本系统用户组成较为复杂, 用户数量庞大, 因而系统设计界面是否友好, 系统使用软件是否通用, 操作是否简便是一条重要指标。
- (4) 易维护性: 同样由于用户众多, 因此, 系统设计应考虑维护问题, 选用的方案应该维护便捷、迅速, 才能满足日常工作需求。
- (5) 开放性: 采用开放的网络体系结构, 可以跨平台使用, 保证异种网络的透明连接、相互通讯的顺畅。
- (6) 经济性: 系统设计方案不可一味追求先进性技术, 应兼顾经济问题, 力争小投入、大产出, 在经济性和先进性中选取合适的结合点。
- (7) 实用性: 系统可以与实际工作紧密结合, 提高工作效率和质量。
- (8) 安全性: 应对网络安全进行一定的考虑, 保证系统在受到破坏时可以及时恢复。

4. 2. 2 概念模型设计

概念设计是数据库设计的核心环节。概念数据模型是对现实世界的抽象和模拟, 是在用户需求描述与分析的基础上, 以DFD和DD提供的信息作为输入, 运用信息模型工具, 设计人员发挥综合抽象能力, 对目标进行描述, 并以用户能理解的形式表达信息。目前应用最广泛的是ER方法。

- (1) ER模型

ER方法对概念模型的描述结构严谨、形式直观。用此方法设计得到的概念模型是实体-联系模型，或叫ER图。ER模型由三个要素构成：实体、联系和属性。

在ER模型中，分别用长方形、菱形和椭圆形来描述实体、联系和属性，如图4.5所示^[48]。基本符号通过线段互相连接。

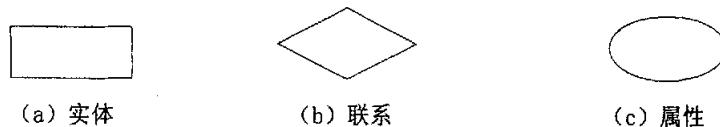


图4.5 ER模型的符号表示

(2) 排课系统ER模型

1) 行政层次E-R图

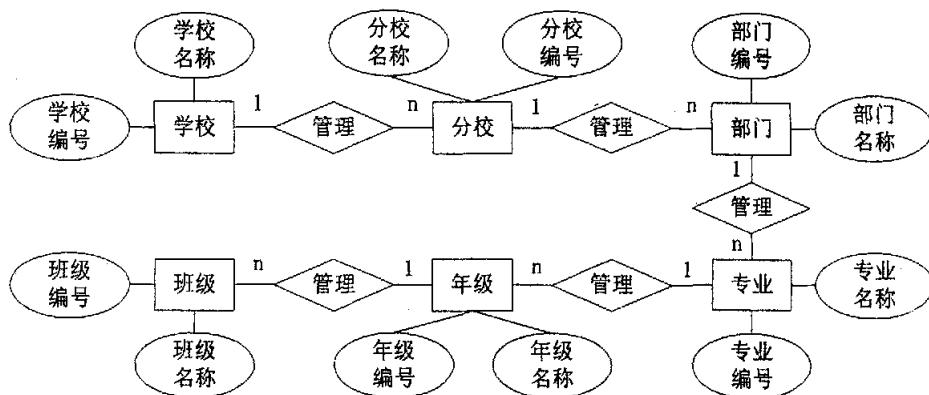


图4.6 学校行政层次ER模型

- 一个学校可以由多个分校组成，如农校包括高职或中专部；
- 一个分校可以包括多个部门，如高职可能包括计算机应用系或应用外语系；
- 一个部门（系部）可以包括多个专业，如计算机应用系可能包括计算机应用专业和计算机软件专业；
- 一个专业可以包括多个年级；
- 一个年级里可以包括多个班级。

实例化行政层次，如图4.7所示：

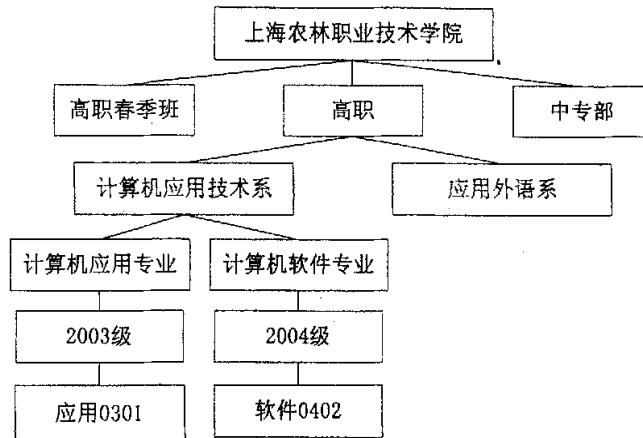


图4.7 学校行政层次ER模型实例

2) 实体联系简易 ER 图

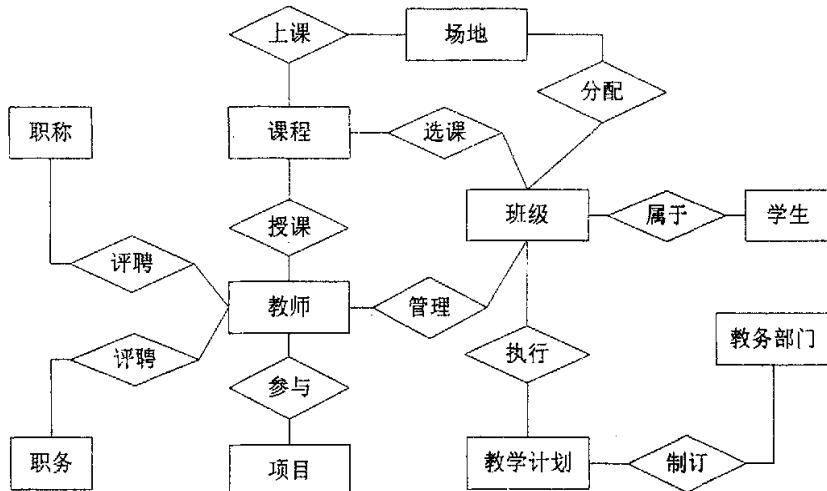


图4.8 排课系统ER模型

- 主要涉及的实体有：学生、班级、课程、场地、教师、职称、职务、项目、教务部门和教学计划等；
- 多个学生构成一个行政班级，行政班级又可以通过拆班并班上课生成教学班；
- 每个班级可以有一个固定教室，上不同的课程时，也可以根据实际情况选择不同的教室；
- 不同的课程根据不同的性质可能安排在不同的场地上课；
- 一个教师可以上多门课程，一门课程也可以由多个教师来讲授；
- 一个教师可以参与多个项目，一个项目也可以由多个教师来参与；
- 每个教师都应该有一个职称；

- h) 部分教师有职务;
- i) 教务部门制订教学计划;
- j) 不同专业的班级执行不同的教学计划。

4. 2. 3 逻辑模型设计及优化

以关系数据库设计理论为指导, 对由ER图得到的关系模式进行规范化, 逐一分析, 确定它们分别是第几范式, 并通过必要的分解得到一组第三范式的关系。规范化的优点是消除异常、减少数据冗余、节省存储空间, 相应的逻辑和物理的I/O次数减少, 同时加快了增、删、改的速度。

4. 2. 4 排课系统数据库的设计

(1) 数据库规划

排课系统数据库包括作为排课事实数据的班级, 教室和教师等初始信息, 也包括排课过程的中间结果、辅助数据以及作为排课系统输出的课表数据。所以在本系统中涉及的数据库有三类。

1) 基本情况数据库

- 默认取值数据文件
- 基础代码数据文件
- 学校限制数据文件
- 教师信息数据文件
- 教师限制数据文件
- 课程信息数据文件
- 班级信息数据文件
- 场地信息数据文件
- 操作员信息数据文件

2) 教学计划数据库

- 专业教学计划数据文件
- 专业年级教学计划数据文件
- 教学班执行计划数据文件

3) 课表数据库

班级课程表文件

教师课程表文件

教室课程表文件

(2) 数据库表设计

将上述的排课系统的ER模型，根据逻辑设计方法，转换为关系模式，并对关系模式进行规范化和逆规范化处理后，结合数据字典中数据项的描述，得到以下系列数据库表。

- 1) 专业教学计划表 `tbl_p_teach_plan`
- 2) 专业年级计划表 `tbl_p_grade_plan`
- 3) 教学执行计划表 `tbl_p_execute_plan`
- 4) 课表信息表 `tbl_course_plan_inf`
- 5) 课程信息表 `tbl_course_inf`
- 6) 班级基本信息表 `tbl_class_bas_inf`
- 7) 班级扩展信息表 `tbl_class_ext_inf`
- 8) 教师信息表 `tbl_teacher_inf`
- 9) 场地信息表 `tbl_place_inf`
- 10) 操作员信息表 `tbl_operator_inf`
- 11) 默认取值表 `tbl_default_value`
- 12) 基础代码信息表 `tbl_basecode_inf`
- 13) 基础子代码信息表 `tbl_subcode_inf`
- 14) 学校排课限制表 `tbl_school_limit`
- 15) 教师排课限制表 `tbl_teacher_limit`

第五章 排课稽核条件

5. 1 排课中存在的冲突

因为排课是一个多约束满足的问题，所以在排课过程中，不可避免的出现这样那样的冲突。在第二章描述排课问题时，我们已经分析了排课中要满足的约束条件，本章我们讨论排课中存在的冲突，主要考虑以下几个方面：

- (1) 在同一时间片同一学生不能上两门不同的课程；
- (2) 在同一时间片同一教师不能给两门不同课程上课；
- (3) 在同一时间片同一教室不能安排两门不同课程。

经过分析，我们可以发现，在排课中存在以下几种冲突。

5. 1. 1 上课班级冲突

排课过程是以教学班级为基本的组织单位，也就是说，要求不出现学生上课的冲突，也就是要求不出现教学班级上课的冲突。如果在同一时间片，某个教学班级被安排了多门课程，我们认为发生了上课班级的冲突。一个时间片里，一个教学班级只能安排一门课。

5. 1. 2 任课教师冲突

如果在同一时间片里，同一任课教师被要求担任两门或两门以上课程的授课任务，我们认为发生了任课教师的冲突。一个时间片里，一个教师只能上一门课程。

5. 1. 3 上课场地冲突

如果在同一时间片里，在同一场上（除了体育等特殊场地），同时安排了多个教学班级上课，我们认为发生了场地的冲突。在一个时间片里，原则上一个场地只能安排一个教学班级上课。

5. 2 排课中冲突的稽核

因为排课分为手动排课和自动排课两种方式。在两种方式中，都会存在上述的冲突，处理方式也是相同的。但是，在自动排课中，所有的冲突稽核都是由程序自动完成的，操作人员所做的工作仅仅是选择“自动排课”，所以操作人员根本看不出系统是如何

交互的实现冲突的稽核的。因此，在下面我们所讨论的冲突稽核里，我们都是针对手动排课讨论的。

在手动排课过程中，采用鼠标拖放的方式，为教学班级选择合适的时间片，不可避免的会发生各种冲突。当完成一次排课任务后，可能会发现这次排课操作不恰当，而要求删除本次安排；当完成一定的排课任务后，可能会发现某些排课不合理，而要求对这些课程进行一下调整，包括课程之间的互相交换、更换任课教师、更换场地等等。所有的这些操作都可能会引起一些冲突。当发生冲突时，则放弃该次操作，如果没有冲突，则该次排课或调整完成。

在手动排课过程中，涉及以下五种基本操作：

- (1) 鼠标拖放：实现手动排课，即通过鼠标的拖放实现课程的插入；
- (2) 删除排课：删除已排的课程；
- (3) 交换排课：为已排的课程交换时间片，包括与空时间片交换和与非空时间片交换；
- (4) 更换教师：为已排的课程交换任课教师，教师排课信息可以通过查看教师课表得到；
- (5) 更换场地：为已排的课程交换场地，场地排课信息可以通过查看场地课表得到。

