

摘 要

企业资源计划 ERP 是当今世界各类制造业普遍采用的一种管理信息集成系统。本文简要地介绍了 ERP 在制造业中的地位和作用、发展史、特点、ERP 在我国企业的应用现状以及与制造资源计划 MRP II 的主要区别。

车间作业调度问题是最困难的组合优化问题之一,也是计算机集成制造系统中的一个关键环节,在实际生产中具有广泛应用。本文根据工厂车间生产模式给出了基于工序模式的遗传算法编码设计方式,并且基于这种编码方式对车间作业调度的成本模型做了优化。该模型是一个在时间、可重复使用和不可重复使用资源约束下的多模式车间作业调度问题,加入了不同工序在不同模式下最小延迟,从而使基于该模型的车间作业调度问题能够达到时间—成本双优的效果。

算法的设计是解决问题的关键,由于标准遗传算法求解车间作业调度问题存在过早收敛问题,会产生局部最优解,所以本文采用双倍体遗传算法进行求解。双倍体遗传算法提供了一种记忆以前有用的基因块的功能,提高了算法的适应能力。本文以一个简单例子,讨论了车间作业调度问题,随后利用训练数据随机生成了遗传算法中的初始群体,并利用双倍体遗传算法进行了调整,通过仿真实例,给出了算法的性能寻优跟踪曲线由此得出的结论,可以看到这是一种行之有效的方法。

关键词 企业资源计划; 车间作业调度; 作业排序; 生产计划; 遗传算法;
成本优化

Abstract

Enterprise Resource Planning (ERP) is a kind of integrated management information system, which has being widely adopted by all sorts of the world. This paper introduced status of ERP in the manufacturing, its history, characteristic, present applied conditions of internal manufacturing and the main distinguish from Manufacturing Resource Planning (MRP II).

Job-shop Scheduling Problem(JSP) is one of the hardest combinatorial optimization problems, It is a pivotal link on CIMS and wildy applied to the engineering. A genetic algorithms code design mode based on the working procedure pattern is brought forward by factory workshop produce mode, and a cost optimization model based on this mode for JSP is built in this paper, which is a multi-mode JSP subject to the constraints of time, renewable resources and nonrenewable resources. Joined the different working procedure the minimum delay to enable it under the different pattern to achieve the time-cost double superior purpose.

Algorithm design is the pivotal factor of solving the problem. Because the standard genetic algorithms(GA) solve the JSP to exist prematurely restrain the question and can have the partial optimal solution, therefore the double chromosomes genetic algorithms is used to carry on the solution in this paper. Because the Algorithm remembering the useful gene pieces is provided, the adaptation of algorithm is increased. This thesis takes a simple instance as example to discuss JSP. We random generate the initial colony of GA by using the large numbers of data and we adjust it by double chromosomes genetic algorithm. By the simulation example, we receive the tracking cure and the conclusion. The simulation results indicate that this method is effective.

KeyWords enterprise resource planning; job-shop scheduling; sequencing;
production scheduling; genetic algorithm; cost optimization

第1章 绪论

1.1 选题意义

中国正式宣告进入 WTO，并将成为亚太地区制造中心，全球众多制造业巨头都在等待争夺中国这个大市场。我国企业的外部经济环境也面临着市场竞争的巨大压力，诸如：竞争使得产品生产的批量越来越小；产品的生产周期越来越短；顾客对产品性能、质量的要求越来越高；一般水平的产品及制造能力严重过剩；环保意识、绿色制造的要求越来越强；能参与全球竞争的企业越来越多。从企业的内部条件看，多数企业新产品设计开发能力弱，管理粗放且工艺技术装备落后。

改革开放以来，我国从计划经济逐步转变为社会主义市场经济，国有企业在管理上存在诸多的不适应^[1]：

(1)原材料实行市场调节，导致企业物料成本大幅度上升，整个企业的利润减少；

(2)计划经济下“库存生产型”的计划及按产品品种与批量的轮番投产的生产方式造成产、成品大量积压；

(3)重产出的管理方式造成库存资金占用大，资金周转率低；

(4)人工粗放型管理和纵向直线职能式的组织机构不能有效利用企业资源；

(5)企业的管理人员多数靠经验管理，知识老化，观念陈旧，缺少先进的管理思想；

(6)人工经验设计，致使产品技术附加值低，更新换代慢，对市场的快速反应能力差。

从市场经济下企业面临的严峻形式上看，为保证国民经济的持续发展，必须采用信息技术和现代管理技术，用先进制造技术 CAD、MRP II、ERP、CIMS^[2]来提高我国企业的技术创新能力和市场竞争能力。ERP 正是在这样的国情和背景下转变为企业的需求，从政府行为、单纯计算机技术的推广应用行为转变为以提高企业市场竞争力为目标的企业行为。

实施 ERP 是企业由计划经济下形成的粗放生产型管理向市场经济要求的现代化企业的经营效益型管理转化的过程,其中包括企业的改革、改组、改制,涉及管理机制、管理方法、管理观念等,是企业管理的一项重大改革,充分认识 ERP 具有深远的意义。而 ERP 系统中生产模块是企业生产的核心。企业的生产计划往往是一个从粗到细的 Top-Down 过程,从企业的生产经营计划(BP)、生产计划(PP)、主生产计划(MPS)、物料需求计划(MRP)到车间作业计划(PAC)等,下一层计划是对上一层计划的细化和落实,计划的执行单位在车间层,生产计划的优化是一个从 PAC 开始逐层向上的 Bottom-Up 过程,因此,车间作业调度的优化对于整个企业的生产重要作用。

1.2 ERP 的发展史

ERP(Enterprise Resources Planning)即企业资源计划,是由制造业发展起来的,目前主要还是在制造业中应用,因此认识 ERP 必须从制造业开始。

制造企业从社会化大市场中获得资金、物资、人才等资源,又将资源转化为某种社会需求的产品,并将商品销售到用户手中。制造企业自身就以生产物质商品为自己的赢利和生产手段。因而制造企业必须用最少的资源消耗,获取最大的增值。有效的资源获取、转换和分配就成为制造企业经营活动的主要内容。获取资源、转化和分配是通过它的计划与控制来完成的。编制满足需求数量和交付期的计划,监督和控制该计划的实现,并且所编制的计划使企业在满足需求的前提下,资源的分配最合理和消耗最少、生产最经济的,就成为现代制造企业的核心。

制造企业同时满足不断变化的用户需求和生产过程资源消耗最少这两个原则之间是相互矛盾的。解决这一矛盾的理论和方法成为现代化制造管理研究的焦点和进步的动力。随着企业在社会中的作用范围的扩大和企业对资源理解的深化,制造计划理论和应用就这样不断地发展和深化了。

从 1957 年美国生产与库存控制协会(American Production and Inventory Control Society, APICS)的成立与 1960 年前后 Joseph Orlicky 等人

开发的第一套物料需求计划(Material Requirements Planning, MRP)软件的面世到现阶段,纵观近四十年发展历程,ERP的发展大体上经历了四个阶段^[3]:

(1)作为一种库存定货计划—MRP,即物料需求计划阶段,或称基本MRP阶段^[4];

(2)作为一种生产计划与控制系统—闭环MRP阶段^[5]。在这两个阶段,出现了丰田生产方式(看板管理)^[6]、全面质量管理(TQC)^[7]、准时生产(JIT)^[8]以及数控机床等支撑技术;

(3)作为一种企业经营生产管理信息系统—MRP II阶段^[9]。这一阶段的代表技术是CIMS^[10];

(4)ERP的形成阶段 融合了其他现代管理思想和技术,面向全球市场,建设“国际优秀制造业”^[11]。这一阶段倡导的观念是精益生产、约束理论(TOC)、先进制造技术、灵敏制造以及现在热门的Internet/Intranet;

(5)ERP II—扩展型ERP。这个概念提出时间是2000年,在Gartner Group率先提出ERP的概念10年之后,Gartner又提出了一个新的概念ERP II。这一阶段的管理范围更加扩大,继续支持与扩展企业的流程重组,运用最先进的计算机技术,基于协同商务,面向e-business环境下的虚拟企业集成,ERP II是一个发展中的概念,还未完全形成。ERP II是ERP的未来。

可以发现,ERP系统发展中的每一次进步都与社会经济的发展阶段,企业所处经营环境的变化息息相关,尤其重要的是,新的管理哲学、管理理论、管理技术的出现,必然地成为ERP系统发展的直接催化剂。

1.2.1 库存控制定货点法

早在四十年代初期,西方的经济学家就提出了定货点法理论^[12],它根据每种物料需求量和订购(生产)时间的历史记录以及经验来估算未来的物料需求,即库存物料数量随物料消耗而减少,当某一时刻库存量可供消耗的时间等于此种物料的生产提前期^[13]时,就要进行订货以补充库存。决定订货时的数量和时间即定货点^[9]。

定货点法的假设条件是：物料需求是相互独立且连续发生的；提前期是已知和固定的；物料短缺应及时填满。由于这些假设条件在现实中很难满足，比如制造业生产中的零部件的需求就是根据由它们装配而成的最终成品的需求所决定的，是不独立需求，或称相关需求，所以定货点法存在着严重的不足和局限。

1.2.2 时段式 MRP

为了解货点法存在的缺陷，60年代人们又提出了时段式 MRP。MRP(Material Requirement Planning)，即物料需求计划。它在传统方法的基础上引入了时间段和物料清单(BOM)^[14]的概念，依据产品结构和库存情况，以完工日期为准则，按制造和采购提前期的不同而倒排计划，确定 BOM 上所有物料的需求和订货时间，从而达到了能够及时、准确、动态地反映生产系统中物料需求情况。

时段式 MRP 先通过产品结构文件将主生产计划中对产品的需求进行分解，生成对部件、零件以及材料的毛需求量计划。进而利用毛需求量、库存情况、计划期内各零部件定货或在制品情况等数据进行计算，以确定在产品结构各层次上零部件的净需求量，以及零部件生产计划。时段式 MRP 将产品计划转化为零部件生产(订购)计划，计算出为完成生产计划的要求，应生产哪些零件，生产多少数量，何时下达零部件生产任务，何时交货。

但是时段式 MRP 仍存在着缺陷，比如它没有解决如何保证零部件生产计划成功实施的问题，它缺乏对完成计划所需的各种资源进行计划与保证的功能，也缺乏根据计划实施实际情况的反馈信息和对计划进行调整的功能。因此时段式 MRP 主要应用于订购的情况，涉及的是企业与市场的界面，而没有深入到企业生产管理的核心中去。

1.2.3 闭环 MRP

进入 70 年代后，人们针对 MRP 的缺陷，又提出了闭环式 MRP。其原理是在 MRP 的基础上，增加生产能力负荷^[15]分析，只有当生产能力得

到及时确认后,才能继续执行物料需求计划、能力需求计划^[16]和车间作业计划,并且建立车间现场、采购信息反馈机制,以便及时地控制和调整计划的执行。闭环 MRP 理论认为,只有在考虑能力的约束,或者对能力提出需求计划,在满足能力需求的前提下,物料需求计划(MRP)才能保证物料需求的执行和实现。在物料需求计划执行之前,要由能力需求计划核算企业的工作中心的生产能力和需求负荷之间的平衡情况。

在闭环式 MRP 中,主生产计划及物料需求计划计算以后,要通过粗能力计划、能力需求计划等模式进行生产能力平衡。若生产能力不能满足计划要求,应根据能力调整相应的计划。同时,它还能收集生产(采购)活动的执行结果,以及外界环境变化的反馈信息,作为制定下一周期计划或调整计划的依据。由于增加了上述功能,使之形成“计划—执行—反馈”的生产管理循环,使得物料需求计划的可执行性和可操作性大大提高,同时也增强了生产管理对市场的应变能力。

1.2.4 制造资源计划—MRP II

闭环式 MRP 系统的出现,使得生产活动形成了一个较完整的环形回路,但是却忽略了一个重要的问题。在企业管理中,不仅要涉及以制造为主线的物流和信息流,还有与之密切相关的资金流。于是进入八十年代后,人们逐渐认识到,应建立一个一体化的管理系统,把生产、财务、销售、库存、工程技术、采购等子系统紧密结合起来,形成一个系统整体,这便是 MRP II。

1.2.5 企业资源计划—ERP

1990 年,美国 Gartner Group 公司在当时流行的工业企业管理软件 MRP II 的基础上,提出了评估 MRP II 的内容和效果的软件包,这些软件包被称之为 ERP。Gartner 给 ERP 的界定为:超越 MRP II 范围的集成功能;支持混合方式的制造环境;支持能动地监控能力,模拟分析和决策支持;支持开放的客户/服务器计算环境。集成范围是面向供需链的需求市场、制造企业、供应市场信息集,克服 MRP II 局限;实现和供应企业、需求

企业信息集成。

1.2.6 扩展型 ERP—ERP II

ERP II—扩展型 ERP。这个概念最早提出时间是 2000 年，在 Gartner Group 率先提出 ERP 的概念 10 年之后，Gartner 又提出一个新的概念—ERP II。这一阶段的管理范围更加扩大，继续支持与扩展企业的流程重组，运用最先进的计算机技术，基于协同商务，面向 e-business 环境下的虚拟企业集成，ERP II 是一个发展中的概念，还未完全形成。ERP II 是 ERP 的未来。

1.3 ERP 在我国企业的应用现状分析及对策

70 年代末到 80 年代初，沈阳鼓风机厂引进了 IBM 公司的计算机并实施其 COPICS(Communication Oriented of Production and Information Control System)软件，即面向通信的生产和信息控制系统。COPICS 系统是一种 IBM 商业化的 MRP II 软件包，它的引进标志着 ERP 的管理概念和方法开始引入我国。2003 年初本人参与山东鲁能电缆有限公司 ERP 实施项目，亲身感受 ERP 在我国的发展情况。ERP 系统越来越受到我国众多制造企业的重视。据抽样调查统计，近二十多年以来，我国不同程度引进 ERP 系统的企业近千家，总投资额约 80 亿元^[22]。

按实施过程的不同阶段，可以将这些企业分为三类^[23]。第一类的企业是指进行了系统总体规划，计划的编制已开始由手工完成向计算机辅助完成转变，对基础数据进行整理，开展了前期工作的企业；第二阶段的企业是指在第一阶段基础上，已经应用了系统的部分模块进行库存管理、采购管理、订单管理、材料用量管理等，基本上形成了时段式 MRP 的企业；第三阶段的企业是指向能力需求计划扩展，把车间作业计划、销售、财务导入系统，基本上形成闭环 MRP，或者已经形成 ERP 的企业。

然而真正实现了 ERP 系统的企业毕竟是少数，这是因为改革开放后，我国企业的经营机制由生产型向生产经营型转变，改革是一个相当长的过程，因此工业企业中有许多情况与 ERP 系统的应用条件和假设相矛盾，

传统生产模式与 ERP 思维之间主要差距^[24]。

除此之外，企业内部还存在着其它一些因素，制约了 ERP 作用的充分发挥，比如：

(1)企业领导对什么是 ERP 系统并不了解，因此往往出现项目组织和人选不当，不能有效地进行企业管理改革，不能克服传统管理思想和模式的阻力，阻碍系统实施；

(2)企业对应用 ERP 系统的紧迫性认识不足，因此延误时机，不利于提高企业在国内外市场的竞争力；

(3)缺乏规范有效的数据。作为一种管理信息系统，ERP 要进行大量的数据处理，而数据处理的准确性、及时性和完整性是计算机辅助企业管理的最基本要求。但由于外部环境的不确定因素很多，在企业内部的生产作业、在制品定额和原材料采购等环节的控制决策又要有人来完成，难以得到准确有效的基础数据，这直接影响到 ERP 的实施效果；

