

面向运作系统的协调优化理论与方法

华中生

(中国科学技术大学管理学院,安徽合肥 230026)

摘要:面向运作系统的协调与优化问题是指为了提高运作系统的效率和应对不确定环境的能力而提炼出的一类相关科学问题。这类协调与优化问题的基本特征是非线性、多目标、变结构以及决策信息的不确定性,一直是国内外研究的热点和难点。我们以运作系统中的理论与实际问题为研究对象,从需求预测、系统设计、运营和风险控制等多个方面开展了深入的研究工作。重点研究了运作系统的非平稳需求预测与决策、供应链协调与集成设计优化以及面向运作系统的风险预测与控制等问题,取得了一些原创性的理论成果,在一定程度上带动了国内外相应方向研究的发展。

关键词:运作系统;需求预测;协调优化;集成设计;风险控制

中图分类号:C93 **文献标识码:**A doi:10.3969/j.issn.0253-2778.2014.05.007

引用格式: Hua Zhongsheng. Coordination and optimization for operations systems: Theory and method[J]. Journal of University of Science and Technology of China, 2014,44(5):416-424.
华中生. 面向运作系统的协调优化理论与方法[J]. 中国科学技术大学学报, 2014,44(5):416-424.

Coordination and optimization for operations systems: Theory and method

HUA Zhongsheng

(School of Management, University of Science & Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract: Coordination and optimization for an operational system aims to improve the operational efficiency of the system and its ability to cope with uncertain environments. This kind of research problem is characterized by nonlinearity, multiple objectives, variable structures and uncertain information, and has always been a hot and difficult topic in operations management. By taking the theoretical and practical problems in operations systems as the research subject, in-depth research was conducted from the perspectives of demand forecasting, system design, operations and risk control. Specifically, focus was

收稿日期:2013-11-18; **修回日期:**2013-12-16

基金项目:国家自然科学基金重大项目(71090401/71090400),国家自然科学基金重大国际合作基金项目(71320107004)资助。

作者简介:华中生,男,1965年生,博士/教授,中国科学技术大学管理学院副院长,服务科学与技术实验室主任。教育部长江学者特聘教授,国家杰出青年科学基金获得者和“新世纪百千万人才工程”国家级人选。目前承担国家自然科学基金委重大研究项目和重大国际合作基金项目,担任全国工商管理专业学位研究生教育指导委员会委员、国家自然科学基金委管理学部评议组成员以及多种国内外学术期刊的编委。近年来在国际学术期刊上发表论文65篇,包括 Production and Operations Management, Marketing Science 等期刊,SCI/SSCI引用500多次,Scopus引用近900次。参与出版英文学术专著2部、中文学术专著2部、教材2部。科研成果曾获得国家教育部自然科学一等奖、省部级科技进步二等奖、省级高等学校优秀科研成果一等奖,论文入选中国大陆作者在 Elsevier 经济学杂志中引用最高论文、中国科学技术信息研究所评选的“中国百篇最具影响优秀国际学术论文”和安徽省自然科学优秀学术论文一等奖。教学成果曾获得省级教学成果一等奖、二等奖和中国科学院“优秀研究生指导教师”奖。所指导博士研究生1人获全国百篇优秀博士论文提名奖,1人获安徽省优秀博士学位论文奖,1人获得中国科学院院长特别奖。E-mail: zshua@ustc.edu.cn



laid on non-stationary demand forecasting and decision-making, supply chain coordination and integrated design, as well as risk prediction and control for operations systems. Some original results have been obtained, which to some extent promote the development of the research in corresponding directions.

Key words: operations system; demand forecasting; coordination and optimization; integrated design; risk control

0 引言

生产运作是一切社会组织的基本职能. 生产运作系统是指由人和机器构成的, 能将一定输入转化为特定输出的有机整体. 狭义上的运作系统主要指单个企业内部的输入输出转化过程; 广义上的运作系统包括跨企业之间的输入输出转化过程, 如供应链系统.