所有上述操作，都是基于一个可视化的交互界面，如图5.1所示：



图5.1 手动排课可视化界面

该可视化界面主要由四个部分组成：

- (1) 树型目录：显示学校的行政层次结构，除最高层的学校名，分别是分校、部门、专业和班级；
- (2) 课程表：根据系统初始定义，将一周的时间划分成一个个连续的时间片，每个时

间片的长度为一节课的时间长度，可以安排一节课程。整个排课过程都可以通过课程表反映出来；

- (3) 课程列表框：当选中树型目录中的最后一层——班级的时候，在该列表框中相应显示出该班级所开设的所有课程，并相应显示课时数等信息；
- (4) 场地信息：列出所有可以使用的场地以及场地的类型，以供排课过程中选择。

手动排课的过程，或者对已排课程调整的过程，都可以通过鼠标的拖放和鼠标右键中的快捷功能实现。

下面具体讨论，在各种操作中，如果发生5.1节中的几种冲突，分别如何稽核。

5. 2. 1 鼠标拖放

在待排的课程列表中，选择一门未排完的课程，按下鼠标左键不松开，然后拖到课程表中某个时间片上，松开鼠标，这时如果不发生任何冲突，则该课程的一节课被安排完成。否则，系统将给出提示信息，取消本次排课，重新选择合适的位置拖放鼠标，最终完成所有课程的安排。

在这个过程中，首先要考虑目标时间片有没有课程，如果有，则本次排课失败；如果没有，则进一步判断将这门课放在该时间片，会不会产生任课教师和场地的冲突，以及是否会有学校时间限制、教师上课时间限制以及场地授课时间限制等方面的冲突，当所有的冲突都不存在时，本次排课才是成功的。任何一种冲突都将取消本次排课。

一次排课的具体稽核过程如图5.2所示：

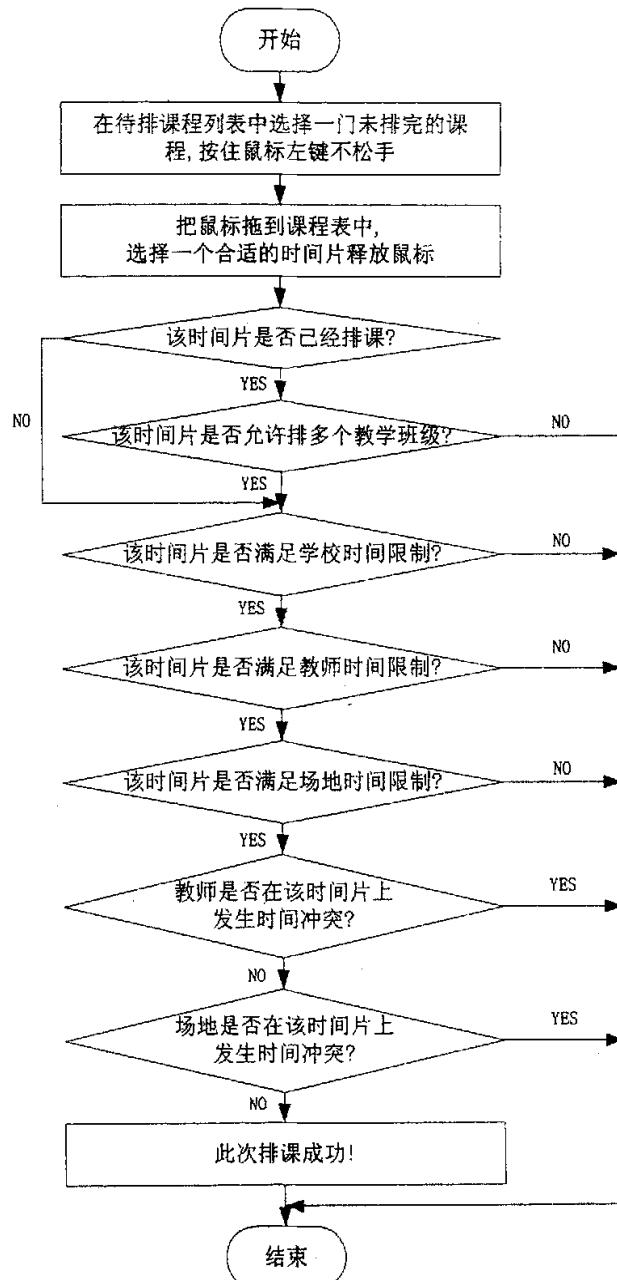


图5.2 鼠标拖放冲突稽核过程

5.2.2 删 除排课

删除某门课程的已排课次，不存在冲突检测，但需要在删除后，对待排课程列表中相应的课程数加1，以保持数据的一致性。

具体稽核过程如图5.3所示：

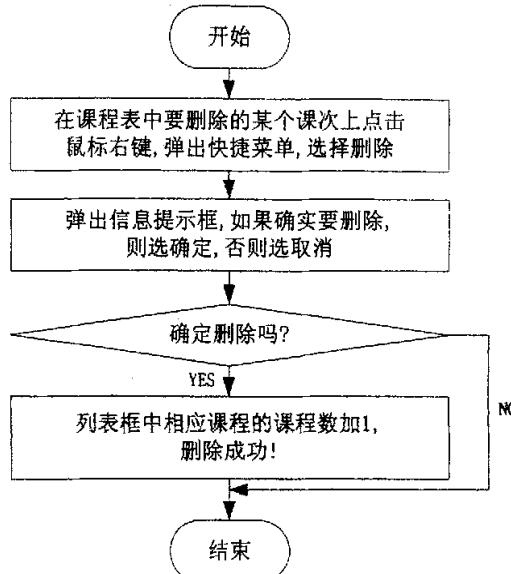


图5.3 删 除排课稽核过程

5. 2. 3 交换排课

课程交换，通常指时间片的交换，但在交换过程中也会涉及到教师、场地等信息的冲突检查。课程交换分为两种情况：一种是与空白时间片进行交换；另一种是与非空白时间片交换。

(1) 与空白时间片交换排课

与空白时间片交换排课，就是将某门课程的已排课次交换到某个空白的时间片中，即目标时间片为空。这种交换相对而言比较简单，只需检查目标时间片在教师、场地、教学班级以及其他相应限制中是否会产生冲突，如果产生冲突，则此次交换不成功，如果不产生冲突，则交换成功，源时间片中的该课次安排被删除，目标时间片中插入了该课次。

与空白时间片交换排课的具体稽核过程如图5.4所示：

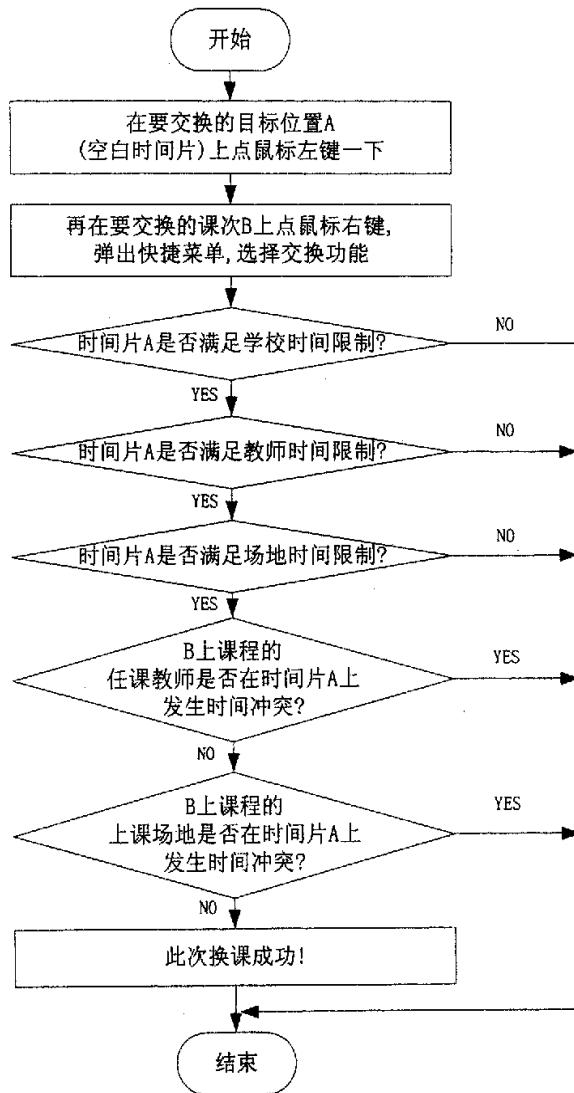


图5.4 与空白时间片换课冲突稽核过程

(2) 与非空白时间片交换排课

与非空白时间片交换排课，是指两个相互交换的时间片中都已经排过课程，即源时间片和目标时间片均非空。执行这种交换操作时，要同时考虑两门课程在换到新的时间片中后，在教师、场地、教学班级以及其他相应的限制方面是否会产生冲突，任何一门课程存在冲突，都将导致换课失败。当检测出所有冲突都不存在时，交换成功，原来的两个时间片中的课次进行了互换。

与非空白时间片交换排课的具体稽核过程如图5.5所示：

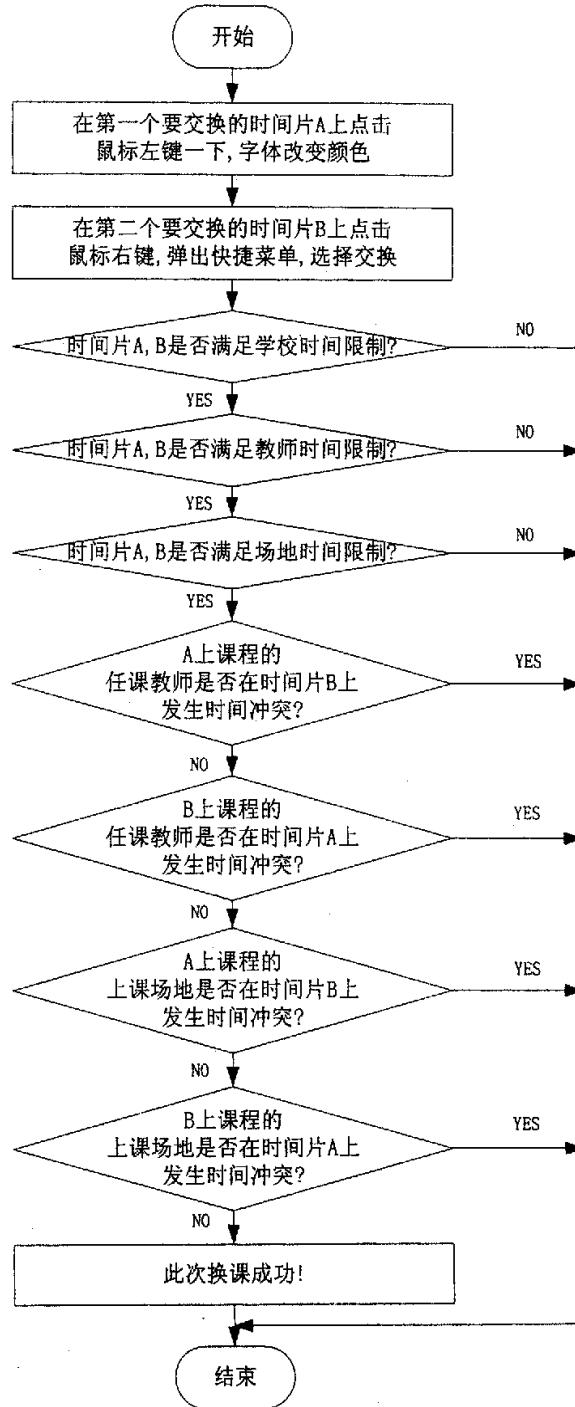


图5.5 与非空白时间片换课冲突稽核过程

5. 2. 4 更换教师

当在某门课程的某个课次上点击鼠标右键, 进行教师更换时, 实际上是对该门课程的任课教师进行了更换, 也就是说, 所有的已排的该门课的课次的教师都将被更换。所以进行这种更换时, 必须稽核目标教师是不是在所有已经排好的课次时间片上都不会产生冲突, 即使在鼠标所点击的时间片上不存在冲突, 而在其他时间片上存在冲突, 此次更换也是不会成功的。当检查出所有冲突都不存在时, 更换教师成功。