(4)目前国内缺乏既有权威又富有实践经验的管理咨询机构为企业的 ERP 项目服务，导致不必要的浪费。

结合 ERP 在我国的实施现状，应注意以下几个方面的问题^[25]：

(1)企业决策层应加强对 ERP 的支持和直接参与。ERP 的开发与实施是对企业管理模式、管理思想及管理方式的一场变革，而不是局部的技术改造，因而需要管理层的支持与调控，以便能在设计的有关部门顺利实行；

(2)彻底转变观念，包括市场观念、时间观念、质量观念、成本意识、信息意识等；

(3)根据企业的需求选用适用的 ERP 软件；

(4)用科学的方法组织系统的开发、实施；

(5)注意 ERP 的应用范围，减少不必要的浪费。

1.4 研究 ERP 系统中生产调度问题解决方法的重要性

柔性制造系统作为一类复杂的人造系统，具有复杂性、递阶结构、不确定性、多目标、多约束、多资源相互协调等特点。鉴于其重要的应用价值和理论意义，相关的分析与控制的研究方法已受到工业界和控制界的广

泛关注。制造系统的分析,是基于系统的已知配置和决策,在一定的假设条件下,对系统的各种性能进行评估;而制造系统的控制,则是根据一定的目标和约束来确定系统的配置和决策。研究控制策略的目的是提高系统的性能,而系统分析的目的则是更好地优化和控制系统。制造系统的分析和控制方法,从理论体系上可分为运筹学方法、马尔可夫链、排队论、极大极小代数、摄动分析法、Petri 网、自动机/形式语言和仿真方法等。它们涉及系统的逻辑层次、时间层次和随机层次,进而形成离散事件动态系统的理论框架。

生产调度是制造系统的一个研究热点,也是理论研究中最为困难的问题之一。调度的任务是根据生产目标和约束,为每个加工对象确定具体的加工路径、时间、机器和操作等。优良的调度策略对于提高生产系统的最优性和提高企业经济效益有着极大的作用。由于系统建模方法的多样性,以及问题的侧重点不同,调度方法和研究对象也有明显的不同。就对象而言,有确定性和随机性调度、离散事件和连续事件调度、静态和动态调度等。就调度方法而论,有 Gantt 图法、构造型方法、动态规划、分支定界法、排队论方法、规则调度方法和仿真方法等。调度的优化指标包括正规性能指标和非正规性能指标,常用的指标有最大完成时间、平均加工时间、平均延迟时间、生产成本和 E/T 指标等。

目前,对调度理论的研究已受到广泛的关注,并取得了较大的进展,但还很不成熟。其中,对调度问题的复杂性研究已成为工程背景很强的一个应用数学分支。在算法研究方面,基于知识的方法和算法技术相结合的趋势正变得日趋显著,概率分析方法在算法效率和性能方面的研究日益增多。对于难以求得最优解的问题,给出多项式时间的搜索方法具有很大的现实意义。同样,算法的随机性能分析也是比较有效的分析手段。算法研究中,最优化性能的渐近性分析具有理论指导性,而基于启发式算法的误差估计来确定次优度无疑同样具有很大的意义。由于约束条件的存在导致难以建立数学模型,纯数学的方法往往不易奏效,也不易处理并发现象,因此,从工程中“满意”即可的实际需求出发,寻求满足约束条件的快速有效的优化算法正变得更有现实意义。迄今,计算复杂性理论表明,多数

调度问题都属于 NP 难题。线性规划、动态规划、分支定界和梯度下降等传统方法，或是需要目标函数的特殊信息，或是复杂度大，或是优化性能差，因而一般只能处理小规模问题，难以高效高质量地求解大规模复杂的调度问题。

人们正是由于意识到基于计算和数值式的优化技术的弱点，以及调度问题的约束性、非线性、多极小性、不确定性、大规模性、多目标性等复杂性，才努力研究和发展了统计式全局搜索技术和人工智能的方法，例如模拟退火、遗传算法、禁忌搜索、进化规划、进化策略、神经网络方法、Lagrangian 松弛方法和混沌优化法等。这些优化算法通过模拟或者揭示某些自然现象、过程和规律而得到发展，以人类知识和理解客观事物的知识、经验等作为解决问题的方法，其思想和内容涉及数学、物理学、生物进化、人工智能、神经科学和统计力学等，为解决复杂问题提供了新的思路 and 手段。迄今，这些算法独特的优点、机制及其非凡的优化能力，引起了国内外学者的广泛重视，并掀起了该领域的研究热潮，而且在诸多领域得到了成功应用，较满意地解决了一大批传统优化方法难以解决的复杂问题。为此，国际上已设立了相应的学术协会和诸多相关的学术期刊与会议，而遗传算法则是其中研究与应用最广的一类优化算法。

1.5 课题来源及论文的结构安排

本课题研究内容分为三部分，第一部分是本人在山东鲁能电缆有限公司实习期间对该公司应用的 ERP 系统所用的韩国三星公司的 UNIERP 软件包和实际生产模式的理解，提出了基于工序模式的遗传算法编码设计方案，对基于工序模式编码方式加以研究和分析；第二部分是给出车间作业调度问题面向成本优化的模型；第三部分是利用双倍体遗传算法根据第二部分提出的模型对车间作业调度问题进行求解。

论文的结构安排如下：

第 1 章简要介绍了本研究课题的意义，ERP 的历史和现状以及对 ERP 在我国发展前景进行分析，随后进一步介绍了应用在 ERP 系统中的车间作业调度问题。在本章的最后给出了本课题的来源和论文结构的安排。

第 2 章首先简要叙述了基本生物进化理论和遗传学基本知识和遗传算法的理论基础以及遗传算法的基本流程。随后介绍了关于 ERP 系统生产管理的一些必要的基础知识,对车间作业调度问题做了简要的介绍。最后简要介绍了一下仿真工具 MATLAB 的知识。

第 3 章首先根据本人亲身参与的实施项目介绍 ERP 项目实施实际情况,对 UNIERP 系统做了简要的性能分析,其次介绍了遗传算法的编码设计方法,列举了一些比较常见编码方式,并且根据评价标准对这几种编码方式进行了分析;提出了基于工序模式的遗传算法编码设计方案,对基于工序模式编码方式加以研究。

第 4 章介绍了车间作业排序问题有很多不同的分类,相当一部分书籍都对流水车间的排序问题作了介绍,根据第三章提出了基于工序模式的遗传算法编码设计方案,给出了一种成本和时间双优的优化模型。

第 5 章首先介绍了对于解决车间作业调度问题的几种解决方法,给出了双倍体遗传算法解决车间作业调度问题的设计方案并用 MATLAB 软件对该算法进行仿真,最后用提出设计一个存储过程来实现算法功能,给出了源程序的初步框架。

第2章 理论知识简介

2.1 遗传算法简介

遗传算法是人工智能的重要新分支,是基于达尔文进化论在计算机上模拟生命进化机制而发展起来的一门新学科。该算法建立在自然选择和自然遗传学机理基础上,是一种迭代自适应概率性搜索算法,最早由美国的 J.H.Holland 教授提出,模拟了自然选择和自然遗传过程中的选择、交叉、变异现象,根据适者生存、优胜劣汰的自然法则,利用遗传算子,逐代产生优选个体,最终搜索到较优的个体,具有不需求梯度、能得到全局最优解、算法简单、可并行处理等优点。目前随着计算机技术的发展,它愈来愈得到人们的重视,并在机器学习、模式识别、神经网络、优化控制等领域得到广泛应用^[26]。

2.1.1 生物进化理论和遗传学的基本知识

生命自从在地球上诞生以来,就开始了漫长的生物进化历程,从低级、简单的生物类型逐渐发展成高级、复杂的生物类型。在达尔文的自然选择学说中认为,生物要生存下去,就必须进行包括种内斗争、种间斗争以及生物跟无机环境之间的斗争的生存斗争。在生存斗争中,具有有利变异的个体容易存活下来,并且有更多的机会将有利变异传给后代;具有不利变异的个体容易被淘汰,产生后代的机会也少的多。达尔文的自然选择学说表明,遗传和变异是决定生物进化的内在因素。遗传是指父代与子代在性状上存在的相似现象。变异是指父代与子代之间,以及子代的不同个体之间,在性状上或多或少的存在差异的现象。遗传和变异的关系十分密切。一个生物体的遗传性状往往会发生变异,而变异的性状有的可以遗传。遗传能使生物的性状不断地传送给后代,因此保持物种的特性,变异能够使生物的性状发生改变,从而适应新的环境而不断向前发展。

因为遗传算法效法的是基于自然选择的生物进化论,是一种模仿生物进化过程的随机方法,所以生物学的一些基本概念对于理解遗传算法十分

重要。染色体是生物细胞中含有的一种微小的丝状化合物，是遗传物质的主要载体。基因是遗传效应的有效片段，它储存着遗传信息，可以准确地复制，也能发生突变。染色体中基因位置称作基因座，而基因所取的值叫做等位基因。染色体又有两种相应模式，基因型和表现型。表现型是指生物个体所表现出来的性状，而基因型指与表现型密切相关的基因组成。同一种基因型的生物个体在不同环境条件下可以有不同的表现型，因此表现型是基因型和环境条件相互作用的结果。生物体自身通过对基因的复制(reproduction)和交叉(crossover)，即基因分离、基因自由组合和基因连锁互换的操作使其性状的遗传得到选择和控制。同时通过基因重组、基因变异和染色体上的变异产生丰富多彩的变异现象。生物的遗传特性，使得生物界的物种能够保持相对的稳定；生物的变异特性，使生物个体产生新的性状，以至于形成新的物种，推动生物的进化和发展。

遗传算法是自然遗传学和计算机科学相结合渗透而成的新的计算方法，所以遗传算法中使用了自然进化中的基础用语。了解这些用于对学习和应用遗传算法是十分必要的。

在遗传算法中，染色体对应的是数据或数组，串上各个位置对应的是基因座，而各个位置上所取得的值对应的是等位基因。生物体的复制、交叉和变异对应是遗传算法中的选择操作(selection)、交叉操作(crossover)和变异操作(mutation)。遗传算法处理的是染色体，或者叫基因型个体(individuals)。一定数量的个体组成了群体(population)，也叫做集团。群体中的个体的数目称为群体的大小(population size)，也可以叫做群体规模。而每个个体对环境的适应程度叫做适应度(fitness)。执行遗传算法包括两个必需的数据转换操作，一个是表现型到基因型的转换，另一个是基因型到表现型的转换。前者是编码(coding)操作，后者叫做译码(decoding)操作^[27]。

2.1.2 遗传算法的基础知识

遗传算法已经被应用到了很多方面，但是其理论基础却相对比较薄弱，如模式定理、积木块假设、最小骗问题以及它的隐含并行性，在这些

理论基础中比较成熟的理论也就是模式定理,在这里简要介绍一下模式定理和积木块假设。

模式是某些固定位置上取相同字符的字符串的集合,它一般用 H 表示。以长度为 5 的串为例,模式 $H1*001$ 表示在 1、3、4、5 的位置分别是 1、0、0、1 的所有串,即 $\{11001, 10001\}$, 又比如模式 $*1**0$ 描述了所有位置 2 为 1、位置 5 为 0 的所有字符串,即 $\{01000, 01010, 01100, 01110, 11000, 11010, 11100, 11110\}$, 从中可以看到一个串隐含着多个模式(长为 L 的串隐含着 2^L 个模式), 而一个模式可以隐含在多个字符串中, 从而不同的串可以通过模式相互联系。遗传算法中串的运算实际上是模式的运算。因此下面看一下模式在遗传操作下的变化。

首先看如下两个定义^[27]:

定义 2.1: 模式 H 中所有确定位置的个数称作该模式的模式阶, 记作 $o(H)$ 。

定义 2.2: 模式 H 中第一个确定位置和最后一个确定位置之间的距离称作该模式的定义距, 记作 $\delta(H)$ 。

先考虑选择操作对模式的作用。假设在第 t 代群体 $A(t)$ 中模式 H 所能匹配的个数为 m , 记为 $m(H,t)$ 。在选择中, 一个串的选择是根据其适应度进行复制的。更确切地说, 一个串是以概率 $P_i = f_i / \sum f_i$ 进行选择, 则在 $t+1$ 代模式 H 所匹配的样本数是 $m(H,t+1) = m(H,t) \cdot f(H) / \bar{f}$, 其中 $f(H)$ 是模式所有样本的平均适应度, \bar{f} 是群体的平均适应度。可见, 模式的平均适应度高于群体的平均适应度, 模式样本数在下一代中增加, 反之减少。如果这里设实际群体适应度高出群体平均适应度的部分为 $c\bar{f}$, c 为常数, 则 $m(H,t+1) = m(H,t) \cdot (\bar{f} + c\bar{f}) / \bar{f} = m(H,t) \cdot (1+c)$, 假设 $t=0$ 开始, 则

$$m(H,t+1) = m(H,0) \cdot (1+c)^t \quad (2-1)$$

可见在选择算子作用下, 平均适应度高于群体平均适应度的模式将呈指数级增长, 平均适应度低于群体平均适应度的模式将呈指数级减少。

接着考虑一下交叉操作对模式的作用, 模式在交叉算子作用下只有交叉点落在定义距之外才能生存, 所以在简单交叉下 H 的生存概率 $P_s = 1 - \delta(H)/(L-1)$, 而交叉本身也是以一定的概率 P_c 发生, 如果与模式 H

的一个样本 A 的配对的样本 A_1 在模式 H 所有的固定位置都与 A 相同, 则交叉点即使落在定义距之内它也可以生存, 所以模式 H 的生存概率为

$$P_s \geq 1 - P_c \cdot \delta(H)/(L-1) \quad (2-2)$$

考虑在选择算子和交叉算子的共同作用下, 模式 H 第 $t+1$ 代的样本数是

$$m(H, t+1) \geq m(H, t) \cdot (f(H)/\bar{f}) \cdot [1 - P_c \cdot \delta(H)/(L-1)] \quad (2-3)$$

最后, 在考虑一下在变异算子作用下模式 H 样本数的变化。假设某一位发生变异概率为 P_m , 那么这一位不变异的概率为 $1 - P_m$, 而要想模式不变就要使其所有固定位置的值保持不变, 因此模式 H 保持不变的概率为

$$(1 - P_m) \cdot O(H)$$

当 $P_m \ll 1$ 时, 模式 H 在变异算子作用下的生存概率为:

$$P_s \approx 1 - O(H) \cdot P_m \quad (2-4)$$

综上所述, 模式 H 在遗传算子选择、交叉和变异的共同作用下, 其下一代的样本数为

$$m(H, t+1) \geq m(H, t) \cdot (f(H)/\bar{f}) \cdot [1 - P_c \cdot \delta(H)/(L-1) - O(H) \cdot P_m] \quad (2-5)$$

从而可以看出, 在三种遗传算子共同作用下, 具有低阶、短定义距及平均适应度高于群体平均适应度的模式在子代中得以指数级增长, 这就是模式定理的内容^[27]。

符合模式定理的那些具有低阶、短定义距以及高适应度的模式我们称之为积木块。

假设 2.1: 积木块假设^[27], 低阶、短距、高平均适应度的模式(积木块)在遗传算子作用下, 相互结合, 能生成高阶、长距、高适应度的模式, 可最终生成全局最优解。