面向运作系统的协调与优化问题是指为了提高运作系统的效率和应对不确定环境的能力而提炼出的一类相关科学问题. 这类协调与优化问题的基本特征是非线性、多目标、变结构以及决策信息的不确定性. 此外, 这类优化与协调问题还具有很强的实践性、时效性、发展性和社会性, 一直是国内外研究的热点和难点. 下面从几个角度加以介绍.

(I) 需求预测是运作管理的基础性问题. 目前各种运作管理的理论与协调方法一般都要求或假定平稳的需求分布. 然而在现实实践中, 人们观察到的需求很多是非平稳的. 例如, 在流程企业和基于设备服务企业中, 设备备件需求的特点和要求与其他物料(如原材料、成品)的需求规律明显不同: 历史需求数据有限、需求离散稀疏且不平稳、需求的变异性高、要求较高服务水平等. 非平稳需求预测问题近40年来一直是预测领域的一个难题. 非平稳需求预测的主要困难在于难以发现导致需求非平稳的主要原因, 并将这些原因适当地在预测模型中进行反映.

(II) 库存控制是运作管理的核心问题之一. 多源采购库存控制策略是以优化库存成本为目标的库存控制模式, 需要解决“何时采购”、“向谁采购”、“采购多少”的问题. 多源采购库存控制策略的研究有助于企业合理利用供应商在不同特征上的优势, 进行合理的库存控制, 优化企业的库存成本来获取更大的收益. 多源采购系统中, 供应商的特征主要有单位采购成本、固定采购成本、采购能力限制、供应提前期、供应不确定性、订单碳排放量(订单引起的企业运输、处理以及生产过程中的碳排放量)等. 目前已有研究中, 多源采购库存控制策略一般均假设固定

采购成本可忽略, 考虑供应商在单位采购成本以及供应提前期上的差异; 或者考虑供应商在供应提前期或供应量上的不确定性的差异等. 尽管供应商在单位采购成本、固定采购成本和采购能力限制上同时存在差异是很多企业多源采购活动中经常碰到的现象, 但现有研究较少涉及供应商的这一系列差别.

(III) 在满足顾客多样化不确定需求的过程中, 柔性是企业的一个重要竞争力指标. 随着企业间联系的日益密切, 供应链企业满足多样化不确定需求的能力不仅取决于其本身的柔性, 还受到其上下游企业的柔性和供应链协作的影响. 自20世纪90年代中后期起, 国际上开始进行供应链柔性的研究: 一方面试图将单个企业柔性的研究成果向供应链推广; 另一方面是考虑到供应链的特殊性而进行的案例分析或问卷调查研究. 前一方面研究有较好的体系性, 但没有充分体现供应链的特点, 尤其是供应链决策主体的分布性特征; 后一方面研究理论基础薄弱, 且主要针对有核心的供应链等.

(IV) 复杂供应链系统在运行过程中存在多个风险源. 这些风险源不仅存在于单个企业内部, 还存在于相邻的企业中. 随着企业间竞争的加剧, 供应链上任何一个企业的财务风险都可能会传递给其他企业, 从而引起整个供应链风险的提升. 因此, 如何预测和控制供应链风险是供应链管理的又一重要问题.

基于上述研究背景, 我们以运作系统中的理论与实际问题为研究对象, 从需求预测、系统设计、运营和风险控制等多个方面开展了深入的研究工作. 重点研究了运作系统的非平稳需求预测与决策、供应链协调与集成设计优化以及面向运作系统的风险预测与控制等问题, 取得了一些原创性的理论成果, 在一定程度上带动了国内外相应方向研究的发展.