更换教师的具体稽核过程如图5.6所示:

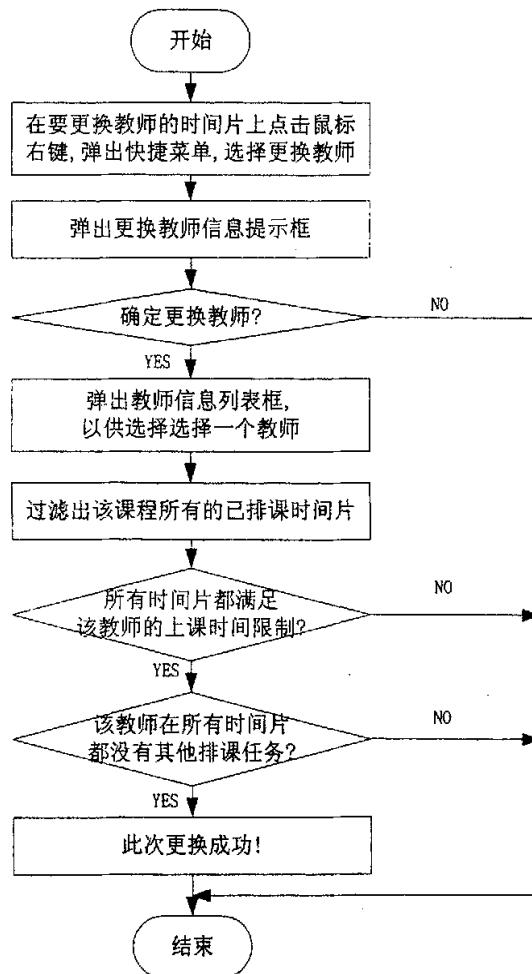


图5.6 更换教师冲突稽核过程

5. 2. 5 更换场地

更换场地类似于更换教师, 也要考虑目标场地在要更换的课程的所有课次时间片上

都不会产生冲突，否则更换不成功。当检查出所有冲突都不存在时，更换场地成功。

更换场地的具体稽核过程如图5.7所示：

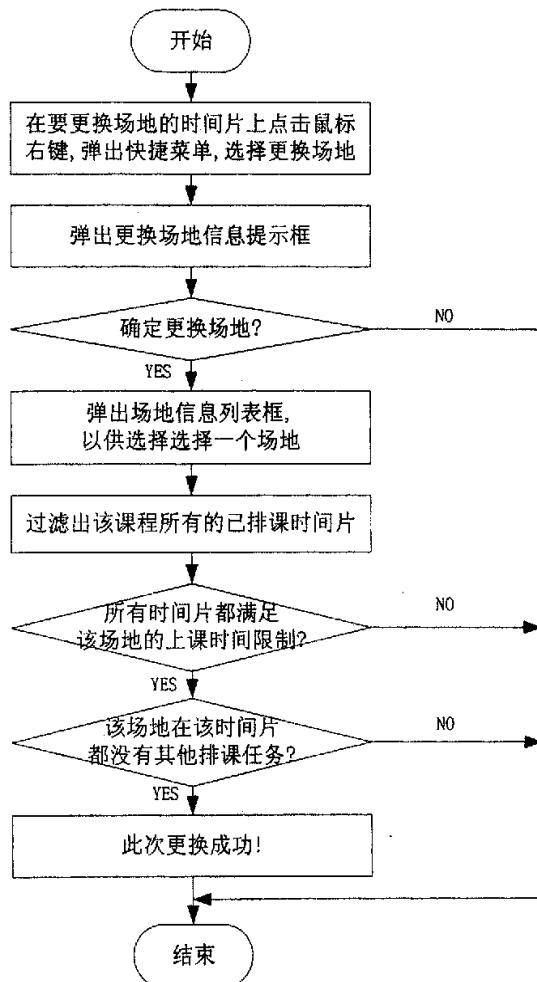


图5.7 更换场地冲突稽核过程

5. 3 调课中的稽核条件

当手动排课或者自动排课完成后，就已经生成了全校的完整的课程表，可以以不同的方式查看这张课程表，从而生成满足不同需要的课程表，例如教师课表、班级课表、场地课表以及总课表等等。

理论上，排课到这一步就应该算是完成了。但实际上，往往是只有当人们看到了排出来的课表后，才会发现一些比较实际的问题。例如，某某数学老师星期二上午第三、四节课排了课，但是他星期二上午有其他的安排，希望把这课调到别的时间段。因为此

时全局排课已经结束了，对个别特殊要求的调课，就有可能影响到别的已经排好的课，所以调课问题也是排课过程中不可避免的问题。本节我们把这部分内容单独列出来分析。

5. 3. 1 调课问题描述

调课最典型的情况就是某教师希望把其某时间片的课程调到另一时间片中。

设要求调课的时间片为源时间片（对应着源班级、源课程、源教师、源场地），将被调至的时间片为目标时间片（对应着目标班级、目标课程、目标教师、目标场地）。如图 5.8 所示：

.....
.....	源时间片
.....	目标时间片
.....

图5.8 调课示例

现有调课方法如下：

- (1) 如果目标时间片没有其他课程安排，并且源教师和源场地在目标时间片也没有其他安排，则可直接将源时间片的课次安排到目标时间片；
- (2) 如果目标时间片已经有课程安排，则要分情况考虑：
 - 1) 回避冲突。为源时间片的课次重新寻找一个目标时间片，使得目标时间片没有其他课程安排，并且源教师和源场地在目标时间片也没有其他安排；
 - 2) 强行调课。首先将目标时间片的课次调走，如果在调走目标时间片的课次的过程中再产生类似冲突，采用递归的思想，将目标时间片作为源时间片，递归进行目标时间片的搜索，直到找一个合适的时间片安排初始的目标时间片中的课次，然后把初始的源时间片中的课次调到初始的目标时间片中。

5. 3. 2 调课过程

具体的调课流程如图 5.9 所示：

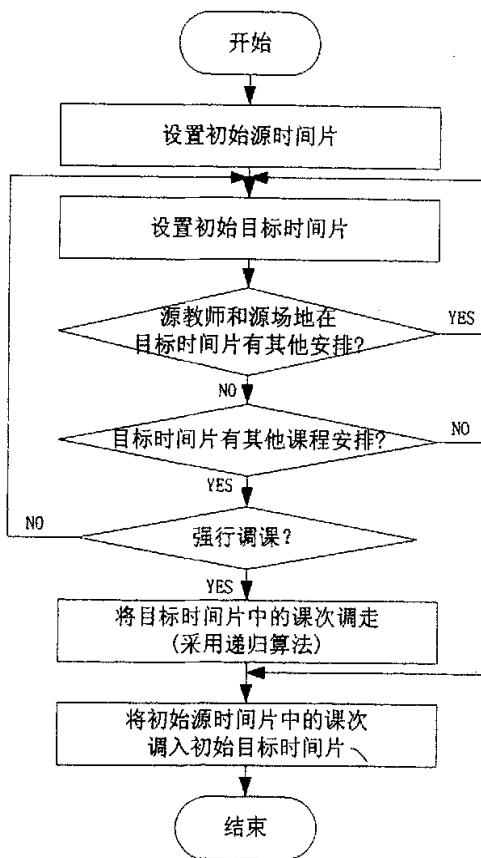


图5.9 调课流程

第六章 多阶段分组自动排课算法

已证明 TTP 是 NP 类问题^[44]，而课程表的编排问题是时间表问题 TTP 的一种典型实例。也就是说，到目前为止，此类问题尚没有有效的多项式算法。但是，对于某些 NP 类问题，尽管不存在精确求解问题的多项式算法，也可以根据问题本身的特点，设计求解该问题的近似算法，使得这种近似算法是多项式算法，算法的结果与真正的最优解比较接近，可以满足实际需要。

在第二章，我们已经对课程表问题进行了详细的描述和分析。本章我们重点运用多阶段决策最优化理论和动态规划技术，对排课算法进行设计，并分阶段以不同的方法实现。

6. 1 多阶段决策和动态规划

多阶段决策^[44]，是指将某个决策过程分成若干个互相联系的阶段，每一阶段都需要作出决策，从而使整个过程达到最好的活动效果。各个阶段决策的选取不是任意确定的，它依赖于当前面临的状态，又影响以后的发展。

动态规划^[45]是解决多阶段决策最优化问题的一种方法，它把比较复杂的问题划分为若干个阶段，通过逐段求解，最终求得全局最优解。

通过前面的分析，排课问题是一个关于班级、课程、教师、场地，以及时间片等多种要素的组合优化问题。如何恰当安排这些元素，使得所有资源都能够最合理的利用，又不会发生冲突，是我们排课的最终目标。综合分析农校的实际，我们把整个排课过程分为以下几个阶段来完成，每一阶段的完成结果，都将影响后面的工作。如图 6.1 所示：

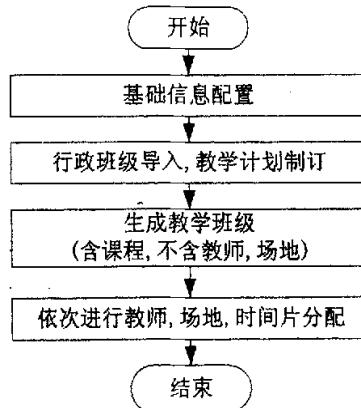


图6.1 多阶段排课过程

6. 2 内存分配方法

6. 2. 1 首次适应算法

从空闲分区表的第一个表目起查找该表，把最先能够满足要求的空闲区分配给作业，这种方法目的在于减少查找时间。为适应这种算法，空闲分区表（空闲区链）中的空闲分区要按地址由低到高进行排序。该算法优先使用低址部分空闲区，在低址空间造成许多小的空闲区，在高地址空间保留大的空闲区。

6. 2. 2 最佳适应算法

它从全部空闲区中找出能满足作业要求的、且大小最小的空闲分区，这种方法能使碎片尽量小。为适应此算法，空闲分区表（空闲区链）中的空闲分区要按大小从小到大进行排序，自表头开始查找到第一个满足要求的自由分区分配。该算法保留大的空闲区，但造成许多小的空闲区。

6. 3 排课准备工作阶段

系统的最终目标是实现排课，可以通过两种方式实现，分别是手动排课和自动排课。但在进行排课之前，要进行一系列的预设置工作，只有在完成了预设置后，才能形成满足手动排课和自动排课要求的待排的课程序列。本节我们将主要讨论，排课前应该做好哪些预设置操作。

6. 3. 1 基础信息设置

因为排课是一个涉及班级、教师、课程、场地等多种因素的过程，因此，排课前必须对这些因素进行设置，包括教师信息、课程信息、场地信息，以及学校上课时间限制、教师上课时间限制等相对不变的信息设置。

6. 3. 2 行政班级和教学班级设置

关于行政班级和教学班级的概念，在第二章中已经给过明确的定义，这里就不在赘述。行政班级可以通过现有系统导入，或者由学生注册系统导入。教学班级是在教学计划指导下，由行政班级进行相应的合班、拆班等操作形成的。这部分信息初始化工作如图 6.2 所示。