模式定理保证了较优的模式的样本的数目成指数级增长, 从而满足了寻找最优解的必要条件, 即遗传算法存在着找到全局最优解的可能性。而积木块假设则指出, 遗传算法具备寻找到全局最优解的能力, 即积木块在遗传算子作用下, 能生成高阶、长距、高平均适应度的模式, 最终生成全局最优解。

2.1.3 遗传算法的特点

遗传算法利用生物进化和遗传的思想实现优化过程,区别于传统优化算法,它具有以下特点^[27,28,29]:

(1)传统优化算法通常是直接处理函数和它们的控制变量,而遗传算法通过编码将优化问题的参数编码成有限长度的数字串即“染色体”后,再进行操作,而不是针对参数本身,这使得 GA 不受函数约束条件(如连续性、可导性、单调性等)的限制,能在极其广泛的问题求解过程中发挥作用。

(2)传统搜索法基本上是点到点的搜索方法,在多极点的搜索空间里常陷入局部极小点,而 GA 的搜索过程是从问题解的一个集合开始的,而不是从单个个体开始,具有隐含并行搜索特性,从而大大减小了陷入局部极小的可能。

(3)在遗传算法的交叉操作过程中,这种点间的信息交换可明显加速遗传算法的进化过程。Holland 证明了在一个规模为 n 的种群中, $O(n^3)$ 模式是有效的,即每一代遗传算法在处理 n 个串的模式同时,实际上有效的处理大约 n^3 个模式。这是非常重要的性质, Holland 称之为隐并行性。

(4)遗传算法在选择过程中,依据一定概率随机的选择个体,模仿了自然界进化过程中的“适者生存,优胜劣汰”的竞争规则,它虽然以随机化的方法进行探索,但实际上是朝着有可能改进解的质量的搜索方向进行搜索,即为一种有导向的随机化搜索方法。

大多数传统搜索方法都需要使用较多的附加特性,而遗传算法仅用适应度函数来评估个体的好坏,并在此基础上进行各种遗传操作,且适应度函数不受连续、可微、单调等性质的约束,其定义域可以任意设定,因此,与传统搜索算法相比,遗传算法具有更强的鲁棒性,能适用于更广泛的应用领域。遗传算法的优越性主要表现在:

(1)算法进行全空间并行搜索,并且将搜索重点集中于性能高的部分,从而能够提高效率且不易陷入局部极小;

(2)算法具有固有的并行性,通过对种群的遗传进化可处理大量的模式,并且容易并行实现。

2.1.4 遗传算法的基本流程

遗传算法是一类随机优化算法,通过对染色体的评价和对染色体中基因的作用,有效的利用已有信息来指导搜索有希望改善优化质量的状态。标准遗传算法的主要步骤可描述如下:

(1)随机地产生一组初始个体构成初始种群,每个个体必须以某种编码形式表示,每个初始个体表示问题的初始解,并评价每一个体的适应值;

(2)判断算法收敛准则是否满足,若满足则输出搜索结果;否则执行以下步骤;

(3)根据适应度值大小进行遗传操作;

(4)返回步骤(2)。

标准遗传算法的流程图如图 2-1 所示。

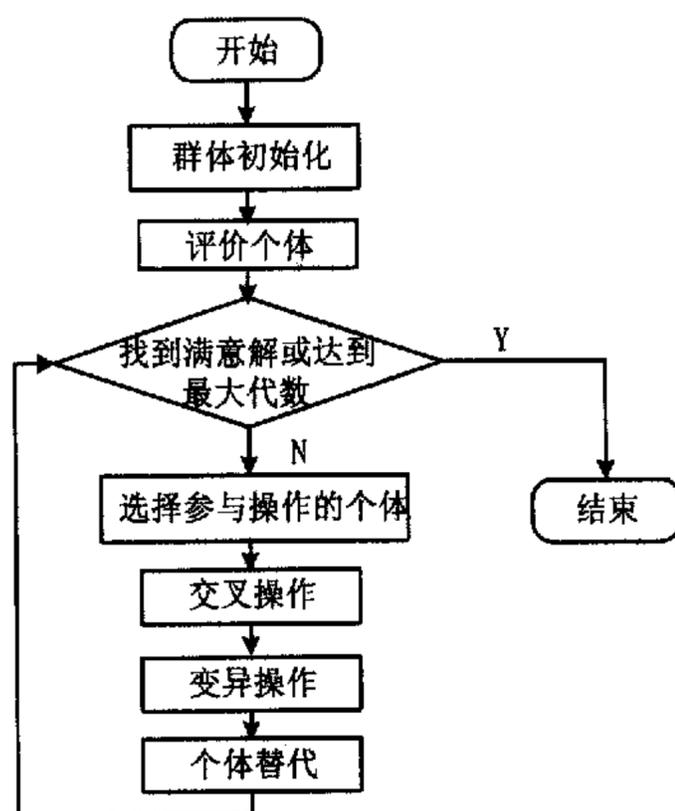


图 2-1 标准遗传算法的流程图

Fig. 2-1 The flow chart of standard genetic algorithm

2.1.5 遗传算法的基础理论

遗传算法早期的基础理论主要是 Holland 的 Schema 定理及隐含并行

性原理, 后来又有了建筑块假设(building block hypothesis)。但是, Schema 定理却无法解释遗传算法实际操作中的许多现象, 隐含并行性的论证存在严重的漏洞, 而建筑块假设却从未得到过哪怕是启发式的证明。目前, 关于遗传算法基础理论的研究在三个方面进行着, 它们是: Schema 理论的拓广与深入; 遗传算法的马氏链分析; 遗传算法的收敛理论^[50]。

以下对三个方面作简要的介绍:

(1) Schema 理论的拓广和深入。这一方面的工作主要包括 Schema 公式的进一步讨论与拓广。Radcliffe 在其一系列工作中, 把 Schema 分析进行了一般化, 提出完整的 forma 分析理论。在解决建筑块假设成立与否的问题上, 目前的工作主要集中在所谓遗传算法的欺骗函数(deceptive functions)的研究上。所谓欺骗函数就是那些对遗传算法进行误导, 使其错误地收敛到非全局最优解状态的函数。一旦研究清楚一个函数使遗传算法欺骗函数的条件, 也就给出了建筑块假设成立的条件。研究欺骗函数问题的主要方法是 Walsh 变换。但对于确实有严重漏洞的隐含并行性原理, 目前尚未有人提出改进办法, 人们对这一遗传算法至关重要的优点只是加以主观信念上的默认与支持。

(2) 遗传算法的马氏链分析。近年来, 人们建立起了遗传算法不同形式的马氏链模型, 对遗传算法的极限行为进行了各种角度的刻画。遗传算法的马氏链模型主要有三种, 分别是种群马氏链模型、Vose 模型和 Cerf 扰动马氏链模型。

种群马氏链模型将遗传算法的种群迭代序列视为一个有限状态马氏链来加以研究。最早的工作属于 Goldberg。主要是运用种群马氏链转移概率矩阵的某些一般性质, 分析遗传算法的极限行为, 但转移概率的具体形式很难表达, 这妨碍了对遗传算法有限时间行为的研究。

在 Vose 模型中, 种群的状态由一个概率向量表示, 概率向量的维数为所有可能个体的数目, 第 i 个分量表示第 i 个个体在种群的个数比例(相对频率)。当种群规模趋于无穷大时, 相对频率的极限就代表了每一个个体在种群中出现的概率。无限种群规模假设下, 可以导出表示种群的概率向量的迭代方程。通过对这一迭代方程的研究, 可以探讨种群概率向量的

不动点及其稳定性,从而导致对遗传算法极限行为的刻画。虽然在无限种群假设下,Vose模型可给出遗传算法极限行为的刻画,但它们解释实际有限种群遗传算法行为的能力相对差一些。另有一些工作则直接把种群相对频率序列当做一个马氏链加以研究。

法国学者 R.Cerf 在其一系列工作中,利用 Azencott, Catoni, Trouve 等人关于模拟退火和广义模拟退火的一系列漂亮工作,将遗传算法看成一种特殊形式的广义模拟退火模型,利用动力系统的随机扰动理论,对遗传算法的极限行为及收敛速度进行了研究。尽管在 Cerf 模型中所研究的马氏链序列仍然是种群序列,但由于研究方法与种群马氏链模型的差异,我们将它称做 Cerf 扰动马氏链模型。

上述三种模型各有优缺点。种群马氏链模型最直观,因而对遗传算法行为的解释能力最强。但遗憾的是,由于对该马氏链转移概率没有一个深刻而细致的描述,目前所得结果仅仅用到了变异机制所导致的遍历性,因而只是形式上的;并且,所得到的算法收敛或不收敛结果的证明方法与纯随机抽样算法相应结果的证明方法在基本思想上无本质区别,并没有利用到遗传算法独有的特性。Vose 模型在理论上得出了一些形式复杂和漂亮的结果,但这些结果对遗传算法行为的解释性不强。Vose 模型的深入研究也许可以使遗传算法研究中用上已在群体遗传学上成功运用的随机分析方法。Cerf 的扰动马氏链模型得到了目前最完整的收敛性结果,而且有望进一步深入。不足的是,它仍要假设种群规模趋于无穷大。

(3)遗传算法的收敛理论。对于遗传算法的马氏链分析本身,既是建立遗传算法的收敛性理论。早期的大多数文章,都是通过马氏链的极限理论分析遗传算法的收敛性。近几年来,国内几位知名学者,如徐宗本教授、聂赞坎教授、高勇副教授、张讲社副教授等,在遗传算法收敛性方面进行了深入的研究,用鞅方法与迭代方法得到了比较系统的结果。

就遗传算法的目标来看,是寻求全局最优解,而完成的过程是一个随机搜索过程,总希望这个过程在期望值意义下越来越好,这样自然应当是一个下鞅序列,利用鞅收敛定理进一步证明遗传算法的收敛性。同时也看到为了保证遗传算法的收敛性,有两个参数是非常重要的:一个参数是过

程进入满意解后下一步脱离满意解集的可能性；另一个参数是过程未进入满意解时下一步仍不能进入满意解的可能性。这两个参数的匹配构成了遗传算法收敛的一般理论。用这种方法研究收敛性变为纯概率的方法，直观且简练地证明了多种遗传算法的收敛性。

遗传算法是一种仿生优化算法，是人类向其自身演化过程学习的结果。但是到目前为止，它始终未能对自身演化本身的研究发生作用。而且就其实质来讲，目前的遗传算法学习人类演化过程还只是形式的，尚未能刻画人自身的演化过程，更未能刻画神经元思维真实学习过程。因此遗传算法就其模型本身来讲需要更加深入的探讨。目前遗传算法的研究仅仅是一个开端，有必要从更高的高度与更广阔的视野审视遗传算法的现状，并为未来探讨出一条新路。

2.2 ERP 生产管理概要

2.2.1 生产管理基本概念

(1)Lead Time—提前期 完成一项活动所需要的时间。这种活动通常指物料和产品的获得，无论是从外面购入的还是用自己的设备制造的。提前期可由下列各种时间或它们的总和组成：订单准备时间、排队时间、加工时间、搬运时间或运输时间、接收和检测时间。

(2)Level—层 在产品结构中，每个零件都被指定一个层次代码，标识该零部件的相对层次。通常情况，最终产品被指定为0层，直接组成它的部件被指定为1层，依此类推。MRP展开是从0层开始，每次向下展开一层。

(3)Make-to-order Product—面向订单生产的产品 最终产品是在收到客户订单后才能确定。为了缩短向客户的交货期，对于有较长提前期的零部件要在订单到达之前做出计划。对于选件或其它子部件在客户订单到达之前已经存放在仓库里。这种生产方式，通常称为按订单装配或者订货生产。

(4)Make-to-stock Product—面向库存生产的产品 最终产品是从成品库中直接发运的，因此在客户订单到达之前就已经制成。也称为备货生产

产品。

(5)Master Production Schedule(MPS)—主生产计划 预先建立的一份计划,由主生产计划员负责维护。主生产计划是驱动 MRP 的一整套计划数据,它反映出企业打算生产什么,什么时候生产以及生产多少。主生产计划必须考虑客户订单预测、未完成订单、可用物料的数量、现有能力、管理方针和目标等等。

(6)Production Planning—生产规划编制 指确定企业产出整体水平的功能。其主要目的是通过提高或降低库存或未完成订单水平来确定可以达到管理目标的生产率,同时要努力保持生成均衡。生产规划通常是用产品类来表述的。必须为足够长的计划期做出关于劳力、设备、工具、物料和资金的计划,以便实现整体管理目标。在不同的企业中可以用不同的计量单位来表述生产规划,诸如标准小时、吨位、工人数、台、件、货币单位等等。由于这个规划影响企业的所有业务,所以,它的编制必须要有来自市场、制造、工程技术、财务、物料等方面的信息。然后,生产规划成为编制更详细的计划的依据。

(7)Queue—队列 指在生产过程中,在某一工作中心等待处理的那些作业。当队列增大时,平均提前期及在制品库存也将增大。

(8)Queue Time—排队时间 工作开始之前,作业在某一工作中心等待的时间。排队时间是整个生产提前中的一部分,排队时间的增加会导致生产提前期的增加。

(9)Rough-cut Capacity Planning—粗能力计划 将生产规划或主生产计划转换成对主要资源的能力需求的过程,包括劳动力、设备、库存空间及供应商的能力,有时还要考虑资金能力。通常利用生产负荷图来完成这项工作。编制粗能力需求计划的目的在于在实施计划之前对该计划做出评估。有时也称为资源需求计划。

(10)Routing—工艺路线 详细描述某项目制造过程的文件。包括要进行的加工及其顺序。涉及到的工作中心以及准备和加工所需的工时定额。在有些企业里,工艺路线还包括工具、操作工技术水平、检验及测试的需求等等。

(11)Job-shop Control—车间作业管理 利用来自车间的数据及其它数据处理文件,维护和传送生产订单及工作中心各种状态信息的系统。车间作业管理的子功能包括:安排各项生产订单的先后顺序;维护在制品的数量信息;传递生产订单状态信息;为能力控制提供实际投入和产出数据;为库存和财务核算提供按地点及生产订单分类的在制品数量信息;衡量劳动力和机器设备的有效性、利用率和生产率。

(12)Shrinkage Factor—损耗系数 用于物料需求计划中的一个百分数,用来弥补生产过程中预计的物料损耗。通过增加毛需求量或减少计划订单和未结订单的预期完工产品数量来实现。这个损耗系数与废品系数不同,前者影响到所用的全部物料项目,而后者只关系到某一项物料。

(13)Time Fence—时界 指明操作过程中各种约束条件或改变将会发生的时间界限。例如,对于主生产计划的改变在提前期之后进行则是容易的,而在累计提前期之后进行则是困难的。为此设定一个时界来限制这种改变。MRO系统所用的时界有计划时界和需求时界。

(14)Work Center—工作中心 只能够完成相类似的加工操作的一组机器设备或人员。能够被能力需求计划作为一个单元来考虑。

(15)Work in Process—在制品 指生产过程中各个阶段上的产物,包括已下达进行粗加工的原材料和加工完毕、等待最后检测和验收,以便作为成品入库或发运给客户的产品。许多财务系统将半成品和部件也包括在这个范畴里。

2.2.2 生产管理基本思想

(1)方便的管理生产信息 可以依据体现不同工厂的特点的基础数据,例如物料、BOM(原材料清单)、制造工艺(ROUTING)以及资源(设备和人力)等的不同,来进行生产管理。