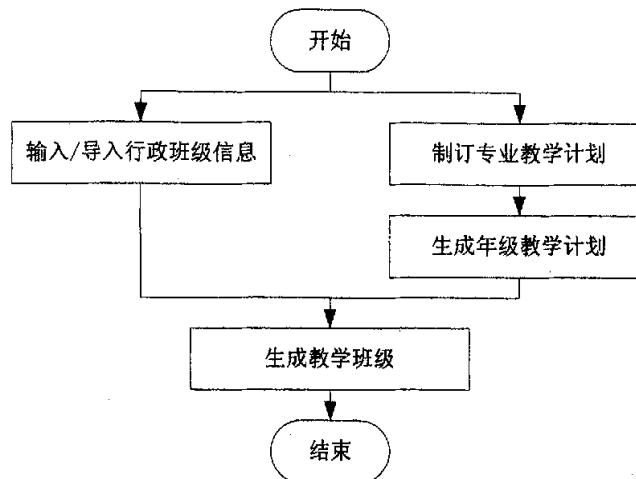


图6.2 教学班级形成过程

6. 4 教师分配阶段

对教师的分配，原则上要求遵守一定的行政管理法则。即，属于某分校、某部门、某专业的教师，一般只能上本分校、本部门、本专业的课程。在这样的大前提下，筛选出来的教师和课程之间的关系可能是多对多的关系，即一个教师可以上多门课程，相反，一门课程可以由多个教师来上，如图 6.3 所示。

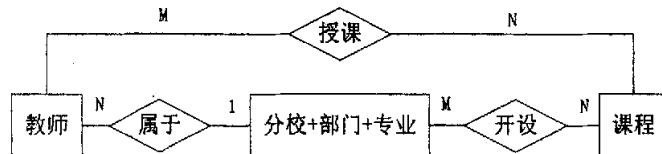


图6.3 教师和课程之间的关系

- (1) 同一个分校、部门和专业里可以包括多个教师，而一个教师只能属于一个某个分校、部门和专业；
- (2) 一个分校、部门和专业可以开设的课程有多门，而一门开设课程可以由多个分校、部门和专业开设；
- (3) 一名教师可以讲授多门课程，反过来，一门课程可以由多个教师来讲授。

在为课程分配教师时，一方面要满足兼顾公平的原则，另一方面又要照顾到个别教师的意愿。为此，我们设计了两种算法，并对这两种算法进行了比较。

6. 4. 1 教师等概率分配算法 EPDA

通常在为课程分配教师的时候，为了兼顾公平，我们采用随机分配的方法，使得任

任何一个教师对某些课都具有平等的上课机会。为此设计教师等概率分配算法 EPDA (Distribute Algorithm of Equal Probability)，算法思想如下：

- (1) 把全校的待排课程按分校、部门、专业进行分组，依次完成各个分组的教师分配；
- (2) 选定一个分组的一条待排课程信息，得到课程信息；
- (3) 由课程信息，得到开设本课程的分校、部门和专业信息，从而确定一组教师集；
- (4) 在教师集中随机产生一个教师，分配给该课程进行授课。

教师等概率分配的具体流程如图 6.4 所示：

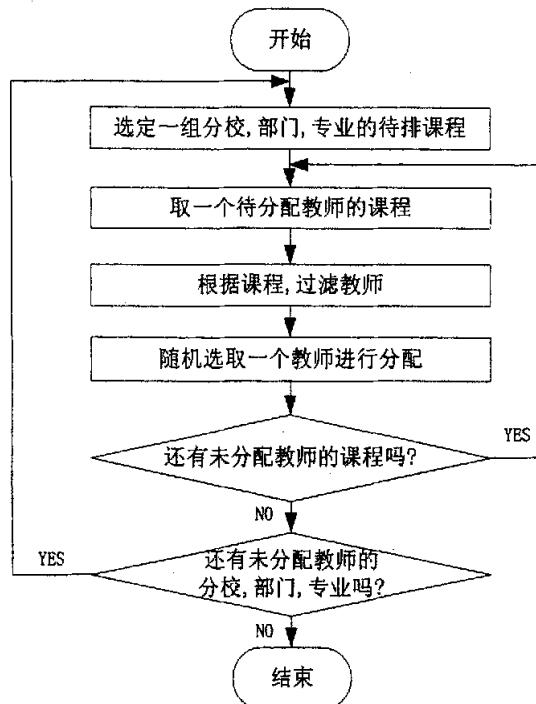


图 6.4 教师等概率分配算法

教师等概率分配的优缺点：

- (1) 优点：兼顾公平，教师上课的机会是平等的；
- (2) 缺点：没有考虑到教师对某些课程的特长。

6. 4. 2 教师首次适应分配算法 FMDA

有时候，基于对学科建设的需要，某些教师相对其他教师而言，更适应上某门课程。而且，每个教师对自己比较适合上哪门课程也会有一定偏好。这些具有倾向性的意向，可以通过教师授课意向表反映出来。课程表的安排如果要做到更合理化、更人性化，就必须要考虑教师的授课意向。

教师首次适应分配算法 FMDA (Distribute Algorithm of First Matching) 采用了首次适应思想，把教师意向表按照意向级别串成链，意向级别越高越靠前，针对任一门待分配教师的课程，在链中从前向后搜索，选取搜索到的第一个教师来分配。

(1) 数据结构

教师链表：单向循环链表，按授课意向级别顺序存放；

(2) 算法思想

- 1) 把全校的待排课程按分校、部门、专业进行分组，依次完成各个分组的教师分配；
- 2) 根据教师意向表，把所有的教师根据授课课程和授课意向，形成一个教师链，授课意向级别越高的越靠前；
- 3) 取一条待排课程信息；
- 4) 根据课程信息，搜索教师链，将搜索到的第一个教师进行分配。

教师首次适应算法具体流程如图 6.5 所示：

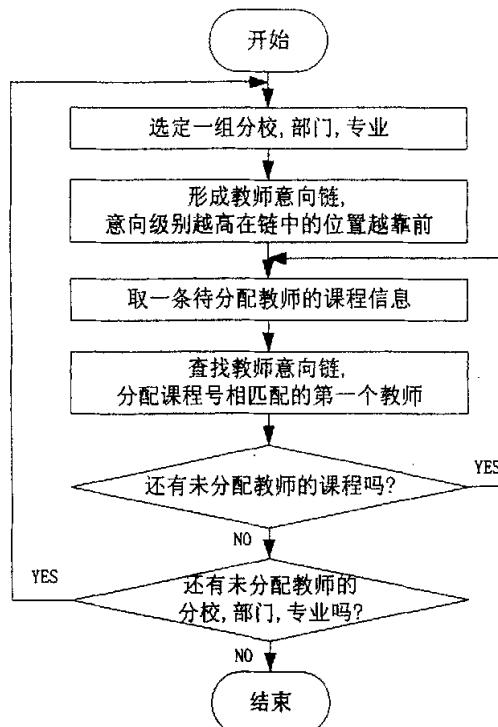


图 6.5 教师首次适应分配算法

教师首次适应分配的优缺点：

- (1) 优点：考虑到了教师授课的偏向性，使得排课结果更加合理化和人性化；

(2) 缺点：每次都是从意向高的教师开始选择分配，这样就会使得有些教师永远没有机会上某门课程，造成教师分配不公。

6. 4. 3 教师等概率首次适应分配算法 EPFMDA

教师等概率分配算法，考虑到了教师的等概率分配，兼顾了公平原则，但是这种分配没有考虑到教师的特殊要求；教师首次适应分配算法，考虑到了教师的授课意向，可以很好的满足教师的特殊要求，但是，因为在形成教师链表时，教师的相对位置是固定的，这就可能造成某些教师一直处于优先分配的地位，而某些教师却只能一直居后，这样就造成了教师间的分配不公。

因此，上述两种方法都存在着一定的局限性。如果能把这两种算法结合起来，就可以做到顾兼顾公平，又能满足教师的特殊要求。这就提出了一种优化算法——教师等概率首次适应分配算法 EPFMDA (Distribute Algorithm of First Matching based on Equal Probability)，算法流程如图 6.6 所示：

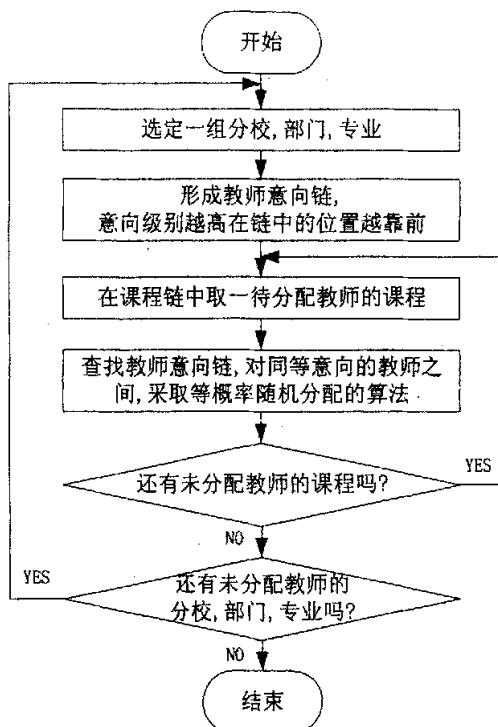


图6.6 等概率首次适应分配算法

6. 5 场地分配阶段

学校的场地资源是有限的，并按场地类型编号。分配场地时，一方面要考虑场地的类型，另一方面还要考虑场地的容量，使全校所有的场地尽可能做到既分配合理，又充分利用。

6. 5. 1 场地分配数据结构

- (1) 公共场地单向循环链表：存放学校公共场地信息；
- (2) 专用场地单向循环链表：按分校、部门、专业存放专用场地信息。

6. 5. 2 场地最佳适应分配算法 OADA

把开课信息按“课程类型”排序，然后根据课程类型来依次分配场地。场地最佳适应分配算法 OADA (the Optimal Adaption Distribution Algorithm) 思想如下：

首先，分配公共课程的场地；具有相同教学班级号的行政班级分配在同一场地。因为公共课程一般都要求合班上课，可能是同分校、同部门、同专业的行政班级进行合班上课，也可能是跨分校、跨部门、跨专业的行政班级进行合班上课，所以同一教学班级号可能对应了不同分校、部门、专业的行政班级，所以在分配场地时，不能确定唯一的分校、部门和专业。所以在给公共课程分配场地时，我们采用分配公共场地的原则。

第二，分配必修课程的场地；先确定该课程对应的分校、部门和专业，然后找到相应分校、部门和专业的专用场地，把这些场地按类型和容量从大到小排序，形成一条单向循环链，分配场地时，首先匹配场地类型，找到对应类型后，再根据最佳适应算法，选取场地容量最佳的场地分配。