(2)根据生产战略生成生产计划 对于 MTO(按定单生产)类型的生产,依据销售信息、交货日期、当前库存和不可用库存等即可生成产品生产计划。对于 MTS(按库存生产)类型的生产,依据销售计划的信息、当前库存和不可用库存等即可生成产品生产计划。利用重复模仿功能,可以制

定半成品的最优生产计划。

(3)简洁和多样的 MRP(物料需求管理)管理方法 依据固定期间和计划期间的不同,计算物料的不同需求量,预测长期的物料需求,以避免发生物料短缺。在计算物料需求量时,根据不同物料的特点,使用者可以采用最大或最小的定单数量,固定数量或可变数量等来计算。通过审批和确认流程,使用者可以根据集中或有选择性的下达采购定单或作业指示。

(4)主要工序的作业指示管理 可以在每一个的操作环节中提供详细的作业指示和物料投入情况。在进行确认时,通报短缺情况以避免生产暂时停产。通过追踪产品和生产缺陷的记录,可以实现精确的库存管理。对于主要的操作流程,支持历史记录管理。一旦需要投入生产物料的入库和投放,可以即时设置流动单据。通过对已用产品的批次编号和生产性批次编号的跟踪,可以追踪后来发生的问题。

2.2.3 生产管理基本流程

生产管理的基本流程图如图 2-2 所示。

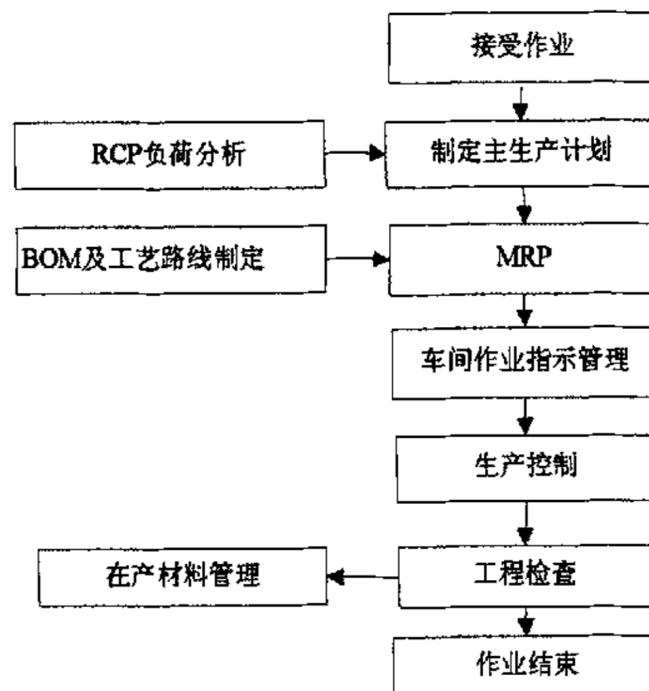


图 2-2 生产管理的流程图

Fig. 2-2 The flow chart of production management

生产计划的优化是企业生产管理的核心。传统的物料需求计划(MRP)

是一个企业资源无限前提下的生产计划，因此，MRP 是一个不现实的计划方法，制造资源计划(MRP II)和企业资源计划(ERP)是一个企业资源有限条件下的生产计划，目前，正在许多企业中贯彻实施。生产部根据销售订单制定主计划，作为车间作业安排和采购计划安排的依据。根据车间生产能力，对制定的主生产计划进行生产负荷分析，以修正生产计划。周期性的运行 MRP，得到车间作业计划和采购计划。各生产车间，在 MRP 运算后，得到车间的作业指示，通过车间作业指示管理的调整，实现按经济批量合并、追加紧急作业计划，把自制品作业指示分解到工序后下发到生产现场。在作业指示下发时，形成材料的出库预约。进行生产领料，按工序进行生产实绩的收集，及时反映生产进度，并进行生产工时的统计。对半成品和成品进行质量检查控制。对产出的半成品或领用的原材料进行车间材料管理。管理入出库和库存。

2.3 车间作业调度问题简介

敏捷制造作为 21 世纪企业的先进制造模式，综合了 JIT、并行工程、精良制造等多种先进制造模式的哲理，其目的是要以最低成本制造出顾客满意的产品，即是完全面向顾客的。在这种模式下，企业如何进行组织管理，包括如何组织动态联盟、如何重构车间、如何重构单元、如何安排生产管理计划、如何进行调度都是我们面临的问题。其中车间作业调度与控制技术是企业实现生产高效率、低成本、高柔性和高可靠性的关键，有效实用的调度方法和优化技术的研究与应用已成为先进制造技术实践的基础。

车间作业调度问题主要集中在车间的计划与调度方面，国内外许多学者作了大量研究，出了不少的研究成果。制造系统的生产调度是针对一项可分解的工作(如产品制造)，探讨在尽可能满足约束条件(如交货期、工艺路线、资源情况)的前提下，通过下达生产指令，安排其组成部分(操作)使用哪些资源、其加工时间及加工的先后顺序，以获得产品制造时间或者成本的最优化。在理论研究中，生产调度问题常被称为排序问题或资源分配问题。

2.3.1 调度问题的分类

生产调度系统的分类方法很多，主要有以下几种：

(1)根据加工系统的复杂度，可分为单机、多台并行机、flow-shop 和 job-shop。单机调度问题是所有的操作任务都在单台机器上完成，为此存在任务的优化排队问题^[51-53]；多台并行机的调度问题更复杂，因而优化问题更突出；flow-shop 型问题假设所有作业都在同样的设备上加工，并有一致的加工操作和加工顺序，job-shop 是最一般的调度类型、并不限制作业的操作的加工设备，并允许一个作业加工具有不同的加工路径。对于 job-shop 型问题的研究。

(2)根据性能指标，分为基于调度费用和基于调度性能指标的两大类。

(3)根据生产环境的特点，可将调度问题分为确定性调度和随机性调度问题。

(4)根据作业的加工特点，可以将调度问题分为静态调度和动态调度。静态调度是指所有待安排加工的工作均处于等待加工状态，因而进行一次调度后各作业的加工被确定，在以后的加工过程中就不再改变；动态调度是指作业依次进入待加工状态，各种作业不断进入系统接受加工，同时完成加工的作业又不断离开，还要考虑作业环境中不断出现的动态扰动，如作业的加工超时、设备的损坏等。因此动态调度要根据系统中作业、设备等的状况，不断进行调度。实际调度的类型往往是 job-shop 型，并且是动态的。

2.3.2 生产调度的环境特征

一般的调度问题都是对于具体的生产环境中复杂的、动态的、多目标的调度问题的一种抽象和简化，因而，一个好的调度算法是可以通过其如何表述这些复杂性来进行分类。由于实际生产环境是千差万别的，那么，一个调度算法就应该根据其是否能适合对应的生产环境的重要特征来进行评估。Frederick 等人为了帮助区别不同的生产调度策略，给出了典型生产调度环境的五个特征，这将有助于我们了解各种不同的调度算法的应用环境。

(1)边界条件 生产调度常常是一个重调度问题,即修改已有的生产调度去适应新的作业。为提供重调度,调度算法应能处理生产系统中有关的初始状态。类似的生产调度通常是在一个有限的时间区域里进行的,系统的最优解(或次优解)亦是在限定的边界范围内来获取。

(2)分批大小和调整费用 为有效地解决实际生产中的调度问题,往往将任务分成多批进行,并考虑改变已有调度结果所付出的代价。

(3)加工路径 在实际生产中,作业的加工路径可能需要动态改变,工艺顺序可能是半有序的(semiorder)。

(4)随机事件和扰动 比如,出现关键作业、设备损坏、加工操作失败、原料短缺、加工时间/到达时间/交货期的改变等。

(5)性能指标和多目标 追求不同的性能指标往往会得到不同的优化解,同时,系统目标也以多目标为主。

2.3.3 调度问题的特点

实际的调度问题有以下特点:

(1)复杂性 由于装卸作业、装卸设备、库场、搬运系统之间相互影响、相互作用,每个作业又要考虑它的到达时间、装卸时间、准备时间、操作顺序、交货期等,因而相当复杂。由于调度问题是在等式或不等式约束下求性能指标的优化,在计算量上往往是 NP 完全问题,即随着问题规模的增大,对于求解最优化的计算量呈指数增长,使得一些常规的最优化方法往往无能为力,对于这一点 Garey 等给出了明确的证明。即便对单机调度问题,如果考虑 n 个作业而每个作业只考虑加工时间及与序列有关的准备时间时,就等价于 n 个城市的 TSP 问题。对于一般的装卸系统,问题就变得更为复杂。

(2)动态随机性 在实际的生产调度系统中存在很多随机的和不确定的因素,比如作业到达时间的不确定性、作业的加工时间也有一定的随机性,而且生产系统中常出现一些实发偶然事件。

(3)多目标性 实际的计划调度往往是多目标的,并且这些目标间可能发生冲突。Oraves 曾将调度目标分为基于调度费用和调度性能的指标两

大类: Alia.S 等人将调度目标分三类: 基于作业交货期的目标、基于作业完成时间的目标、基于生产成本的目标。这种多目标性导致调度的复杂性和计算量急剧增加。

2.4 MATLAB 简介

在科学研究和工程应用中, 往往要进行大量的数学计算, 目前人们往往使用 Basic、Fortran 和 C 语言编制计算程序, 这需要科学工作者既要深刻了解有关算法, 又要掌握所用语言和编程技巧。这对一般的科学工作者来说, 有一定的困难。为了克服上述的这些困难, 美国 Mathworks 公司于 1967 年推出了 Matrix Laboratory(缩写为 MATLAB)软件包, 并不断更新和扩充^[30]。MATLAB 软件包主要有以下三个特点^[31], 一是它是一种解释性语言, 它采用了工程技术的计算语言, 几乎与数学表达式相同, 语言中的基本元素是矩阵, 它是提供各种矩阵运算和操作, 并且具有符号计算、数学和文字统一处理、离线和在线计算等功能; 二是具有较强的绘图功能, 计算结果和编程可视化; 三是具有很强的开放性, 针对不同的应用学科, 在 MATLAB 之上, 推出了三十多个应用的工具箱。目前的 6.x 版是一种功能强, 效率高, 便于进行科学和工程计算的交互式软件包。

MATLAB 的推出得到了各个领域专家学者的广泛关注, 其强大的扩展功能更为各个工程领域提供了分析和设计的基础。随着 MATLAB 在各个工程领域应用的日益广泛, 专家学者们相继推出了控制系统工具箱、信号处理工具箱、系统辨识工具箱最优化控制箱、模糊工具箱、小波分析工具箱等简单易用的库函数, 这些工具箱给各个领域的研究和工程应用提供了强有力的工具, 而且这些工具箱还在不断增加。借助日渐完善的 MATLAB 软件, 研究人员可以直观、方便地进行分析、计算和设计工作, 从而大大节省了时间, 提高了工作效率^[30]。

2.5 本章小结

本章针对在以后要用到的一些基本理论, 首先介绍了遗传算法的一些基本知识, 包括生物进化理论和遗传学的基本知识、遗传算法的基础知识、

基本流程以及遗传算法的基础理论；其次介绍了关于 ERP 系统生产管理的基础知识，包括基本概念、基本思想和基本流程，以及车间作业调度问题的分类和特点。最后介绍了一些关于 MATLAB 方面的基本内容。只有把这些内容了解清楚，才能更好的为后面的章节服务。

第 3 章 基于 UNIERP 车间作业调度问题的遗传 算法编码设计

3.1 引言

近年来,国内外一些著名厂商进行了 ERP 系统的实施,例如:国外有西门子、ABB、三菱、阿尔斯通等,国内的上海 ABB、北京 ABB、顺德特种变压器厂、南京电力变压器厂等都成功地实施了 ERP 项目。从 2004 年 2 月到 2004 年 11 月,北京捷思创业科技有限责任公司、三星数据系统(北京)有限公司和燕山大学软件中心经过与特变电工鲁能泰山电缆有限公司项目组成员的共同努力,成功地完成了特变电工山东鲁能泰山电缆有限公司 ERP 项目的实施,鲁缆 ERP 项目经过了项目启动、业务流程分析、客户化开发、系统模拟运行和系统正式运行五个阶段。本人有幸参与了这次 ERP 项目的实施。

3.2 特变电工鲁缆有限公司 UNIERP 实施情况

国内外多家企业成功实施 ERP 系统,在这些企业中,虽然各自实施 ERP 的程度不尽相同,成效也有高下之分,但对 ERP 的认同却基本一致。大家认为,最重要的是,ERP 涉及到企业管理领域、业务流程优化、业务集成动作等各个方面,因此,需要把 ERP 所蕴藏的现代管理思想当作一种企业文化渗透到企业各项管理中去,把 ERP 看作管理项目来实施,全员参加,才能产生巨大的经济效益。

三星的 UNIERP 有着十几年的研发历史,技术先进,产品成熟稳定,内涵了三星集团先进制造业先进业务流程、管理理念和全球 600 多个项目现场经验,从而保证了 UNIERP 产品具有先进的流程的同时,也具有很好的适用性。鲁缆 ERP 项目,由韩国 SDS 资深专家顾问、捷思及中国 SDS 具有丰富项目经验的咨询顾问组成项目咨询小组,在项目实施过程中,采用三星 SDS 的独特的实施方法论,在对鲁缆的业务进行的深入的分析的

基础上,把先进的业务流程和鲁缆业务特点结合,取得了良好的效果,主要体现为以下几个方面。

构筑了企业信息化和电子化的基础。通过 ERP 项目的实施,提高了企业及其员工信息化应用水平,为企业实现面向未来的信息化经营奠定了良好的基础。

实现了基础数据和资料标准化和电算化管理。制定了统一编码体系,确保了基础数据的一致性与信息共享,极大提高了公司标准化程度和基础资料管理水平。能够实时掌握产供销和财务人事等业务的进行情况,实现了数据的一致性和业务透明度。进行了业务流程革新,把企业的业务活动纳入到一个整体流程框架下,依托 ERP 信息集成的优势,进行了总体性的流程再造;通过将优化后的流程固化在 ERP 系统中,实现业务流程的规范化、自动化和透明化;促进了企业业务从原来的以职能为主向以流程为主的转变,注重部门协作,消除重复业务,细化管理,提高了业务处理效率。

支持基于数据的科学决策。随着 ERP 成熟运行,企业领导能够及时获取企业的经营数据,从而做出科学决策,灵活面对未来业务规模的扩大和企业组织的变化。

在项目实施过程中,捷思一三星 SDS 项目组采用了先进的项目管理办法。对于整个系统的进度,做了较好的控制,保证了 ERP 项目的顺利进行。三星 UNIERP 软件系统运行稳定,BUG 较少,升级方便、快捷,使得实施过程中系统的测试减少,缩短了实施周期。同时很好地集成了财务帐务系统,真正做到了物流、资金流和信息流的统一,减少了数据的重复录入、降低了数据的差错率。项目的实施采用了分模块实施的办法。先让各方面条件成熟的财务模块、销售模块上线,最后实施物流模块,逐个的进行突破,这样作大大的降低了项目的实施工作量,从而保证了整个项目的实施进度。

由于 ERP 项目应用和企业信息化建设是一项长期的工作,必须持续推进系统稳定运营,不断提高 ERP 应用水平;能在对 ERP 实施的经验和不足进行总结的基础上,使得整个项目成果得到推广应用,创造更大的投

资效益。

3.3 UNIERP 系统的性能简介

三星公司 UNIERP 系统前台采用 Sybase 公司推出的 PowerBuilder8.0 开发工具, 后台是 Microsoft 公司的产品 SQL Server 2000, 整个系统采用的是 C/S 结构, 即 Client/Server(客户端/服务器)结构。本人通过对 UNIERP 了解, 对其性能作出以下几点介绍:

(1)系统是建立在局域网的基础上(一般是建立在专用的、小范围的网络环境上), 局域网之间再通过专门的服务器提供连接和数据交换服务;

(2)可连接的用户数有限, 当用户数量增多时, 性能会明显下降; 客户端都要安装应用程序(Unierp Client), 这不仅加大了系统安装和培训难度, 同时大大增加了系统的维护量, 需要更多的维护人员, 维护成本非常庞大, 系统扩展维护复杂;

(3)程序升级时涉及面广, 软件整体结构均需要改变, 升级十分困难, 升级时基本上是重做一个全新的系统, 不适合企业信息技术未来发展的趋势, 不是未来技术发展的主流; 但优点是开发费用比较低, 开发周期短;

(4)是典型的中央集权的机械式处理, 交互性相对低, 并发处理能力不强;

(5)根据系统规模需要较高的硬件配置, 要经过专门的培训才能使用, 与 Internet 较难集成, 但优点是对数据的操纵控制比较灵活。

3.4 车间作业调度问题的遗传算法编码设计

车间作业调度问题的遗传算法编码可以归纳为直接编码和间接编码两种。

(1)直接编码将各调度作为状态, 通过状态的演化达到寻优的目的, 主要包括基于操作编码、基于工件的编码、基于完成时间的编码、随机键编码和基于工件对应关系的编码等。

(2)间接编码将一组工件的分配处理规则作为状态, 算法优化的结果是一组最佳的分配序列, 再由分配规则序列构造问题调度, 主要包括基于

优先权规则的编码、基于先后表的编码、基于析取图的编码和基于机器的编码等。

下面根据这些编码的具体操作结合编码的评价标准介绍这几种编码的方式和特点。

3.4.1 基于操作的编码

基于操作的编码(operation-based representation)方式将每个染色体用 $n \times m$ 个代表操作的基因组成,是所有操作的一个排列,其中各工件号均出现 m 次。解码过程是:先将染色体转化为一个有序的操作表,然后基于该表和工艺约束对各操作以最早允许加工时间逐一进行加工,从而产生调度方案。显然,这种解码过程可产生活动调度。

该编码方式的特点可归纳为: Lamarkian 性; 1 类解码复杂性; 任意基因串的置换排列均能表示可行调度(但为保证后代的可行性,遗传操作虚特殊设计); $n \times m$ 标准长度。

3.4.2 基于工件的编码

基于工件的编码(job-based representation)方式将每个染色体用 n 个代表工件的基因组成,是所有工件的一个排列。解码过程是:先加工第 1 号工件的所有操作,然后依次以最早允许加工时间加工后面各工件的所有操作。

该编码方式的特点可归纳为: Lamarkian 性, 1 类解码复杂性; 任意工件的置换排列均能表示可行调度,但仅能表征部分解空间,不能保证全局最优解的存在性; 编码长度小于标准长度。

3.4.3 基于先后表的编码

基于先后表的编码(preference list-based representation)方式将每个染色体用分别对应于 m 台不同机器的 m 个子串构成,各子串是一个长度为 n 的符号串,用于表示一种优先表,各符号表示相应机器上的加工操作。解码过程通过对染色体的仿真得到,即分析机器上当前等待队列的状态并

判断是否用先后表来确定调度,也就是说,最先出现在先后表的操作将被选中。

该编码方式的特点可归纳为: Lamarkian 性; 2 类解码复杂性; 各种状态均能表示可行调度,但该种方式难以用遗传操作实行进化; 编码长度等于标准长度。

3.4.4 基于工件对应关系的编码

基于工件对应关系的编码是 Nakano 等 1991 年提出的一种利用二元矩阵表示调度,矩阵由相应机器上工件对的优先关系确定。

该编码方式的特点可归纳为: 半 Lamarkian 性; 1 类解码复杂性; 存在较大的冗余; 必须考虑合法性; 编码长度大于标准长度。这种编码目前应用较少,也是所有编码方式中最复杂的一种。

3.4.5 基于优先规则的编码

基于优先规则的编码(priority rule-based representation)方式将每个染色体用一个长度为 $n \times m$ 的优先分配规则序列构成,每个基因即为一种优先调度规则。算法的优化结果是一个满意的规则序列,然后依次用这些优先规则产生或修改调度方案。

该编码方式的特点可归纳为: Lamarkian 性; 2 类解码复杂性; 能保证调度的可行性; 编码长度等于标准长度。这种编码方式下 GA 的优化性能取决于所使用的优先调度规则。

3.4.6 基于析取图的编码

基于析取图的编码(disjunctive graph-based representation)方式将染色体用一个长度为 $n \times m$ 的 0-1 字符串来表示,该染色体(由各弧的操作顺序组成)作为优先决策,以决定同台机器上发生操作冲突时各操作的顺序。它也可认为是一种基于工件对关系的编码方式。

该编码方式的特点可归纳为: 半 Lamarkian 性; 3 类解码复杂性; 能保证调度的可行性; 码长为标准长度。

3.4.7 基于析取图的编码

基于完成时间的编码(completion time-based representation)方式利用各操作完成时间的有序表来表示染色体。

该编码方式的特点可归纳为：不具有 Lamarkian 性；0 类解码复杂性，即不需要解码过程；必须考虑状态的合法性，还需要设计特殊的遗传操作；码长为标准长度。

3.4.8 基于机器的编码

基于机器的编码(machine-based representation)方式将每个染色体用所有机器的排列，并以此通过移动瓶颈方法来构造调度。移动瓶颈法(shifting bottleneck, SB)是目前解决车间作业调度问题最好的方法之一(Adams 等, 1988)，它将各机器逐一排列，每时刻在未排列的机器中定义一台机器为瓶颈，当一台新机器被排列时，所有先前已建立的排列将被再次优化。其中，瓶颈的确定和局部再优化工程基于重复解决某一个单机调度问题(即原问题的一个松弛)而进行。显然，该方法的性能依赖于瓶颈的定义和各瓶颈机器的排列顺序。

该编码方式的特点可归纳为：半 Lamarkian 性；3 类解码复杂性；这种编码方式仅能表征部分解空间，不能保证全局最优解的存在性；编码长度小于标准长度。

3.4.9 随机建的编码

随机键编码(random key representation)将调度解编码成随机数，这些值用作排列键来解码。具体而言，每个基因包括两部分，即 $\{1, 2, \dots, m\}$ 集合中的一个整数以及 $(0, 1)$ 中随机分数。任意随机键的整数部分解释为工件的机器分配，对分数部分的排列则是提供每一台机器上工件的顺序。

该编码方式的特点可归纳为：不具有 Lamarkian 性；1 类解码复杂性；表征解空间可能对应非法解；需要对操作的优先顺序做附加处理；编码长度等于标准长度。

3.5 基于工序模式的编码

遗传算法的编码问题是设计遗传算法的首要 and 关键问题。遗传算法的编码技术必须考虑“染色体”的合法性、可行性、有效性以及对问题解空间表征的完全性，求解车间作业调度问题同样如此。鉴于车间作业调度问题的组合特性以及工艺约束性，染色体的 Lamarkian 特性(Whitley 等, 1994)、解码的复杂性、编码的空间特性和存储量的需求是设计遗传算法编码通常要考虑的问题。

3.5.1 工序的模式定义

车间所接受的某个生产任务称之为一个生产项目(project)，项目的工序用 j 表示，每个工序 j 需要消耗一定的资源(resource)，车间层的资源可以分为两类：可重复利用(renewable)资源和不可重复利用(nonrenewable)资源，分别记为 p -资源和 v -资源。可重复利用资源通常表现为单位时间内某资源 k 的使用限量为 R_k^p ，在一个单位时间内使用完 R_k^p 后，在另一个时间单位内 R_k^p 还可以被重复利用；不可重复利用资源通常表现为某资源 k 的可使用总量为 R_k^v ，当使用了 R_k^v 后，只有剩下的 $R_k^v - r_k^v$ 可被使用。根据作业成本控制(Activity Based Costing, ABC)原理：产出(项目)消耗作业(工序)，作业消耗资源，因此产出的成本来源于作业的贡献(资源)。在实际中，产出消耗的工序是一定的，但是作业工序消耗资源的方式却可能有多种，我们称之为工序的多个模式。

定义 1：工序的模式是工序利用资源的一种方式。模式决定了工序的提前期、资源的分配情况以及耗费资源所产生的成本。如工序 j 有两种模式，其相关参数如表 3-1 所示。

表 3-1 模式及相关的参数

Table 3-1 The form of the pattern and correlation parameter

工序 j	p -资源	v -资源	提前期
模式 1	3	4	13
模式 2	2	7	10

由此可见，模式决定了工序主要相关参数，从而决定了项目的特征。对于项目 p 由 n 道工序组成，把用 $\{1, 2, \dots, n+1\}$ 表示工序集合，每道工序都有实数个模式，如果采用实数编码方式，则对于项目 p 编码可以设计如表 3-2 所示。基于工序编码方式要求工序与模式对应。

表 3-2 基于工序模式编码方式

Table 3-2 The encoding mode based on working procedure pattern

工序序列	1, 2, ..., $n+1$
染色体	2, 3 * 1, 5 * 5, 5, 7 * ..., 6

3.5.2 编码分析

遗传算法编码评价标准主要有四种^[36]：

(1)染色体的 Lamarkian 特性 该特性考虑在所设计的编码设计下，染色体，染色体的优点(merit)是否可以通过一般的遗传操作传到后代种群。如果后代通过遗传操作有效的继承父代的优点，则称所采用的编码具有 Lamarkian 特性；如果后代不能够从父代继承任何有用信息，则称所采用的编码不具有 Lamarkian 特性。很明显，鉴于遗传算法的优化机制，我们当然希望所设计的编码具有 Lamarkian 特性。

(2)解码的复杂性 对于正规性能指示，最优调度必然是活动调度。由于非延迟调度集合是活动调度的子集，因此不能够保证非延迟调度就是最优调度；而活动调度又是半活动调度的子集，因此基于半活动调度的活动空间太大，许多搜索点没有必要。所以就解码的有效性而言，我们希望 GA 搜索用的吗能够解码成为活动调度，甚至搜索所采用的码能够跟活动调度一一对应。就解码的复杂性而言，将不需要解码的相应编码规为 0 类复杂性；通过简单映射关系实现解码的相应编码规为 1 类复杂性；通过简单启发式方法才能实现解码的相应编码规为 2 类复杂性；只有通过复杂启发式方法才能实现解码的相应编码规为 3 类复杂性。

(3)编码的空间特性 编码必须考虑码的可行性、所表征空间的完全性和冗余性。就可行性而言，编码空间通常可以为两类：仅包含可行解的空间，可包含非法解的空间。就完全性而言，有的编码仅表征部分调度空

间,而有的编码则可表征整个调度空间,这显然将影响最优调度是否能够得到。就冗余性而言,有的编码使码与调度一一对应,而有的则是一到多或者多到一的关系,这会明显影响解码和搜索的效率。

(4)存储量需求 就 n 个工件 m 台机器而言,通常采用码长来反映编码对存储量的需求。称 $n \times m$ 为 GA 染色体的标准长度,即操作的总数量。基于此,可以将编码分为三类:其一,码长等于标准长度;其二,码长大于标准长度;其三,码长小于标准长度。

根据以上的四个评价标准,基于工序模式编码方式的特点可归纳为:Lamarckian 性;1 类解码复杂性;能保证调度的可行性,但这种编码方式含有非法解,需要进行特殊处理;由于基于工序模式车间作业调度问题和传统的车间作业调度问题有区别,工序的模式不能固定,并且模式参数也不是固定的数值,所以该种编码方式的编码长度大于标准长度。

3.6 本章小结

本章根据实际情况介绍 ERP 项目实施情况,对 UNIERP 系统做了简要的性能分析,并且介绍了遗传算法的编码设计方法,列举了几种比较流行编码方式,并对这几种编码方式进行了分析;提出了基于工序模式的遗传算法编码设计方案,根据前人提出评价标准做了理论分析,证实了基于工序模式的编码方式的可行性。最后依据这种编码方式在下一章给出了一个成本和时间双优的目标函数。

第 4 章 基于 ERP 车间作业调度问题的成本优化模型

4.1 引言

生产计划的优化是企业生产管理的核心。传统的物料需求计划(MRP)是一个企业资源无限前提下的生产计划,因此,MRP 是一个不现实的计划方法。制造资源计划(MRP II)和企业资源计划(ERP)是一个企业资源有限条件下的生产计划,目前,正在许多企业中贯彻实施。无论 MRP、MRP II 还是 ERP,一般都是以时间为目标进行生产计划优化的,以满足一些生产企业的需要。随着中国加入 WTO,融入全球统一的竞争环境,对于工业化尚未完成就进入信息化时代的中国多数企业,尤其是中大批量生产的企业来说,必须采取价格竞争战略,因此,时间不再是首要考虑的因素,决定产品竞争力的关键是成本。

企业的生产计划往往是一个从粗到细的 Top-Down 过程,从企业的生产经营计划(BP)、生产计划(PP)、主生产计划(MPS)、物料需求计划(MRP)到车间作业计划(PAC)等,下一层计划是对上一层计划的细化和落实,计划的执行单位在车间层,生产计划的优化是一个从 PAC 开始逐层向上的 Bottom-Up 过程,因此,车间作业调度的优化对于整个生产计划的优化具有重要作用。

4.2 基于 ERP 车间作业调度问题研究

企业的整个生产管理可分为长期计划、中期计划和短期计划^[32]。长期计划主要根据市场需求,确定全年的生产大纲,并根据工厂的资源(设备、材料、人员等)能力,大致规定每一季度的生产产品的品种及数量。中期计划通常是指生产计划,它根据市场订货需求的实际变化,对生产大纲适当调整修改后,再具体分配当月的生产任务。短期计划则是制定一个即将付诸实施的作业计划,即具体确定每项加工工序的时间进度表(车间

作业计划)。它们在决策范围、计划水平及详细程度上各不相同，如图 4-1 所示。

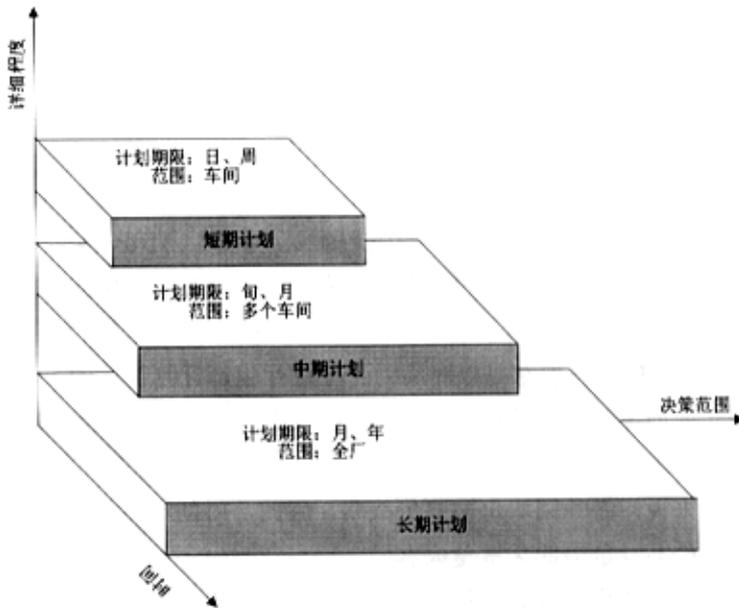


图 4-1 生产计划的分类与功能

Fig. 4-1 The classify and function of produce plan

车间作业管理是短期计划管理的核心。主生产计划给出了最终产品和最终项目的需求，经过物料需求计划，按物料清单展开至零部件，再至原材料的需求计划，产生自制件的生产订单和对外购件的计划采购订单，然后通过车间作业管理(Production Activity Control, PAC)和采购作业管理来执行计划。