第三，分配选修课程的场地；选修课又可以分为选修公共课和选修必修课，可以参照公共课和必修课的分配方法进行分配。

场地最佳适应分配算法的具体流程如图 6.7 所示：

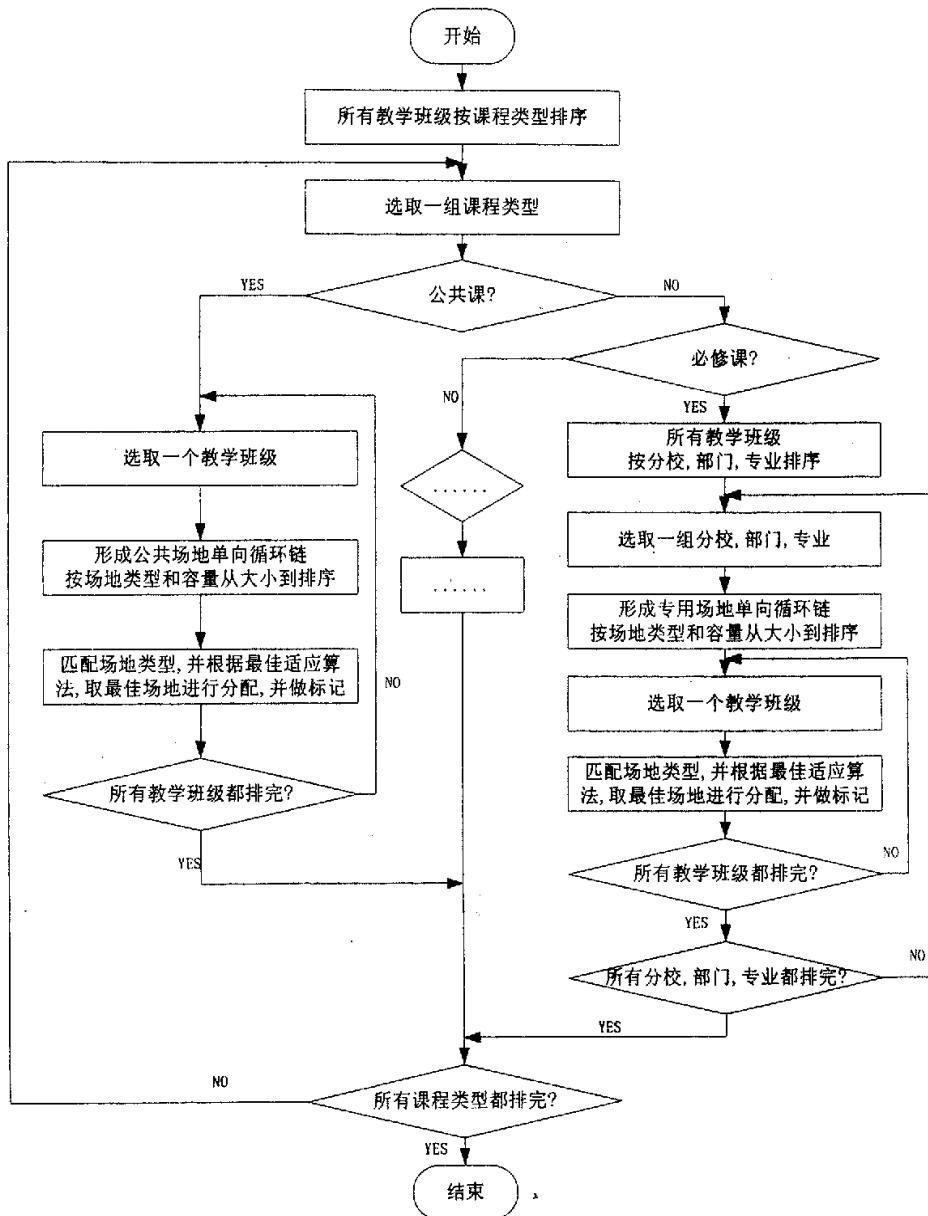


图6.7 场地最佳适应分配算法

6. 6 时间片分配阶段

6. 6. 1 时间片划分

在2.1节中, 已经介绍了时间片的概念, 并且把一周的课表表示成了二维的时间片的集合。在本章中, 为了使课表编排具有更大的灵活性, 在课程表上引入了“周”的概念, 把原来的二维课表问题扩展到了三维空间来解决。三维向量分别是每天的上课节数、

每周的上课天数和一个学期的上课总周数，分别用“天节数”（M），“周天数”（N）和“周数”（W）来表示。如图 6.8 所示：

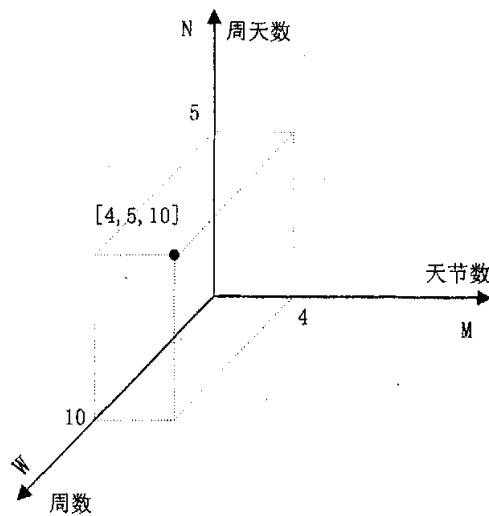


图6.8 三维向量图

这样就把课程表划分成一个 $M \times N \times W$ 的三维表。其中，M 轴表示每天的上课节数，N 轴表示一个星期的上课天数，W 轴表示每学期的周数。用三维坐标 $[M, N, W]$ 表示一个独立的时间片，图中向量 $[4, 5, 10]$ 表示第 10 周星期五的第 4 节课。

结合农校的实际，设 M，N 分别取值 12，7，某学期的周数为 18，即每天安排 12 节课（上午 4 节，下午和晚上 8 节），一个星期最多可以有 7 天上课，一个学期一共有 18 个周。每个星期的课程表可以表示成一个 12×7 的表格（如图 2.1 所示），一个学期可以理解成有 18 个这样类似的表格。

6. 6. 2 数据结构

通过分析，需要建立以下数据结构。其中，M，N，W 分别表示每天的课时数，一个星期的上课天数以及一个学期的上课总周数。定义如下一系列的数据结构。

- (1) 三维数组 $TS[M, N, W]$ ：表示三维的课程表，每个数组元素表示一个时间片，每个数组元素的取值表示该时间片的权重，时间片权重的设置和课程的权重一致。
- (2) 三维数组 $SL[M, N, W]$ ：用以存放学校限制条件，数组项取值若为 0，则表示该时间片不能用来排课，若不为 0，则表示该时间片可以排课。
- (3) 三维数组 $TL[M, N, W]$ ：用以存放教师限制条件，数组项取值若为 0，则表示某

- 教师在该时间片不能排课，若不为 0，则表示在该时间片该教师可以排课。
- (4) 三维数组 $CL[M, N, W]$ ：用以存放班级限制条件，例如某时间片不能排课，专门用于开班会；还有对班级而言，已经排过课的时间片也不能再进行排课，所以相应的时间片也应该屏蔽掉。其取值类似于教师限制。
 - (5) 三维数组 $GL[M, N, W]$ ：用以存放场地限制条件，某场地如果在某个时间片已经排过课，可以通过该数组进行相应位置的屏蔽。其取值类似于教师限制。
 - (6) 三维数组 $LL[M, N, W]$ ：用以存放课程上课要求，即课程对哪些时间片有特殊要求。其取值类似于教师限制。
 - (7) 三维数组 $ZL[M, N, W]$ ：用于存放所有限制条件的汇总结果，不为“0”的位置表示可以排课，为“0”的位置表示不可以排课。

6. 6. 3 约束条件的数学表示方法

在第二章中，我们已经知道，排课问题实质上就是一个多约束满足问题。而约束又可以分为硬约束和软约束，硬约束是必须要满足的约束，相反，软约束是可以违背，但需要尽量满足的约束。建立好上述数据结构后，大部分的约束可以通过上述的数据结构表示出来。举例如下：

(1) 硬约束

- 1) 在同一时间片同一学生不能上两门不同的课程；

因为一个学生肯定固定属于某个班级，所以此要求等同于：在同一时间段同一个班级不能同时上两门不同的课程。如果某个班级在某个时间片已经排过课，班级限制数组 $CL[M, N, W]$ 中的相应位置被屏蔽，再排课时，已经屏蔽掉的位置就不会再参与排课。例如：某班级在第十周的星期三上午第一节课已经排过课，不能再进行排课，用数学方法表示为：

$$CL[1,3,10] = 0 \quad (6.6.3.1)$$

- 2) 在同一时间片同一教师不能给两门不同课程上课；

类似于班级的情况，一个教师一旦在某个时间片排过课，就会在数组 $TL[M, N, W]$ 中的相应位置进行屏蔽。例如某某教师在第一周的星期一的上午第四节课已经排过课，可以表示为：

$$TL[4,1,1] = 0 \quad (6.6.3.2)$$

3) 在同一时间片同一教室不能安排两门不同课程;

一个场地一旦在某个时间片排过课, 就会在数组 $GL[M, N, W]$ 中的相应位置进行屏蔽。例如某某场地在第一周的星期一的上午第四节课已经排过课, 可以表示为:

$$GL[4,1,1] = 0 \quad (6.6.3.3)$$

4) 班级对上课时间的限制要求。

例如, 某某班规定每周五下午七、八节课用来开班会, 不能排课。用数学方法分别表示为:

$$\sum_{W=1}^{18} \sum_{M=7}^8 CL[M, 5, W] = 0 \quad (6.6.3.4)$$

5) 学校的上课时间的限制要求。

例如, 高校通常规定每星期的星期三下午用来政治学习, 不可以排课, 用数学方法表示为:

$$\sum_{W=1}^{18} \sum_{M=3}^{12} SL[M, 3, W] = 0 \quad (6.6.3.5)$$

(2) 软约束

1) 尽量满足教师上课时间的期望;

例如, 某教师在第五周的星期四上午另有安排, 要求不排课。则可以用数学方法表示为:

$$\sum_{M=1}^4 TL[M, 4, 5] = 0 \quad (6.6.3.6)$$

2) 尽量满足课程的上课时间期望;

例如, 某某课程要求不能在每天上午的第1、2节课时间排课。用数学方法表示为:

$$\sum_{W=1}^{18} \sum_{N=1}^7 \sum_{M=1}^2 LI[M, N, W] = 0 \quad (6.6.3.7)$$

6. 6. 4 可行解和近似最优解

从前面的分析可知, 一次排课过程是在已知教学班级、课程、教师、场地、周类型以及是否按周循环排课等信息的基础上, 关于时间片的选择过程。通常情况下, 可供选择的时间片有多个, 不同时间片的选择构成了不同的解。

(1) 解的定义和表示方法

定义 6.1 可行解：在选定教学班级、课程、教师、场地的基础上，可以用来排课的时间片通常可以有多个，任意一个时间片的选择，都可以和教学班级、教师、场地构成一组解，所有的这些解合在一起，称为可行解。

也就是说，可行解不唯一。一组可行解可表示为由教学班级、教师、场地、时间片组成的四维向量：

$$FS(TC, T, C, TS)$$

其中，FS (Feasible Solution) 表示可行解，TC (Teach Class) 表示教学班级，T (Teacher) 表示教师，C (Class) 表示班级，TS (Time Slice) 表示时间片。

定义 6.2 最优解：可行解中最优的一个解，称为最优解。

最优解可表示为：ES (TC, T, C, TS)，其中 ES (the Excellent Solution) 表示最优解。

因为排课过程是一个多约束的过程，它不但要满足各种硬约束，一个合理的排课还要满足各种软约束，而软约束的评定标准会因人而异，在某角度看是最优的解，从另一角度看可能就不是最优解了。所以在排课过程中找最优解几乎是不可能的，所以只能找一个近似最优解 NES (TC, T, C, TS)，使其在满足各种约束的前提下做到尽可能的最优，其中 NES (the Near Excellent Solution) 表示近似最优解。

(2) 求解可行解和近似最优解

无论是求解可行解还是近似最优解，都是在确定了教学班级、教师和场地的前提下进行的，所以求解的主要问题归结为时间片的选择问题。在前面几节中，我们已经把课程表表示成三维向量空间 $TS[M, N, W]$ 。也就是说，任意一个时间片都可以用一组三维下标 TS_{mnp} 来表示，如 TS_{123} 表示第三周星期二的第一节课所对应的时间片。

第 K 周的课程表可以表示成如下形式：

$$TS_k = \begin{bmatrix} TS_{11k} & TS_{12k} & \cdots & TS_{1Wk} \\ TS_{21k} & TS_{22k} & \cdots & TS_{2Wk} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ TS_{M1k} & TS_{M2k} & \cdots & TS_{MWk} \end{bmatrix} \quad (6.6.4.1)$$

任一时间片 TS_{ijk} 的取值为该时间片所对应的权重。其中， $i=1, 2, \dots, M$ ， $j=1, 2, \dots, N$ ， $k=1, 2, \dots, W$ ， M, N, W 分别表示“节数”，“周天数”和“周数”。