车间作业管理就是根据车间的生产资源情况，包括设备、人员、物料的可用性以及加工能力的大小，将零部件的生产计划以定单的形式下达给适当的车间。在车间内部，根据零部件的工艺路线等信息制定车间生产的日计划，组织日常的生产。同时，在定单的生产过程中，实时地采集车间生产的动态信息，了解生产进度，发现问题及时解决，使车间的实际生产接近于计划。因此，车间作业管理的主要任务就是合理地编制车间作业计

划。

4.2.1 车间作业计划的定义

车间作业计划是实施厂级生产计划的具体执行计划，是车间内部在短时期内组织生产活动的行动依据^[33]。与厂级生产计划相比，它具有两个明显的特点：一是计划期短，把年度生产计划各项指标细分为月、旬、周、日，甚至小时的具体计划；二是计划内容比较具体，把年度生产计划的各项指标层层落实到各工段、班组甚至职工个人，使全体职工目标明确，行动统一，为实现计划规定的目标努力工作。由于这些特点，决定了在编制车间作业计划时，需根据厂级生产计划要求和车间每月甚至每时的实际情况，把企业计划任务和临时生产任务具体分配到各工段、班组、工作地或每个职工，规定他们在月、旬、周、日甚至小时内应完成的产品品种、投入与产出的数量、期限和进度。

4.2.2 作业排序的基本概念

一般说来，作业计划与排序不是同义词。排序只是确定工件在机器上的加工顺序，而作业计划则不仅包括确定工件的加工顺序，而且还包括确定机器加工每个工件的开始时间和完成时间。因此只有作业计划才能指导每个工人及其生产活动。在编制作业计划时，有时一个工件的某道工序完成之后，执行它下一道工序的机器还在加工其它工件，工件要等待一段时间才能开始加工，这种情况称为“工件等待”。有时，一台机器已经完成对某个工件的加工，但要加工的工件还未到达，这种情况称为“机器空闲”。

由于编制作业计划的关键是要解决各台机器上工件的加工顺序问题，而且，在通常情况下都是按最早可能开(完)工时间来编制作业计划。因此，当工件的加工顺序确定之后，作业计划也就确定了，所以，常将排序与编制作业计划这两个术语不加区别地使用。

4.2.3 作业调度问题的分类

作业调度问题有许多不同的分类方法。最常用的是按机器、工件和目

标函数的特征分类。

按机器的种类和数量不同,可以分为单台机器的调度问题和多台机器的调度问题。对于多台机器的排序问题,按工件加工路线的特征,可以分为单件车间调度问题和流水车间的调度问题。工件的加工路线不同,是单件车间调度问题的基本特征;而所有工件的加工路线完全相同,则是流水车间调度问题的基本特征。

按工件到达车间的情况不同,可以分为静态的调度问题和动态的调度问题。当进行调度时,所有工件都已到达,可以一次对它们进行排序,这是静态的调度问题;若工件是陆续到达,要随时安排它们的加工顺序,这是动态的调度问题。

按目标函数的性质不同,也可以划分不同的调度问题。比如,同是单台机器的排序,目标是使平均流程时间最短和使误期完工的工件数最少,实质上是两种不同的调度问题。按目标函数的情况,还可以划分为单目标的调度问题和多目标的调度问题。以往研究的调度问题,大都属于单目标的调度问题,而对多目标的调度问题则很少研究。

另外,按参数的性质,可以划分为确定型调度问题与随机型的调度问题。所谓确定型的排序问题,指加工时间和其它有关参数是一致的、确定的量;而随机型调度问题的加工时间和有关参数为随机变量。这两种调度问题的解法本质上不同。

由机器、工件和目标函数的不同特征以及其它因素上的差别,构成了多种多样的调度问题。

4.2.4 作业调度模型

作业调度是在有限资源约束下,如何安排零件的加工顺序,使其给定的目标函数达到最优。作业排序的优化^[34]目标包括以下几个方面:

- (1)总加工工时最短;
- (2)零件平均通过时间最短;
- (3)机床利用率最高;
- (4)不按期交货或交货误期最少;

(5)加工总成本最低。

设有 n 种零件, 要在 m 台机器上加工。每种零件根据工艺要求, 要按一定顺序通过这些设备。一种零件在一台设备上加工一次称为一道工序, 每种加工零件总由若干道工序组成。作业排序问题就是研究在满足约束条件的基础上, 找到一个使目标函数最优的各种零件在每台设备上的加工顺序。一般说来, 约束条件如下:

(1)加工顺序约束 每种零件仅当第 j 道工序加工完成后, 第 $j+1$ 道工序才能开始加工。

(2)资源约束 一台设备不能同时加工多于一种的零件。

(3)工序不可中断约束 每一种零件一旦开始在一台设备上加工, 则本道工序不能中断, 必须待零件的这道工序加工结束后, 该设备才能加工其他零件。

这些都是车间作业调度中最普遍的问题, 每种作业任务可以要求按任何一种可能的顺序在一组设备上加工, 如 n 个零件经过 m 台机床加工时, 作业调度算法就有 $(n!)^m$ 之多。由于在工艺上的限制以及零件之间的相互关系, 有些排序方案是不可行的。但即使是这样, 也仍有相当数量的可行方案, 故此只能根据优化的目标建立近似的数学模型, 然后进行调度的优化。

4.2.5 作业调度方案的评价标准

不同的调度方案可以导致不同的排序结果, 所以, 在选择适合的排序方案之前, 首先需要确定选择评价的标准。有许多标准可以用来评价作业的排序方案, 下面是一些最常用的标准:

(1)工件流程时间 工件流程时间是指从工件可以开始加工(不一定是实际的开始时间)至完工的时间。它包括各个机器之间的移动时间、等待时间、加工时间以及由于机器故障、部件无法得到等问题引起的延迟时间等。

(2)全部完工时间 全部完工时间是指完成一组工作所需的全部时间。它是从第一个工件在第一台机器开始加工时算起, 到最后一个工件在

最后一台机器上完成加工时为止所经过的时间。

(3)延迟 延迟可用比预定完工时间延迟了的时间部分来表示。也可以用未按预定时间完工的工件数占总工件数的百分比来表示。

(4)在制品库存(WIP) 一个工件从一个工作地移向另一个工作地,由于一些原因被拖延加工,正在被加工或放置于零件库中,都可被看作是在制品库存。它是在途库存的一个例子,但其物料项目是制造出来的,而不是购买来的。这种度量标准可以用工件个数、其货币价值或可供应的周数来表示。

(5)总库存 计划入库量和现有库存量的总和为库存量。

(6)利用率 用一台机器或一个工人的有效生产时间占总工作时间的百分比来表示。

上述这些评价标准都可以用具有平均值和偏差的统计分布来表示。但这些评价标准彼此之间并不完全独立。例如,使工件流程时间的平均值较小,也就是要减少在制品库存和提高利用率。通过能力需求计划中负荷与能力平衡的处理,使得工作中心能力与负荷需求基本平衡,为组织生产活动、安排作业打下了基础。但是在每个工作中心都要排出许多零件的不同工序,在同一时间周期,一个工作中心有多个任务等待加工,那么应该先加工哪一个零件,后加工哪一个,才能使整个任务加工时间短、保证按期完工,又使资源利用率高,就成为作业调度的主要任务^[35]。

4.3 基于工序模式编码车间作业调度问题的成本优化模型

生产计划的优化是整个企业生产管理的核心。目前,生产计划的优化在许多企业中贯彻实施。无论 MRP、MRP II 还是 ERP,一般都是以时间为目标进行生产计划优化的,以满足一些生产企业的需要。但是随着中国加入 WTO,融入全球统一的竞争环境,对于工业化尚未完成就进入信息化时代的中国多数企业,尤其是中大批量生产的企业来说,价格竞争成为必须采取战略,因此,时间不再是首要考虑的因素,决定产品竞争力的关键是成本。

企业的生产计划往往是一个从粗到细的过程,从企业的生产经营计

划、生产计划、主生产计划、物料需求计划到车间作业计划等，下一层计划是对上一层计划的细化和落实，计划的执行单位在车间层，生产计划的优化是一个从车间作业计划开始逐层向上的过程，因此，车间作业调度的优化对于整个生产计划的优化具有重要作用。

按目标函数的情况，还可以划分为单目标的调度问题和多目标的调度问题。以往研究的调度问题，大都属于单目标的调度问题，而对多目标的调度问题则很少研究。

一个多模式的项目特征可以描述如下：

$V = \{0, 1, \dots, n+1\}$ 为项目的工序集，0 表示虚拟的起始工序， $n+1$ 表示虚拟的结束工序。

$M_j = \{1, \dots, |M_j|\} (j \in V)$ 为工序的模式集。

$q_{ju} \in Z^+ (j \in V, u \in M_j)$ 为工序 j 在模式 u 下的提前期 $q_{0j} = q_{n+1j} = 0$ 。

$S_j \in Z^+ (j \in V)$ 为工序 j 的起始时间， $S_0 = 0, S_{n+1} =$ 项目工期^[54]。

$\delta_{l,j,k} (j, l \in V; u \in M_j; \lambda \in M_l)$ 为工序 j 在模式 u 下的起始时间 S_j 和工序 l 在模式 λ 下的起始时间 S_l 之间的最小延迟。

$R^p, R_k^p, c_k^p, r_{ju}^p (k \in R^p)$ 为 p 资源的集合、单位时间内第 k 种 p 资源的限量、第 k 种 p 资源的单位成本以及单位时间内工序 j 在模式 u 下所消耗的第 k 种 p 资源的数量 $r_{0j,k}^p = r_{n+1j,k}^p = 0$ 。

$R^v, R_k^v, c_k^v, r_{ju}^v (k \in R^v)$ 为 v 资源的集合、单位时间内第 k 种 v 资源的限量、第 k 种 v 资源的单位成本以及单位时间内工序 j 在模式 u 下所消耗的第 k 种 v 资源的数量 $r_{0j,k}^v = r_{n+1j,k}^v = 0$ 。

以下建立以成本为目标函数，以时间和资源为约束条件的优化模型，模型的目标函数为：

$$C_G = \sum_{j=0}^{n+1} \{ [\sum_{t=S_j}^{S_j+q_{ju}} (\sum_{k \in R^p} c_k^p r_{ju}^p)] + (\sum_{k \in R^v} c_k^v r_{ju}^v) \} \quad (4-1)$$

式(4-1)中的 c_k^p 和 c_k^v 是常量，成本取决于 r_{ju}^p 、 r_{ju}^v 和 q_{ju} ，这三项取决于工序的模式 u ，可见成本 C_G 最终取决于工序的模式。令：

$$C_j = C_{j_u} = C_{j_u}^p + C_{j_u}^v = \left[\sum_{t=S_j}^{S_j+q_{j_u}} \left(\sum_{k \in R^p} c_k^p r_{j_u}^p \right) \right] + \left(\sum_{k \in R^v} c_k^v r_{j_u}^v \right) \quad (4-2)$$

则 $C = \{C_0, \dots, C_j, \dots, C_{n+1}\} (j \in V)$ 对于给定的模式 u 对应的工序成本向量。

所以基于工序模式编码方式以成本为目标函数的车间作业调度的优化模型：

$$\min C_G = \sum_{j=0}^{n+1} C_j \quad (4-3)$$

$$S_l - S_j \geq \delta_{lj} \quad (j, l \in V) \quad (4-4)$$

$$S_j \geq 0 \quad (j, l \in V) \quad (4-5)$$

$$\sum_{j \in V} r_{jk}^p \leq R_k^p \quad (k \in R^p) \quad (4-6)$$

$$\sum_{j \in V} r_{jk}^v \leq R_k^v \quad (k \in R^v) \quad (4-7)$$

$$m_j \in M_j \quad (j \in V) \quad (4-8)$$

式(4-4)、(4-5)是时间约束， δ_{lj} 是工序 l, j 之间最小延迟^[37]。式(4-6)、(4-7)、(4-8)分别是 p 资源、 v 资源的限量约束和对工序模式的约束，所以式(4-3)是同时满足时间和资源约束的总成本表达式。本小节提出的成本优化模型比原有的成本模型增加了车间作业调度中不同工序模式之间最小延迟，在原来的成本模型中加入了时间的限制，从而达到成本和时间双优的目的。

4.4 本章小结

车间作业调度问题有很多不同的分类，相当一部分书籍都对流水车间的排序问题作了详细的介绍，本文首先介绍了车间作业调度问题的基本概念、分类和调度模型以及评价标准，并根据第三章提出了基于工序模式的遗传算法编码设计方案，增加了车间作业调度中不同工序模式之间最小延迟，使之达到成本和时间双优的目的。

第 5 章 求解车间作业调度问题的双倍体遗传算法研究

5.1 引言

车间作业调度问题(简称 JSP)是许多实际生产调度问题的简化模型,因此其研究具有重要的理论意义和工程价值,它也是目前研究最广泛的一类典型调度问题。

5.2 对于 JSP 目前的若干求解方法

目前,有关 JSP 高效算法的研究与设计仍是 JSP 领域乃至整个生产调度范围内重要研究内容。迄今,虽然有一些新的算法产生,但其性能还有待进一步研究和论证,以下简单介绍几种常见的算法和简单的分析:

(1)枚举方法 如分支定界策略,其计算量和存储量巨大,难以应用于大规模调度问题。

(2)基于优先规则的构造性方法和启发式方法^[56] 能够快速构造解,但优化质量一般较差。

(3)移动瓶颈方法 能够取得较好的优化质量,但求解过程和算法实施很复杂,并且难以移植到其他类型的问题,同时相对其它方法而言比较难以理解。

(4)模拟退火方法、遗传算法、禁忌搜索等方法^[57] 能够取得比较满意的优化质量,但其性能对参数有较强的依赖性,并且优化时间通常较长,而简单地将它们与优先规则相结合的混合方法对优化质量的改善程度比较有限。

(5)神经网络和蚁群系统^[55]等方法 能够优化时间性能较差,而优化质量严重依赖于网络参数,甚至产生非法调度。

(6)Lagrangian 松弛法 可以通过松弛和分解的策略降低问题的求解复杂性,但需要合适选取或调整相应的算法参数,同时大多数情况下需要

对所得到的解进行再加工，才能够得到可行的比较满意的调度。

5.3 面向该成本模型 JSP 问题的双倍体遗传算法

5.3.1 遗传算法设计步骤

通常，遗传算法的设计按以下步骤进行：

(1)确定问题的编码方案 由于 GA 通常不直接作用于问题的解空间，而是利用解的某种编码表示来进行进化，因此选择合理的编码机制对算法质量和效率有很大影响。

(2)确定适配值函数 由于遗传算法通常基于适配值进行遗传操作，因此合理的适配值能够将各个体的优劣程度得以体现，并适应算法的进化过程。

(3)算法参数的选取 通常包括种群的数目、交叉概率、变异概率、进化代数等。

(4)遗传算子的设计 通常包括初始化、选择、交叉、变异操作等。

(5)确定算法的终止体条件 终止准则应根据所求解问题的性质，在优化质量和效率方面作合理均衡和侧重。

5.3.2 用双倍体遗传算法解决该问题

Davis L.最早于 1985 年提出应用遗传算法(Genetic Algorithm, GA)求解 JSP 问题^[38]。近年来，基于遗传算法的车间作业调度方法得到广泛研究。研究表明，GA 对求解 JSP 具有较好的效果，但许多方法采用 Holland 提出的简单遗传算法(Simple GA, SGA)或者其改进算法。其中，每个基因型由一条染色体组成，所以称为单倍体遗传算法。自然界中一些简单的植物采用这种遗传，而大多数动物和高级植物都采用双倍体遗传方式，每个基因型由一对染色体组成。

本文采用双倍体遗传算法(double chromosomes genetic algorithm)求解 JSP。由于双倍体遗传算法提供了一种记忆以前有用的基因块的功能。在某些低适应度染色体中，其局部基因块十分有用，是最优解中的基因片段，这些基因块在当前染色体中的位置不适等因素导致这些染色体的适应度

值不高，应保留这些基因块。所以，基于双倍体遗传算法的作业车间调度方法，能够显著提高搜索效率，改进收敛性能。双倍体遗传算法的流程图如图 5-1 所示。

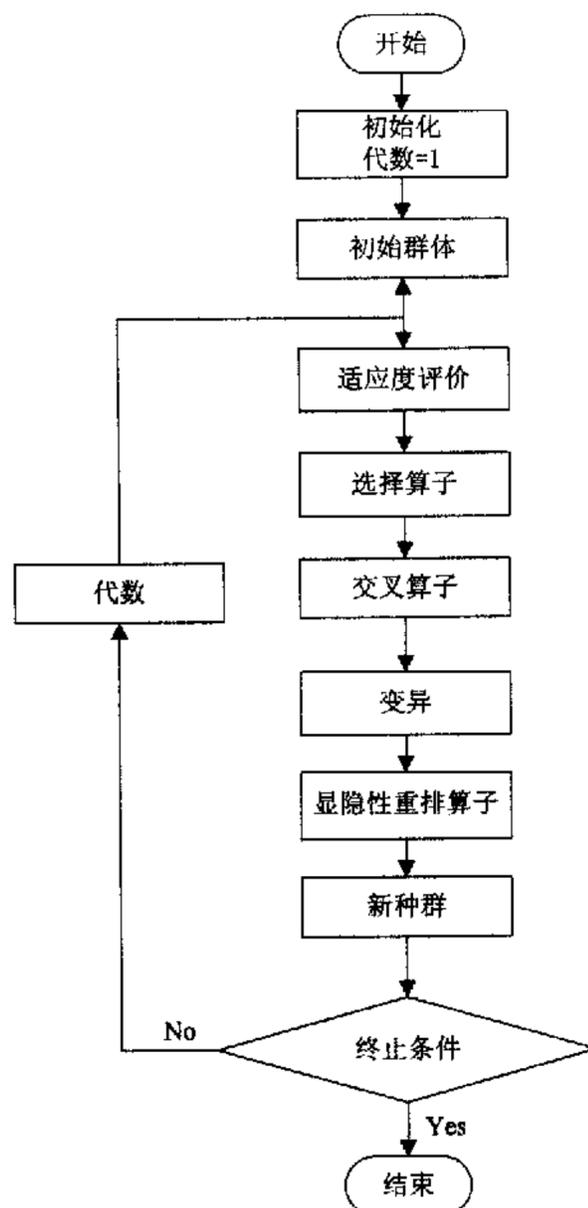


图 5-1 双倍体遗传算法的流程图

Fig. 5-1 The flow chart of double chromosomes genetic algorithm

许多研究表明，寻找作业调度问题的最优解是非常困难的，最有工程意义的求解算法是放弃寻找最优解的目标，转而试图在合理、有限的时间内寻找到一个近似的、有用的解^[39]。近年来，在这方面已取得了不少研究成果，特别是模糊逻辑、遗传算法、模拟退火和神经网络等智能求解方法，为解决较大规模的优化问题提供了比较可行的方法^[40-47]。双倍体遗传算法采用显性遗传。当一对染色体对应的基因块不同时，显性基因遗传

给后代，从而延长有用基因块的寿命，提高算法的收敛能力，并且在变异率低的情况下，也能保持一定水平的多样性。Goldberg 用动态 Knapsack 问题进行了比较研究，实验表明，双倍体遗传算法的动态跟踪能力比单倍体的强^[48]。

因此，本文将双倍体遗传算法应用于求解基于工序模式成本优化模型的车间作业调度问题，具体步骤如下。

步骤 1：编码 / 解码。由于 JSP 问题具有离散、动态、多机和多变量耦合等多种属性，所以 JSP 遗传算法编码具有一定的难度，一直是 GA 求解 JSP 问题的瓶颈。由于受工序加工路线的约束，JSP 不像 TSP 和 Flow-shop 调度问题那样容易确定一个自然表达。在过去的几年里，已经提出了基于工序、工件、优先表、工件对关系、优先规则、非连接图、完成时间、机器和随机键等 9 种 JSP 的编码方法^[47]。但还没有一个用系统不等式来表达先后约束的好方法，因此，不便于应用惩罚法来处理这些类型的约束。

对于双倍体遗传算法，群体中的每个个体具有两个染色体，一个是显性染色体，一个是隐性染色体，每个染色体的编码/解码方式与简单遗传算法相同。综合考虑染色体的拉克马属性、解码复杂性、编码空间映射属性和内存的要求等各个因素，本文选择了基于工序模式的表达法采用实数编码。这种表达法将调度编码为工序的序列，每个基因代表一道工序中的模式。给所有同一工序的模式指定相同的符号，然后根据它们在给定染色体中出现的顺序加以解释。对于 n 道工序 m 个模式作业调度问题，一个染色体包括 n 个基因，每道工序的模式在染色体中只出现 1 次，每个基因表明一个项目所有工序模式的具体的序列。很容易看出，染色体的任意排列总能够产生可行调度。

步骤 2：选择算子。选择算子采用了轮盘赌方法，计算显性染色体的适应度，按照显性染色体的复制概率，将个体复制到下一代群体当中。每一个个体的适应度 $f_j = C_j$ ，群体的适应度为 $f = \sum_{j=0}^{n+1} C_j$ ，则将比例 f_j/f 作为活动 j 的选择概率。

步骤3: 交叉算子。交叉算子是最重要的算子。本文采用 Gen, Tsujimura and Kubota 提出的部分调度交换交叉算子, 考虑部分调度为自然构成块, 使后代保留这些构成块。部分调度用调度中起始和最终位置相同的工件来识别。对于交叉操作, 从群体中选取两个个体, 两个个体的显性染色体进行交叉操作, 隐性染色体进行交叉操作。显性交叉率和隐性交叉率可以不同。本文为了工程实现方便, 设显性交叉率和隐性交叉率相同, 然后进入下一代群体。

步骤4: 变异算子。采用工序模式对交换变异, 即随机选择两个不完全一致的工序模式交换位置。对于变异操作, 个体的显性染色体按照正常的变异概率执行变异操作; 而个体的隐性染色体, 则按照较大的变异概率执行变异操作。

步骤5: 双倍体遗传算法显隐性重排算子。当前面的三个遗传算子都执行完成以后, 双倍体遗传算法显隐性重排算子的操作是将个体的染色体显隐性进行重新排定, 个体中适应值较大的染色体设定为显性染色体, 适应值较小的染色体设定为隐性染色体。这样做是为了保留这些基因块由于在当前染色体中的位置不适等因素, 导致适应度值不高的染色体。

步骤6: 算法终止条件。一般地, 遗传算法的终止条件有两种: 一种是当相邻几代已无进化表现的时候终止算法; 另一种是固定代数。本文提出的双倍体遗传算法采用固定代数作为终止条件。

过早收敛很可能使问题的解陷入局部最优, 为了改进标准遗传算法的过早收敛问题。本文经过研究采用双倍体遗传算法求解 JSP 问题。由于双倍体遗传算法提供了一种记忆以前有用的基因块的功能, 保留了某些低适应度染色体中的一些局部基因块构成最优解中的基因片段, 将个体的染色体显隐性进行重新排定, 个体中适应值较大的染色体设定为显性染色体, 适应值较小的染色体设定为隐性染色体。提高了算法的适应能力。这些基因块由于在当前染色体中的位置不适等因素, 导致当前染色体的适应度值不高。仿真结果表明, 基于双倍体遗传算法求解 JSP 问题, 在求解质量和效率上均优于标准的遗传算法, 且工程实现方便, 可以研制成生产调度软件包, 并能应用于工程实际^[39]。

5.3.3 仿真实例及结果说明

一个想法的好坏主要是看仿真的结果，而结果的好坏是通过比较才能得出，所以在这里利用遗传算法各代的最佳适应度值输出曲线和平均的适输出曲线进行了比较，从而验证了仿真输出结果。

在这里使用第四章介绍过的成本优化模型进行仿真。根据实际生产给出一组数据。本文为了清楚说明问题，设计了两种工序的调度任务，数据如表 5-1 所示。两种工序在不同模式下的延迟时间取值 $\delta_j = [10, 11, 12, 11, 9, 8]$ 。

表 5-1 模式及相关的参数

Table 5-1 The form of the pattern and correlation parameter

工序	p-资源	v-资源	提前期
模式 i_1	3.2	4.7	13
模式 i_2	2.2	7.7	10
模式 j_1	5.6	12.1	10
模式 j_2	6.7	11.9	12
模式 i_3	6.0	15.1	16

使用 $C_G = \sum_{j=0}^{n+1} \{ [\sum_{r=\delta_j}^{S_j+q_u} (\sum_{k \in R^p} c_k^p r_{ju}^p)] + (\sum_{k \in R^v} c_k^v r_{ju}^v) \}$ 这个函数作为双倍体遗传算

法适应度评价函数在 MATLAB 下进行仿真^[48,49]，选择算子采用适应度比例法采用单点交叉，交叉概率 $P_c = 0.6$ ，变异概率 $P_m = 0.1$ 。选取初始群体的个数 $POPSIZE = 10$ ， $MAXGEN = 200$ ，计算精度 $\epsilon = 1e-6$ 。双倍体遗传算法各代最佳适应度值、平均的适应度值性能曲线如图 5-2 所示。

从图 5-2 可以看到寻优曲线最后已经接近一个比较稳定值，这就说明用双倍体遗传算法解压该成本模型能够在一定区域内寻找到比较理想的函数值。并且平均的适应度值和最佳适应度值随着代数增加原来越接近。最后输出结果为：

POP = 1.0e+003*[0.0032 0.0077 0.0130 0.0067 0.0151 0.0160 5.7520]

结果以一维矩阵形式给出，前三列是工序 i 的取值，3 到 6 列是工序

j 的取值，最后一列为目标函数值。

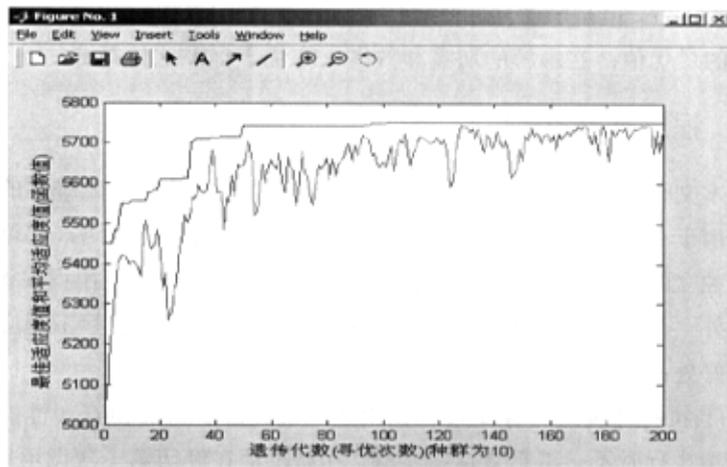


图 5-2 跟踪曲线

Fig. 5-2 Tracking curve

图 5-3 给出了双倍体算法和普通算法的比较曲线。

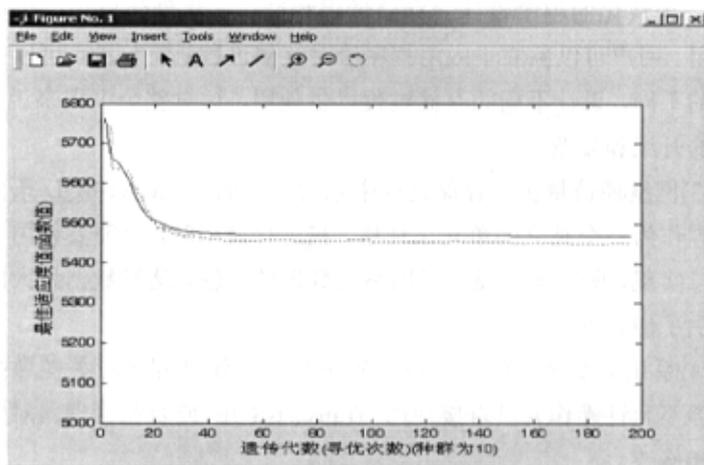


图 5-3 算法比较曲线

Fig. 5-3 Arithmetic compare curve

标准遗传算法解 Job-shop 调度问题，存在过早收敛问题，进行多次

调度总有几次收敛于局部最小解。从图 5-3 可以看出,虽然二者的计算结果比较接近,但是随着问题规模的扩大,本文提出的双倍体遗传算法更趋明显的最优值,在求解的质量和效率上均优于标准遗传算法。

5.4 程序初步实现

本文设计了一个存储过程来实现算法功能,并给出了源程序的初步框架。由于存储过程是一组预先编译好的 Transact-SQL 代码,它可以作为一个独立的数据库对象,也可以作为一个单元被用户的应用程序调用。它的另外一个优点是可以方便的嵌入其它应用程序中,在实际工程应用中有很多好处:

(1)执行速度快 存储过程在创建时就经过了语法检查和性能优化,因此在执行时不必再重复这些步骤。存储过程在经历第一次调用以后,就驻留在内存中,不必再经过编译和优化,所以执行速度很快。在有大量批处理的 Transact-SQL 要重复执行的时候,使用存储过程可以极大地提高运行效率。

(2)模块化的程序设计 存储过程经过了一次创建以后,可以被无数次调用。用户可以独立于应用程序对存储过程进行修改。可以按照功能模块的不同,设计不同的存储过程以供使用,这对整个工程来说,方便了程序的升级和修改。

(3)网络通信量少 存储过程中包含大量的 Transact-SQL 语句。但存储过程作为一个独立的单元来使用,在进行调用时,只需要使用一条语句就可以实现,所以大大减少了网络上数据的传输,这对数据量大的工程项目提供了便利条件。

(4)系统的安全性强 可以设置用户对存储过程来对关键数据进行访问,但不允许操作人员直接使用 Transact-SQL 或企业管理器对数据进行访问和修改。

由于存储过程操作是在数据库后台完成的,所以用表来描述工件在整个车间生产过程中,它有几道工序,每道工序有多少种模式,工序和模式之间的隶属关系。表 5-2 表示工序及其参数名称。表 5-3 表示工序模式及

其参数名称。

表 5-2 工序表及相关的参数

Table 5-2 The form of the working procedure and correlation parameter

表名称	工序表		TABLE ID	T_WP		
	NO	FIELD ID	FIELD NAME	TYPE	LEN	NULL
1	WP_NM	工序名称	VARCHAR	10	N	
2	WP_CD	工序代码	VARCHAR	10	N	
3	ISRT_DT	插入日期	DATETIME		Y	
4	ISRT_EMP_NO	插入人	VARCHAR	10	Y	
5	UPDT_DT	修改日起	DATETIME		Y	
6	UPDT_EMP_NO	修改人	VARCHAR	10	Y	
7	NOTE	备注	VARCHAR	128	Y	