整个学期的课程表可以表示为： $TS[TS_1, TS_2, \dots, TS_k]$ ，其中 $k=1, 2, \dots, W$ 。

在 6.6.2 节中，我们依据三维向量结构，建立了一系列的数据结构，分别存放各种

限制条件，在选定教学班级、课程、教师、场地后，各种限制条件通过一定的运算，可以得到一个综合约束的三维向量 $ZL[M, N, W]$ 。

第 K 周的综合约束可以表示成如下形式：

$$ZL_k = \begin{bmatrix} ZL_{11k} & ZL_{12k} & \cdots & ZL_{1Wk} \\ ZL_{21k} & ZL_{22k} & \cdots & ZL_{2Wk} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ ZL_{M1k} & ZL_{M2k} & \cdots & ZL_{MWk} \end{bmatrix} \quad (6.6.4.2)$$

任一时间片 ZL_{ijk} 的取值反映了该时间片的使用状态，0 表示不可以排课，非 0 表示可以排课。其中， $i=1, 2, \dots, M$, $j=1, 2, \dots, N$, $k=1, 2, \dots, W$, M, N, W 分别表示“天节数”，“周天数”和“周数”。

整个学期的综合约束可以表示为： $ZL[ZL_1, ZL_2, \dots, ZL_k]$ ，其中 $k=1, 2, \dots, W$ 。

将两个三维向量 $TS[M, N, W]$ 和 $ZL[M, N, W]$ 进行按位与运算，得到时间片的一个解空间 TS^* ，第 K 周的时间片解空间可以表示成如下形式：

$$TS^*_{ik} = \begin{bmatrix} TS^*_{11k} & TS^*_{12k} & \cdots & TS^*_{1Wk} \\ TS^*_{21k} & TS^*_{22k} & \cdots & TS^*_{2Wk} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ TS^*_{M1k} & TS^*_{M2k} & \cdots & TS^*_{MWk} \end{bmatrix} \quad (6.6.4.3)$$

任一时间片 TS^*_{ijk} 的取值为：

$$TS^*_{ijk} = TS_{ijk} \cap ZL_{ijk} \quad (6.6.4.4)$$

$\begin{cases} \text{如果 } ZL_{ijk} \text{ 为 } 0, \text{ 则 } TS^*_{ijk} \text{ 也为 } 0, \text{ 表示该时间片不可以排课} \\ \text{如果 } ZL_{ijk} \text{ 不为 } 0, TS^*_{ijk} \text{ 取值为 } TS_{ijk} \text{ 的值, 表示该时间片的权重} \end{cases}$

其中， $i=1, 2, \dots, M$, $j=1, 2, \dots, N$, $k=1, 2, \dots, W$, M, N, W 分别表示“天节数”，“周天数”和“周数”。

时间片解空间 TS^* 中的任意一个时间片 TS^*_{ijk} 与教学班级、课程、教师、场地都可形成一组可行解 $FS(TC, T, C, TS^*_{ijk})$ 。

可行解是不唯一的，而实际中只需要一组可行解。前面已经指出，在排课的实际情况中，找最优解是根本不可能的，因为所谓最优，都是相对而言的。所以如果能找到一组近似最优解，使其尽可能最优即可。寻找近似最优解的方法，就是通过一定的时间片分配策略，再结合时间片的权重和课程权重相匹配，最终确定一组时间片和教学班级、教师、场地形成一组近似最优解 $NES(TC, T, C, TS)$ 。

6. 6. 5 时间片分组加权匹配算法 TSDA

在分配时间片时，已经完成了教学班级的生成、教师的分配、场地的分配等工作。时间片分配算法 TSDA (Distribute Algorithm of Time-Slice) 运用了分组加权匹配的思想，为已经分配了教师和场地的教学班级分配一个合适的时间片来上课。在分配过程中，对教师和场地要进行稽核，如果出现冲突，则启用相应的冲突解决方案，直到所有的排课完成。算法的基本思想如图 6.9 所示：

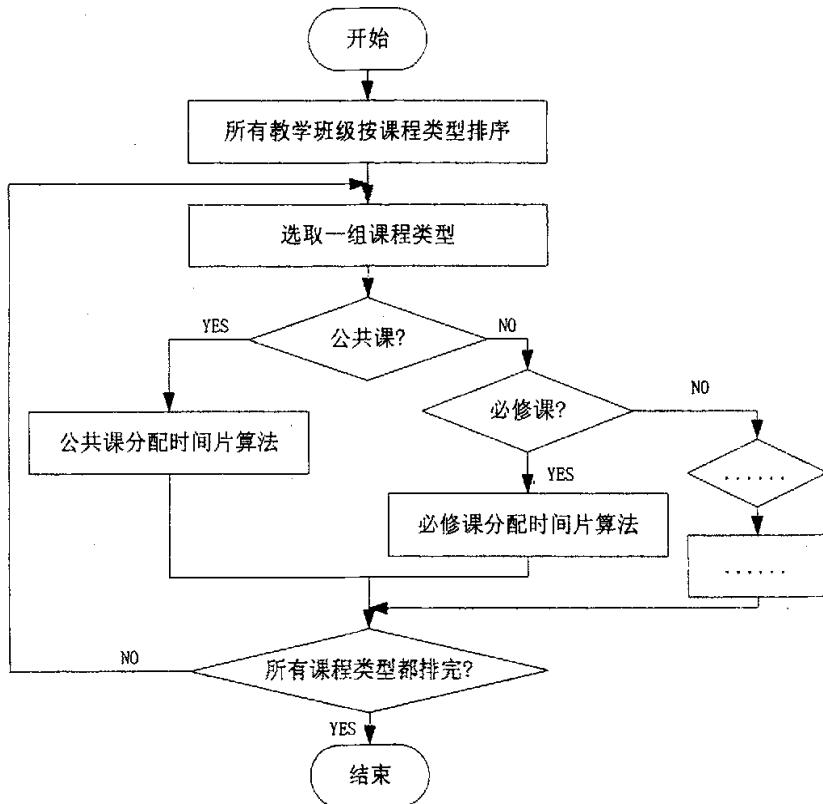


图6.9 时间片分配算法

(1) 基于课程的分配思想

公共课的编排不同于一般课程的安排。公共课的数量一般是比较少的，而且通常会有多个班级同时上课，所以在排公共课程时，我们一般是立足于课程，给课程分配班级。算法思想如下：

- 1) 列出所有的公共课程；
- 2) 选中一门公共课程，相应的列出该课程对应的所有教学班级；
- 3) 选中一个教学班级；

- 4) 如果已经排过课, 则转 7) ;
- 5) 为其分配时间片;
- 6) 检查冲突; 冲突则转 5) ; 不冲突则转 3)
- 7) 还有未排教学班级, 则选择下一个教学班级, 转 4) , 否则转 2) 。

具体流程如图 6.10 所示:

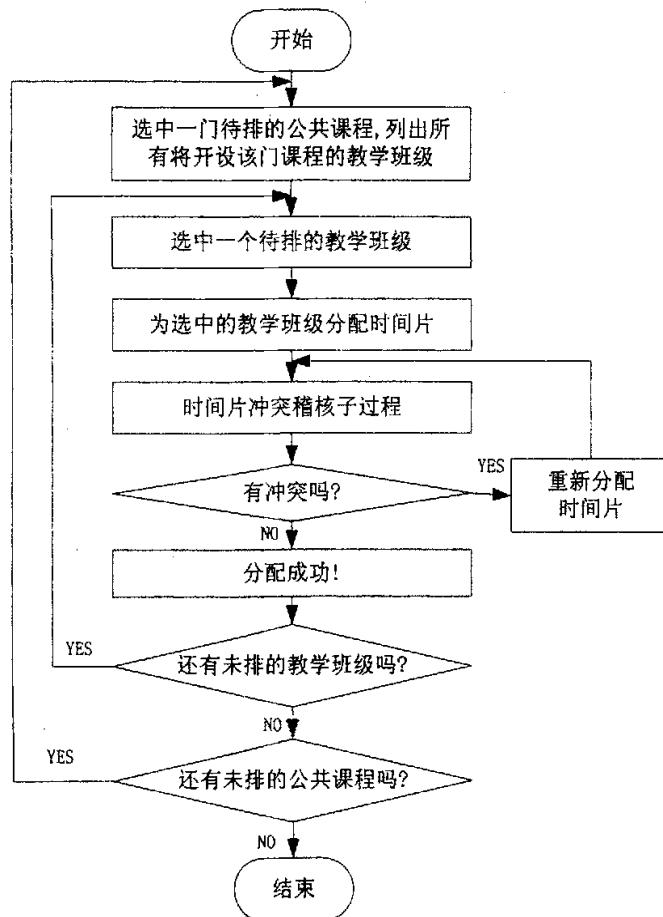


图6.10 基于课程的分配思想

(2) 基于班级的分配思想

以行政班级作为排课对象, 依次为所有的行政班级排课。也就是说, 每次排课都是在确定了特定的行政班级后, 给该行政班级排课。算法思想如下:

- 1) 列出所有的行政班级;
- 2) 选中一个行政班级, 列出其教学计划中所有的课程;
- 3) 选中一门课程;

- 4) 如果已经排过课, 则转 7) ;
- 5) 为其分配时间片;
- 6) 检查冲突; 冲突则转 5) ; 不冲突则转 3) ;
- 7) 还有未排课程, 则选择下一个课程, 转 4) , 否则转 2) 。

具体流程如图 6.11 所示:

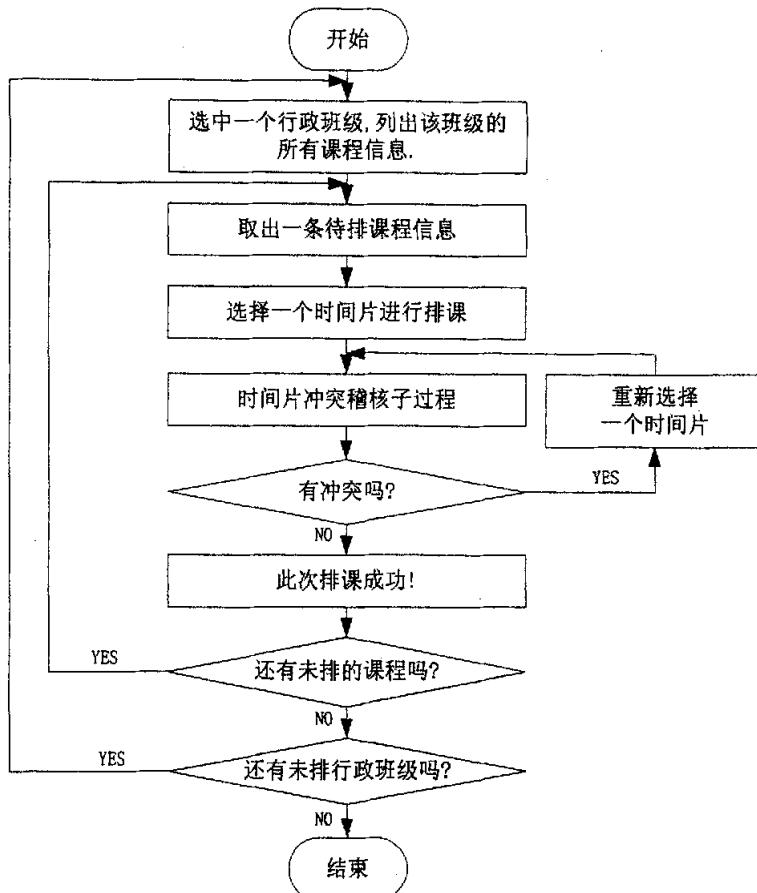


图 6.11 基于班级的分配思想

(3) 选修课处理思想

选修课又可以分为公共选修课和一般选修课。公共选修课的排课方式类似于公共课的排课方式, 以公共选修课程作为排课对象, 为选修该课程的所有班级分配时间片和上课场地。而对于一般选修课, 学生是以个体方式进行选课的, 而不管他属于什么班级, 在这种情况下, 可以引入选修班级的概念, 为选修同一门课程的学生建立一个选修班级, 并形成相应的教学班级, 然后再按基于班级的分配思想, 进行排课。具体流程类似于必修课的排课过程。

(4) 时间片的分配策略

1) “周”的确定

根据课程的排课要求, 可以分为多种排课方式:

- a) 连续周排课, 需要标明起始周和结束周;
- b) 奇偶周排课, 也就是间隔的安排, 要么是奇数周上课, 要么是偶数周上课, 需要标明起始周和结束周, 以及周的性质 (奇数周还是偶数周);
- c) 其他排课方式, 可以供用户自定义。

2) “天”的确定

一个星期有七天, 每周的上课天数小于等于七。根据国家规定, 采用双休日制, 也就是说每个星期有五天可以上课(如果有特殊情况, 比如校运动会等等, 也可以少于五天)。

在上面已经确定了上课周, 通过计算, 可以算出上课的总周数。而课时总数是确定的, 这样就可以算出每周的课时数。根据周课时数, 确定上课的“天”, 每天的课时数可以通过周课时数除以每周上课天数得到的平均数来确定。

- a) 若每周上 5 次课, 则每天排一次课;
- b) 若每周上 4 次课, 则通过随机数的办法, 在五天中取四天, 每天排一次课;
- c) 若每周上 3 次课, 采取 1, 3, 5 上课的策略;
- d) 若每周上 2 次课, 则也通过随机数的办法, 在五天中取两天, 尽量做到这两天不连续, 然后每天排一次课;
- e) 若每周上 1 次课, 也通过随机数的办法, 在五天中取一天, 把所有的课都排在那一天。

3) 时间片的确定

- a) 若一天只有一节课, 只需根据课程权重和时间片权重相匹配, 取权重差最小的时间片排课;
- b) 若一天有两节课, 两节连排, 并且包含课程权重和时间片权重差最小的时间片;
- c) 若一天有三节课, 或三节连排, 或一次一节, 一次两节, 并且分布在上、下午, 并且包含课程权重和时间片权重差最小的时间片;
- d) 若一天有四节课, 或四节连排, 或两节一排, 上午下午各两节, 并且包含课程权重和时间片权重差最小的时间片;
- e) 五节课以后, 可以参照 d)。

6. 7 时间片分配算法实现

6. 7. 1 基于课程的分配思想

```

Procedure 排公共课程
    for 所有的公共课程
        for 当前课程涉及的所有教学班级
            do
                {为当前的教学班级分配时间片, 启用时间片分配策略; }
                if 有冲突 then collision=0
                else collision=1;
            while collision=0
            next 教学班级
        next 公共课程
    End Procedure 排公共课程

```

6. 7. 2 基于班级的分配思想

```

Procedure 排必修课程
    for 所有的行政班级
        for 当前行政班级教学计划中的所有课程
            do
                {为当前的课程分配时间片, 启用时间片分配策略; }
                if 有冲突 then collision=0
                else collision=1;
            while collision=0
            next 课程
        next 行政班级
    End Procedure 排必修课程

```

6. 7. 3 时间片的分配策略

当分配时间片时, 已经可以得到班级信息(包括行政班级信息和教学班级信息)、

课程信息、教师信息、场地信息等等。由此可以得到 $CL[M, N, W]$ 、 $LL[M, N, W]$ 、 $TL[M, N, W]$ 、 $GL[M, N, W]$ ，再综合学校限制条件 $SL[M, N, W]$ ，运用相关数组运算，可以得到表示“所有时间片可排课与否”的状态数组信息 $ZL[M, N, W]$ ，分配时间片时，只需在这个状态数组中给课程找一个可排位置即可。

已知：教学班级，课程，教师，场地，周类型以及是否按周循环等信息。一次排课过程具体如下：

Procedure 时间片分配

```

{通过“周类型”过滤“周类型表”得到“总周数”和具体的“周次”;}
{通过课程号得到“总课时数”和“课程权重”;}
{通过总课时数和总周数，得到最大“周课时数”（取上整）;}
if 周课时数/5 >=3 then
    周天数=5          //平均每天大于 3 节课的话，则每周排 5 天的课
else
    choose case 周课时数
        case 10 to 14
            周天数=4    //每周上 4 天课
            //在 5 范围内，产生一个随机数，该数对应的天“不排课”
        case 6 to 9
            周天数=3    //每周上 3 天课
            //在 5 范围内，产生两个不同的随机数，该数对应的天“不排课”
        case 4 to 5
            周天数=2    //每周上 2 天课
            //在 5 范围内，产生两个不同的随机数，该数对应的天“排课”
        case is<=3
            周天数=1    //每周上 1 天课
            //在 5 范围内，产生一个随机数，该数对应的天“排课”
    end choose
end if
//通过上述过程，得到每周上课的“周天数”和每周具体的“天次”;
//通过“周课时数”和“周天数”，得到最大“天课时数”;
```

Choose Case 天课时数

Case 1

{取课程权重和时间片权重相差最小的空白时间片; }

Case 2

{取课程权重和时间片权重相差最小的、连续的两个空白时间片; }

Case 3

{取课程权重和时间片权重相差最小的、连续的三个时间片; 或者上午下午分别取一个或两个空白时间片, 使得课程权重和时间权重相差最小; }

Case 4

{取课程权重和时间片权重相差最小的、连续的四个空白时间片; 或者上午下午分别两个空白时间片, 使得课程权重和时间权重相差最小; }

Case 其他

{取课程权重和时间片权重相差最小的、尽量连续的空白时间片; }

End Choose

//通过上述过程可以得到每天上课的“节次”;

{通过“节次”、“天次”和“周次”往数据库中写数据, 完成一次排课。}

End Procedure 时间片分配;

第七章 排课系统的实施与测试

7.1 系统体系结构的选择

综合分析农林职业技术学院的实际情况，本系统采用C/S和B/S相结合的结构模式。

7.2 系统功能的设计与实现

考虑到课表编排并不需要太多的计算，主要是对数据进行处理，而且当课表排完以后，更多的工作是要进行打印输出，为此本系统选择了SQL Server 2000作为后台数据库管理工具，PB 9.0作为前台系统开发工具。将教学计划及各种约束条件存放到数据表中，待排完课后，再利用PB 9.0的强大的报表功能对课表进行打印输出。

整个系统根据需要划分为五个模块，每个模块又由几个子模块组成。本系统以排课模块为中心，配备系统基础信息设置、排课基础信息设置、查询统计和系统维护等几个外围模块。如图7.1所示：

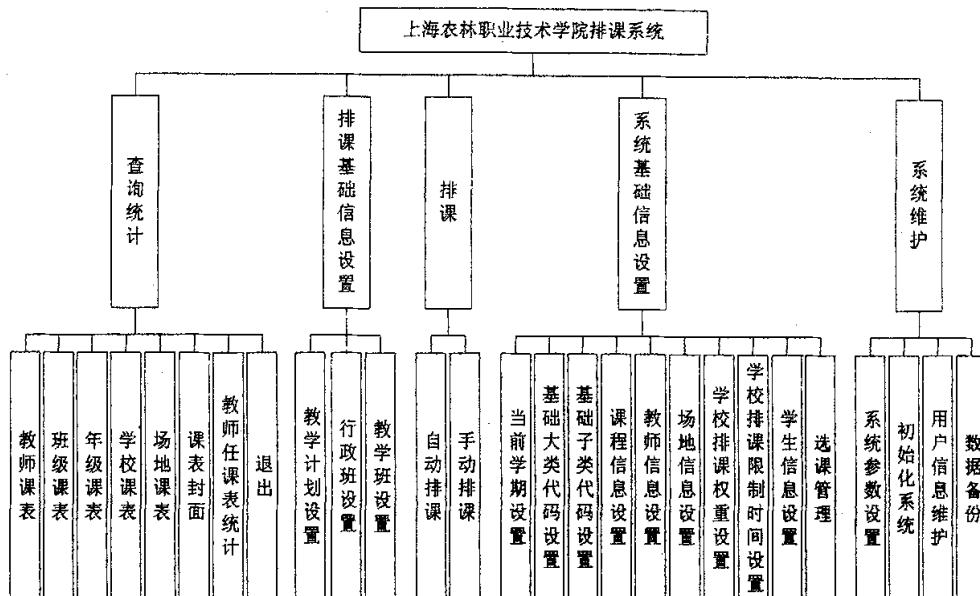


图7.1 系统功能模块图

各模块功能如下：

- (1) 系统基础信息设置模块主要进行排课系统的初始化工作，包括学期学年度设置、基础代码设置、课程、教师、场地信息设置以及学校、教师限制信息设置等等。
- (2) 排课基础信息设置模块主要包括行政班设置、教学计划设置和教学班设置等等。

- (3) 排课模块是整个系统的核心模块，它通过对各种数据以及各种约束条件进行分析，把笼统的教学计划加工成具体的课程表，以实现对教学资源合理高效的利用。主要包括手动排课和自动排课两部分。
- (4) 查询统计模块主要完成各类课表的输出打印，包括教师课表、班级课表、年级课表、学校课表、场地课表以及教师任课情况的统计等等。
- (5) 系统维护模块主要完成系统的初始化，以及系统参数的设置和用户信息的维护等等。

7. 3 系统测试

2005年1月，本系统已正式在上海农林职业技术学院投入运行，整体性能良好。2005年7月通过软件著作权申请。

7. 4 本系统的主要特点

- 由于课表问题的特殊性，本系统在设计时突出了以下特点。
- (1) 功能集成化，所有操作都集中于同一个界面，系统采用人机对话方式，使用起来直观方便。
 - (2) 具有微调功能，课表编排完后还可以根据需要进行课表的局部调整，从而增加了系统的灵活性。
 - (3) 可输出多种形式的打印报表，如班级课程表、教师课程表以及各种教室课程表。随时查询班级的授课情况、教师的任课情况以及教室的使用及空闲情况。
 - (4) 可最大限度地满足每个教师、教室的约束条件。
 - (5) 在不影响老生课表的前提下，可以随时加排新生课表。以适应某些学校对将要入校的新生人数以及专业选择情况无法事先预测的情况。
 - (6) 灵活的参数设置，如一学期几周上课，一周几天上课，一天几节上课等等，适合于不同体制的学校。
 - (7) 对不同的操作人员设置不同的权限，使用口令进入系统，对系统的数据安全提供了保障。

7. 5 本系统适用的对象

本系统可供所有类型学校的教务部门在课表编排工作中使用，包括全日制的中小

学、短期培训学校、各类中等职业学校、大中专院校以及普通高校。

另外本系统不仅仅可用于课表编排，凡是带有约束条件的资源分配问题都可以参考本系统加以解决。

第八章 总结与展望

课表编排是组合调度的典型问题之一，对合理性和可靠性都有相当高的要求，其特殊的复杂性吸引了国内外一大批研究人员对其进行深入研究，但是迄今为止，国内尚没有用户普遍反映良好的计算机自动排课系统。

本论文在目前流行的二维时间片划分方法的基础上，引入了三维时间片划分的思想，解决了对不规则周次排课的处理，实现了任意周次的排课。

本论文的最主要工作，是在分析了现有各种排课算法的基础上，根据农林职业技术学院人工排课的实践要求，以教学计划为基础，以三维时间片为结构，设计实现了计算机手动排课和自动排课功能模块，并对自动排课算法进行了较深入的研究，提出了一种新的多阶段自动排课算法(MACA)。

MACA算法通过使用多阶段决策理论和动态规划技术，把整个排课过程根据排课要素分为几个阶段，每个阶段采用不同的算法进行处理。其中，针对教师的分配，设计了两种算法：教师等概率分配算法和首次适应算法，并且对这两种算法进行了比较，提出了优化的教师分配算法——教师等概率首次适应分配算法；针对场地的分配，采用了场地最佳适应算法；针对时间片的分配，提出了一系列的分配策略，采用了加权分组匹配的思想，设计了时间片分配算法。每个阶段的工作都会影响后面的阶段，只有当所有阶段都完成了，排课才最终完成。

本论文还详细的分析了排课过程中的各要素，并对排课过程中可能出现的各种冲突进行了分析，提出了一系列的冲突稽核方法。另外，课程编排结束后，还可能出现各种各样的调课要求，本文对调课过程也进行了详细的分析和设计。