PK: WP_CD;

INDEX:

表 5-2、5-3 是通过主键相联，记录工序和模式的隶属关系。

表 5-3 模式表及相关的参数

Table 5-3 The form of the pattern and correlation parameter

表名称	工序表		TABLE ID	T_PTN		
	NO	FIELD ID	FIELD NAME	TYPE	LEN	NULL
1	PTN_NM	模式名称	VARCHAR	10	N	
2	PTN_ID	模式 ID	VARCHAR	10	N	
3	PTN_CD	模式代码	VARCHAR	10	N	
4	WP_CD	工序代码	VARCHAR	10	N	
9	NOTE	备注	VARCHAR	128	Y	

PK: PTN_ID, WP_CD;

INDEX:

下面给出由存储过程实现算法功能的源代码和简单说明:

(1)DROP procedure usp_ch

GO

(2)CREATE procedure usp_ch(@wp_cd varchar(256),

@n int(6))

AS

(3)DECLARE @PRE_DT DATETIME

(4)CREATE TABLE t_ch

(

ch_id VARCHAR(10) NOT NULL,

ch_cd VARCHAR(256) NOT NULL,

ch_cost NUMERIC(18,6) NOT NULL

CONSTRAINT PK_t_ch PRIMARY KEY CLUSTERED

(ch_id, ch_cd)

)

(5)CREATE TABLE t_cost

(

ch_id VARCHAR(10) NOT NULL,

ch_cd VARCHAR(256) NOT NULL,

cost NUMERIC(18,6) NOT NULL

CONSTRAINT PK_t_cost PRIMARY KEY CLUSTERED

(ch_id, ch_cd)

)

(6)initializega()

(7)while @n <= @i

begin

(8) gamicheval()

insert t_cost

(9) select t_ch.ch_id,

```

t_ch.ch_cd,
t_ch.ch_cost
from t_ch(nolock)
where t_ch.ch_cd
not in (select t_cost.ch_cd
        from t_cost (nolock))
(10) selectfun()
(11) simplemover()
(12) binarymutation()
(13) funchange()
(14) select @n = @n+1
end
(15)Select top 1 @wp_cd = t_cost.cho_cd
From t_cost(nolock)
order by t_cost.cost desc
(16)optimization()
(17)drop t_ch,t_cost
GO

```

程序由几个主要函数来完成遗传操作，函数 `initializega()` 功能是种群初始化、函数 `selectfun()` 功能是遗传选择操作、函数 `simplemover()` 功能是交叉操作、函数 `binarymutation()` 功能是变异操作、函数 `funchange()` 功能是双倍体遗传算法显隐性重排操作、函数 `optimization()` 功能是种群最优选择操作。

5.5 本章小结

本章首先介绍了对于解决车间作业调度问题的几种解决方法，并简单分析了各种方法的特性，而后给出普通遗传算法的主要设计步骤目的是便于后面提出双倍体遗传算法进行比较。后面给出了用双倍体遗传算法解决车间作业调度问题的算法，设计算法的具体步骤，并用 MATLAB 软件对

该算法进行仿真，根据第四章的成本优化模型，绘出了双倍体遗传算法解决该问题的各代的最佳适应度值和平均的适应度输出曲线输出最后仿真结果，本章最后用提出设计一个存储过程来实现算法功能，给出了源程序的初步框架，并简单介绍存储过程种几个遗传操作的函数。

结 论

提高企业的竞争地位有各种因素,除了企业的经营战略以外,主要的三个方面是:设计、制造和管理。ERP 企业资源计划系统就是这样一个融合现代管理思想和技术,贯穿企业整个产、供、销、人、财、物等各个环节的闭环系统。ERP 系统中的车间作业调度问题主要集中在车间的计划与调度方面,国内外许多学者作了大量研究,出了不少的研究成果。制造系统的生产调度是针对一项可分解的工作(如产品制造),探讨在尽可能满足约束条件(如交货期、工艺路线、资源情况)的前提下,通过下达生产指令,安排其组成部分(操作)使用哪些资源、其加工时间及加工的先后顺序,以获得产品制造时间或者成本的最优化。

遗传算法是模拟生物的进化现象,并采用自然进化机制来表现复杂现象的一种概率搜索方法。它不依赖于梯度信息,具有很强的鲁棒性和全局优化能力。所以利用遗传算法对车间作业调度问题进行求解并对其进行优化,能达到取长补短的作用,是一个有意义的研究问题。

本文的创新点主要有以下几个方面:

(1)根据本人在山东鲁能电缆有限公司实习期间对该公司应用的 ERP 系统所用的韩国三星公司的 UNIERP 软件包和该公司实际生产模式的理解,本文给出了基于工序模式的遗传算法编码设计方式,并且根据遗传算法编码评价标准对该种编码进行分析得出基于工序模式编码方式的特点为: Lamarkian 性; 1 类解码复杂性; 能保证调度的可行性,但这种编码方式含有非法解,需要进行特殊处理; 由于基于工序模式车间作业调度问题和传统的车间作业调度问题有区别,工序的模式不能固定,并且模式参数也不是固定的数值,所以该种编码方式的编码长度大于标准长度。

(2)本文对 ERP 车间作业调度的成本模型做了优化,加入了不同工序在不同模式下最小延迟时间。由于车间接受任务的每道工序需要消耗一定的资源,车间层的资源可以分为两类:可重复利用资源和不可重复利用资源,因此模型是一个在时间、可重复使用和不可重复使用资源约束下的多

模式车间作业调度问题，使之达到时间—成本双优的目的。

(3)算法的设计是解决问题的关键，由于标准遗传算法求解车间作业调度问题存在过早收敛问题，产生局部最优解。所以本文采用双倍体遗传算法进行求解，增加了显隐性重排算子，把个体中适应值较大的染色体设定为显性染色体，适应值较小的染色体设定为隐性染色体。随后利用训练数据随机生成了遗传算法中的初始群体，并利用双倍体遗传算法进行了调整，通过仿真实例给出了算法的性能寻优跟踪曲线由此得出的结论。

由于本人时间和精力有限，仍有部分工作有待解决：

(1)车间作业调度问题的成本模型有待进一步完善优化，编码方式也可以采用新方法研究。

(2)采用优化的算法对车间作业调度问题进行求解，使问题得到更加理想的解决方式。

(3)本文对采用双倍体遗传算法解决车间作业调度问题的程序只给出了初步框架，还有待进一步完善和细化具体遗传操作函数。

参考文献

- 1 初壮.MRP II 原理与应用基础—揭示制造企业提高生产率的秘密.北京:清华大学出版社,1997:51-69
- 2 刘文剑.计算机集成制造系统导论.哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1994:4-8
- 3 刘丽文.生产与运作管理.北京:清华大学出版社,1998:10-15
- 4 潘家昭,刘丽文.现代生产管理学.北京:清华大学出版社,1994:78-81
- 5 刘丽文,张尔正.工业信息化.北京:京华出版社,1998:45-51
- 6 Drury Colin. Management and Cost Accounting, Third Edition. London:Chapman & Hall.1992,18(3):11-15
- 7 Innes J.Mitchell F.Yoshikawa T.Activity Costing for Engineers. John Wiley & Sons Inc.1995,9(5): 111-112
- 8 王莉莉,张洪波,李怀祖.对 MRP II 系统在中国企业应用现状的调研和思考.中国机械工程,1998,2(2):12-13
- 9 宋克勤,陈文安.工业企业生产管理与控制.西安:立信会计出版社,2001:45-46
- 10 贾振强.MRP II 在中国.科学管理研究,1998,8(7):12-16
- 11 王惠芬.建立 MRP II 系统实现企业可持续发展.科学管理研究, 1998,6(1):15-17
- 12 张厚启.企业管理软件的发展历程.软件,1998,8(3),5-8
- 13 Joseph Orlickly. Material Requirements Planning. New York:McGraw-Hill Book Company.1975,2(1):12-13
- 14 上海机械工业学会现代管理手册组译.现代管理工程手册,第 11 章:计划与控制.北京:机械工业出版社.1987:159-187
- 15 李长信.丰田生产方式.北京:北京出版社,1981:56-62
- 16 陆首群.质量工程学—全面质量管理基础.北京:机械工业出版社,1990:58-69
- 17 Hay Edward. The Just-in-time Breakthrough. New York: John Wiley & Sons. 1988,8 7-8
- 18 邹红,苏曼.现代化企业管理理论与实践.北京:中国物资出版社,1994:78-81
- 19 白英彩,唐治文,余巍.计算机集成制造系统—CIMS 概论.北京:清华大学出版

- 社, 1997:22-28
- 20 陈启申.MRP II 制造资源计划基础.第二版.北京:企业管理出版社,2003:58-63
- 21 温咏棠.MRP II 制造资源计划系统.北京:机械工业出版社,1994:45-48
- 22 Green J.H..Production and Inventory Control Handbook,Sencond Edition.New York:McGraw-Hill Book Company.1987,(9):14-15
- 23 Garwood Dave.Bills of Material.Marietta GA.Dogford Butterworth Heinemann Ltd..1992,1(2):21-27
- 24 Black Stone Jr.John H..Capacity Management.Chicago:IL.South-Western Publishing CO. .1989,10(9):24-28
- 25 Orden Howard W. Langenwalter Gray A. .Lucier Raynmond A.Handbook if Material & Capacity Requirements Planning.New York:McGraw-Hill Inc..1993,3(2):21-27
- 26 王凌.智能优化算法及其应用.北京:清华大学出版社,施普林格出版社,2001:36-37
- 27 陈国良,王煦法,庄镇泉.遗传算法及其应用.北京:人民邮电出版社,1996:1-1 2-4 28-36 5-14 67-69 51-66 75-86
- 28 S.Randall S.exton, Jatinder N.D. Gupta. Comparative Evaluation of Genetic Algorithm and Back Propagation for Training Neural Networks. Information Sciences, 2000,129:45-59
- 29 D.T.Pham, D.Karaboga. Training Elman and Jordan Networks for System Identificatio Using Genetic Algorithm. Artificial Intelligence in Engineering,2000,(13):107-117
- 30 韩立竹,王华.MATLAB 电子仿真与应用.北京:北京国防出版社,2001:1-2
- 31 王沫然.MATLAB6.0 与科学计算.北京:电子工业出版社,2001:1-2
- 32 洪国芳.生产管理学.第二版.哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 2002:12-16
- 33 黄卫伟. 生产与作业管理.第三版.北京:中国人民大学出版社,2000:15-18
- 34 白庆华.计算机辅助管理和决策.四川:重庆大学出版社,1994:16-26
- 35 马天超.机械工业企业生产管理学.北京:机械工业出版社,1996:54-59
- 36 王凌.车间作业调度及其遗传算法.北京:清华大学出版社,2003,5-19
- 37 胡仕成,徐晓飞,战德臣.一种面向成本优化的生产计划调度算法,计算机集成制造系统—CIMS,2003,9(9):735-739
- 38 DAVIS L.Job-shop scheduling with genetic algorithms[A].Proc. of International

- Conference on Genetic Algorithms and their Applications[C].1985.136-149
- 39 王万良,宋毅,吴启迪.求解作业调度问题的遗传算法与软件实现,计算机集成制造系统—CIMS,2004,10(1):65-69
- 40 王万良,杨旭东,吴启迪.基于客户满意度的模糊调度模型及其应用[J],信息控制,2001,30(4):301-304
- 41 王万良,姚海明,吴云高等.基于遗传算法的混合 Flow-shop 调度方法[J]系统仿真学报,2002,14(7):863-865
- 42 CHENG R,GEN M,TSUJIMURA Y. A tutorial survey of job-shop scheduling problems using genetic algorithms-I [J]. Representation, Computers & Industrial Engineering,1996,30(4):193-997
- 43 王万良,吴启迪,徐新黎.基于 Hopfield 神经网络的作业车间生产调度方法[J]自动化学报,2001,28(7):58-68
- 44 李秀,刘文煌,姜澄宇等.用遗传算法解决生产线调度 job-shop 问题[J]系统仿真学报,2002,13(6):863-865
- 45 方剑,席裕庚.基于遗传算法 Job Shop 静态调度算法[J].上海交通大学学报,1997,31(3):49-52
- 46 CROCE F, TADEI R. A genetic algorithm for the job-shop problem[J].Computers and Operations Research,1995,22(1):15-24
- 47 GEN Mitsuo,CHENG Runwei.Genetic algorithms and engineering design[M].New York: John Wiley & Sons,1996:31(3):49-52
- 48 飞思科技产品研发中心.MATLAB6.5 辅助优化计算与设计.北京:电子工业出版社,2003:155-198
- 49 吴晓莉,林哲辉.MATLAB 辅助模糊系统设计.西安:西安电子科技大学出版社,2002:158-170
- 50 张文修,梁怡.遗传算法的数学基础.西安:西安交通大学出版社,2003:5-15
- 51 E.L.Lawler, "Optimal sequencing of a single machine subject to precedence constraints", Management Sci. 1973,(19):544-546
- 52 C.L.Monma, "Sequencing to minimize the Maximum job cost", Oper. Res. 1980, (28):942-951

- 53 T.S. Abdul-razaq, C.N. Potts, Dynamic programming state-space relaxation for single-machine scheduling, *Joper. Res. Soc.*, 1988,(39):141-152
- 54 DE REYCK B,HERROELEN W.A branch-and-bound procedure for the resource-constrained project scheduling problem with generalized precedence relations[J].*European Journal of Operational Reserch*,2000,111(1):152-17
- 55 PHILIPPE.B, CLAUDE LE P. Constraint propagation and decomposition techniques highly disjunctive and highly cumulative project scheduling problems[J].*Constraints*, 2000,5(1):119-139
- 56 ODDI A,SMITH SF.A constraint-based method for project scheduling with time windows[J].*Journal of Heuristics*,2002,8(1):109-136
- 57 FRANCK.B,NEUMANN K,SCHWINDT C.Truncated branch and bound, schedule construction, schedule-improvement procedures for resource constrained project scheduling[J].*OR-Spektrum*,2001,23(3):297-324

攻读硕士学位期间承担的科研任务与主要成果

- 1 刘文远, 梁兴国. 一种应用于车间作业调度问题中面向成本优化的遗传算法, 微机发展, 已录用.

致 谢

本课题是在导师刘文远副教授的亲切关怀和精心指导下完成的。在本课题的研究过程中，导师在学习与生活中给予了热情的关怀与帮助，他渊博的学识、刻苦的钻研精神、严谨的治学态度、正直的作风和亲切的为人处事给我留下了深刻的印象，为学生开阔了视野，丰富了学识，鞭策着学生不断进取、前进。值此论文完成之际，对导师曾经给予的学术上的指导，生活上的关心和帮助致以最诚挚的谢意！

师恩厚重，学生将永远铭记在心。

感谢所有支持和帮助我的同学和朋友！

最后，衷心感谢信息工程学院计算机系全体老师三年来的辛勤培养和教诲！

作者简介



姓 名：梁兴国
性 别：男
民 族：汉
籍 贯：黑龙江绥化
出生年月：1977年3月

学历简介：2001年7月毕业于燕山大学信息工程学院计算机软件与理论专业，获得工学学士学位；2002年9月，进入燕山大学信息工程学院计算机软件与理论专业攻读硕士学位。

研究方向：ERP中算法研究。