作为一个完整的应用系统，在功能方面，我们还设计了数据录入、信息查询、报表输出、用户管理等多个应用模块。在各个功能模块中，我们都进行了一些新的尝试，获得了较为满意的效果，使得整个系统具有良好的安全性、较好的用户友好性、较快的运行速度和准确的运行结果。

然而，由于课表问题规模大、约束复杂等特点，本论文在排课算法的完善方面还有一些工作要做，例如，在时间片分配策略方面，如何分配才更合理等。虽然MACA算法还有一些不足之处，但是在课表问题的研究方面提出了一种全新的思路，并较好的实现了计算机自动排课功能。

论文创新点

本论文的主要创新点如下：

1. 结构创新

针对目前流行的二维时间片划分方法的缺陷，提出了一种新的时间片的划分方法——三维向量的时间片划分方法。采用三维的时间片结构，实现了“上课节次”、“上课天次”和“上课周”的三维向量的统一，使得排课工作可以定位到任意天的任意一个时间段，极大的增强了排课的灵活性和合理性。

2. 算法创新

基于三维时间片结构，提出了一种新的自动排课算法：多阶段自动排课算法MACA。该算法采用了多阶段决策和动态规划技术，将整个排课过程划分成一系列前后相互关联的阶段，并为每一阶段提出了相应的处理算法，主要包括如下几个部分：

- (1) 教师分配算法：针对教师的分配，提出了两种分配算法——教师等概率分配算法EPDA和首次适应分配算法FMDA，并在分析比较这两种算法的优缺点的基础上，结合这两种算法思想，提出了一种优化的分配算法——等概率首次适应分配算法EPFMDA。
- (2) 场地分配算法：针对场地的分配，结合内存分配的最佳适应思想，提出了场地的最佳分配算法OADA。
- (3) 时间片分配算法：在时间片的分配过程中，首先利用三维时间片划分方法，将每学期的上课时间划分为一系列用三维向量表示的时间片；第二，利用动态规划的思想，将排课过程中的约束条件用数学方法进行表示，并分析了排课的可行解和近似最优解；第三，根据时间片分配策略，采用加权分组匹配思想，提出了时间片分配算法TSDA，把排课过程分为两类，一类是基于课程的分配，一类是基于班级的分配，然后再根据课程的权重和时间片的权重相匹配进行分配。

参考文献

- [1] Tim B.Cooper, Jeffrey H.Kingston. The Complexity of Timetable Construction Problems. Proc. ICPTAT'95, Pp:183~295,1995.
- [2] Gotlieb. C.. The construction of class-teacher timetable. Information processing, Proc. IFIP Congress. Pp:73~77,1962.
- [3] S. Even, A. Itai, and A. Shamir, On the Complexity of Timetable and Multicommodity Flow Problems, SIAM J. Comput., 5(4):691~703.1976.
- [4] A.Tripathy.Computerised decision aid for timetabling —— a case analysis, Discrete Applied Mathematics, Vol.3. 5, No3, Pp:313~323,1992.
- [5] J.Aubin,J.A.Ferland. A large scale timetabling problem. Computers and Operations Research. Vol.16.No.1.Pp:67~77.1989.
- [6] Schaefer, A., Tabu search techniques for large high-school timetabling problems, Proceedings of the 13th American Conference on Artificial Intelligence (AAAI-96), Portland, Oregon, USA August.Pp:363~368.1996.
- [7] F. Glover and M. Laguna. Tabu Search. Kluwer Academic Publishers, Bostonetal.,1998.
- [8] 王 涛.谢仲生. 混合遗传算法在压水堆换料优化中的应用. 西安交通大学学报 Vol.39, No.5. Pp:522~525.May,2005.
- [9] 戴春达. 基于模拟记忆搜索算法的智能排课系统. [硕士学位论文] 中国科学院.2003.
- [10] Kirkpatrick, S., Gellatt, C. D., and Vecchi, M. P.. Optimization by simulated annealing. Science, 220:671~680.1983.
- [11] Abramson, D., Constructing school timetables using simulated annealing: Sequential and parallel algorithms, Management Science, 37(1) 98~113.1991.
- [12] Melicio, F., Caldeira, P., and Rosa, A., "Solving the timetabling problem with simulated annealing", Proceedings of the First International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS'99), Pp:272~279.1999.
- [13] 李增智.王云岚.陈婧. 课程表问题的一种混合型模拟退火算法 西安交通大学学报 Vol.37 No.4.Apr.2003.
- [14] E. Ozcan, A. Alkan: Timetabling using a Steady State Generic Algorithm (abstract), Pp:104~106.pdf.
- [15] E. Burke, D. Elliman, and R. Weare, A Genetic Algorithm Based Timetabling System, Proc. of the 2nd East-West Int. Conf. on Computer Technologies in Education, Pp:35~40,1994.
- [16] 陈本庆. 遗传算法研究及其在排课问题中的应用. [硕士学位论文] 西南交通大学.2003.
- [17] 杨 宇. 高校排课系统理论研究与开发——遗传算法在课表问题中的应用. [硕士学位论文] 北京理工大学.2003.
- [18] 胡献华. 基于遗传算法的自动排课问题的研究. [硕士学位论文] 浙江工业大学.2004.
- [19] 杨为民. 使用遗传算法编排课程表的研究与应用. [硕士学位论文] 安徽大学.2003.
- [20] 张春梅. 用自适应的遗传算法求解大学课表安排问题. [硕士学位论文] 内蒙古大学.2001.
- [21] 业 宁.梁作鹏.董逸生. 一种基于遗传算法的 TTP 问题求解算法.东南大学学报(自然科学版). Vol.33 No.1.Jan.Pp:41~44.2003.

- [22] 赵鲁涛. 计算机智能排课系统的设计与实现. [硕士学位论文] 北京科技大学.2004.
- [23] 杨 怡. 高等院校自动排课系统的设计与实现. [硕士学位论文] 北京工商大学.2001.
- [24] 常金娥. 排课信息系统的应用与实现. [硕士学位论文] 北京理工大学.2001.
- [25] 王晓昕. 专家系统在自动排课中的应用研究. [硕士学位论文] 北京理工大学.2002.
- [26] 胡小兵,鲁宏伟. 基于模糊专家系统的排课系统关键技术的研究.长沙电力学院学报(自然科学版).Vol.16 No.4.Nov.Pp:26~28.2001.
- [27] 佟 林. 基于专家系统的排课软件的研究与设计. [硕士学位论文] 哈尔滨工程大学.2004.
- [28] 丁德路. 智能规划及其时间表问题(TTP)应用研究. [硕士学位论文] 中山大学.2001.
- [29] 郭方铭. 基于增强学习算法的智能排课模型. [硕士学位论文] 武汉理工大学.2004.
- [30] 陈海珊. 基于智能规划的排课问题算法. [硕士学位论文] 中山大学.2002.
- [31] 王云岚. 时间表问题的模型及其解法. [硕士学位论文] 西安交通大学.2001.
- [32] 李 爽. 高校课表编排的算法与实现. [硕士学位论文] 辽宁师范大学.2004.
- [33] 郭 军. 排课算法研究与实现. [硕士学位论文] 东北大学.2001.
- [34] 胡延琴. 系统分析与开发策略研究. [硕士学位论文] 电子科技大学.2003.
- [35] 付雪峰. 中小学课表编排算法研究. [硕士学位论文] 北京工商大学.2002.
- [36] H. Rudov'a, K. Murray: University Course Timetabling with Soft Constraints (paper),Pp:73~89.pdf.
- [37] Andrea Schaerf. Local Search Techniques for Large High-School Timetabling Problems. IEEE Transactions on Systems,Man and Cybernetics.1~11.pdf.
- [38] 颜 鹤. 局部搜索算法的改进及其应用. [硕士学位论文] 上海大学.2004.
- [39] 吴志斌,陈淑珍,孙晓安.回溯算法与计算机智能排课.计算机工程. Vol.25 No.3.Pp:79~80.March.1999.
- [40] 昌玉剑. 计算机辅助排课系统的设计与实现. [硕士学位论文] 北京科技大学.2005.
- [41] 吴金荣. 关于课程表问题的研究. [硕士学位论文] 中国科学院.2003.
- [42] 吴金荣. 求解课程表问题的分支定界算法. [硕士学位论文] 中国科学院.2002.
- [43] 魏静波. 计算机自动排课的技术研究. [硕士学位论文] 大连铁道学院.2003.
- [44] 魏 峻. 排课算法的研究与实现. [硕士学位论文] 西安电子科技大学.2002.
- [45] 多阶段决策过程最优化问题 <http://www.zsqz.com/jsbase/suanfa/dtguihua/chapter1.htm>
- [46] 动态规划的基本知识 <http://www.zsqz.com/jsbase/suanfa/dtguihua/chapter2.htm>
- [47] 最优化原理与无后效性 <http://www.zsqz.com/jsbase/suanfa/dtguihua/chapter3.htm>
- [48] 陶宏才 数据库原理及设计 清华大学出版社.2004
- [49] 张长富等 PowerBuilder 9.0 实例教程 电子科技大学出版社, 北京希望电子出版社.2004.
- [50] 软件体系结构的现状及发展方向 <http://51cmm.csai.cn/NewTech/No040.htm> 希赛软件工程

在学期间的研究成果

1. 参与项目

- (1) 上海市农林职业技术学院的《排课系统、网上选课系统》，本人参与了项目从开始的分析、设计到编程、测试全过程，该项目已于 2005 年 1 月份正式启用；2005 年 7 月通过软件著作权申请。
- (2) 参与了与日本某公司合作的《从指纹考勤机到通用工资计算系统》的开发全过程。

2. 发表论文

- (1) “高校师资管理系统设计与关键技术” 《盐城工学院学报》2005 年第 2 期 1 人 1
- (2) “C#和 Java 中数据类型控制结构等的比较与分析” 《福建电脑》(2005. 7) 1 人 1
- (3) “综合数据库系统中关联规则挖掘” 《福建电脑》(2005. 12) 1 人 1
- (4) “高职排课系统的功能与数据流程” 《计算机应用与软件》 2004 年增刊 2 人 1

致 谢

首先感谢我的导师胡荷芬副教授。本文自始至终都是在导师的悉心指导和关怀下完成的，导师虚怀若谷的风范、渊博的学识、严谨的治学态度都给我留下深刻的印象，使我受益匪浅。值此论文完成之际，向导师三年来的辛勤培养和教诲表示衷心的感谢！

衷心感谢朱德通教授、陈军华副教授对我的指导和帮助，朱老师和陈老师严肃认真地工作态度、孜孜不倦的钻研精神永远是我学习的榜样。

感谢周俊民师兄，他为本课题的研究与实现做了大量工作，给了我很大帮助，是按时完成课题任务的重要保证。感谢他在我论文完成期间提供的无私帮助和大量指点。

感谢苏桂莲同学、孙芙蓉同学和张娜娜同学，同窗三载，我们互相帮助，互相学习，共同进步，结下了深厚的友谊。

我还要感谢我的多位好友，在师大和他们一起度过的愉快的求学生涯将给我留下美好的回忆。

最后，我要特别感谢我的父母和家人，是他们的不断的鼓励和关怀支持着我度过了在师大的求学生涯。

论文独创性声明

本论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。论文中除了特别加以标注和致谢的地方外，不包含其他人或机构已经发表或撰写过的研究成果。其他同志对本研究的启发和所做的贡献均已在论文中做了明确的声明并表示了谢意。

作者签名: 钱德凤 日期: 2006.5.19

论文使用授权声明

本人完全了解上海师范大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件，允许论文被查阅和借阅；学校可以公布论文的全部或部分内容，可以采用影印、缩印或其它手段保存论文。保密的论文在解密后遵守此规定。

作者签名: 钱德凤 导师签名: 胡海玲 日期: 2006.5.19