1 重要研究成果

1.1 运作系统的非平稳需求预测与决策

在对流程型制造企业和基于设备服务企业的设备备件需求非平稳性分析的基础上, 我们研究发现, 导致备件需求非平稳的重要原因是设备/装置的检

修/维修计划安排. 为此, 我们提出了一种将时序自相关与因果分析进行整合的设备备件需求的密度函数预测方法——整合预测方法 (integrated forecasting method, IFM). IFM 法利用设备 BOM 信息, 首先进行备件历史需求序列与设备/装置检修/维修的类协整分析, 以发现检修/维修计划对需求的影响, 并形成需求的因果序列; 然后再对剔除因果关系的历史需求序列进行自相关分析, 以形成需求的自相关序列; 最后通过对自相关序列和因果序列进行有机集成以构造需求密度的预测模型. 大量对比实验结果表明, 在非平稳的间断需求预测方面, IFM 法的预测精度比当时国际上所有的预测方法都高. 就我们掌握的资料和国际同行引用情况看, IFM 法是以设备备件需求为代表的非平稳需求预测的一种原创性方法, 其创新性主要体现在发现了系统内部决策与行动对需求非平稳性的影响. 所发现的规律存在于供应链系统以及其他多种社会经济系统 (如海关监管系统、信用分析与评估系统). 如在海关监管系统中, 海关监管政策和关税协定对走私概率有类似的影响. 在 IFM 法研究的基础上, 我们拓展了相关结果, 提出了一系列新的非对称 (即向下随机变动与向上随机变动的规律不同)、非平稳密度预测方法. 另外, 对于非平稳需求的供应链库存决策问题, 我们还研究建立了一种静态-动态相结合的供应链库存控制策略, 即先在整个计划期上确定最优的订购时间段和订至水平, 然后应用滚动计划法制订每个时间段上的采购决策, 从而达到降低供应链总成本的目的. 这些研究结果在一定程度上带动了非平稳密度预测及其相关供应链协调决策方面的研究.

我们在这方面不仅开展了深入的理论研究^[1-7], 还将非平稳预测及其决策方法开发成决策支持系统 (软件著作权号: 2006SR03379), 在安庆石化供应管理和中国海关选择查验中得到较好应用. 这部分成果主要体现在: 发现了系统内部决策对需求非平稳性的影响, 给出了博弈各方决策地位差异的量化表达, 并提出了多阶段、多输入、多输出分布式系统的效率分析方法. 关于非平稳需求预测方面, 美国 Richmond 大学 Altay 教授^[8]认为我们提出了一种优越的非平稳需求预测方法; 英国布鲁内尔大学 Önkál 教授等^[9]指出, 我们所提出的需求密度预测是一个值得倡导的预测形式; 《Complex System Maintenance Handbook》一书中^[10]对我们的方法做

了专门介绍. 有关非平稳密度预测的研究成果还应邀在第 22 届欧洲运筹学大会上作预测方法的专题报告, 在第 15 届交叉数学论坛——交叉数学与统计方法国际学术会议做大会特邀报告.

1.2 供应链协调与集成设计优化

1.2.1 供应链系统的协调方法研究

(I) “零售商优势”测度及供应链协调

各种博弈模型是人们研究供应链协调机制或方式的基本工具. 由于已有博弈理论的限制, 人们一般假定博弈各方的决策地位要么完全平等, 要么某些成员具有绝对优势地位. 在实际供应链运行中, 人们发现供应链成员地位并非总是具有上述假定, 因为影响供应链成员优势地位的因素是多方面的, 不同成员具有不同的优势. 为此, 我们提出了供应链管理“零售商优势”的测度方法, 并分析了考虑“零售商优势”情形下的供应链合作机制^[11-13].

所谓“零售商优势”是指零售商能够控制或影响制造商的决策, 这种现象在市场营销领域早有报道且有较多解释性研究. 在供应链管理中, 通常将零售商优势简单理解为零售商决策占先, 这就难以研究零售商对制造商决策的影响程度. 通过定义供应链中“零售商优势”的测度, 我们可以对零售商在决策地位方面的优势程度进行连续的量化分析, 这在一定程度上弥补了现有博弈模型的不足. 在此基础上, 我们研究了供应链成员企业在充分协作和非合作情形下, 市场需求不确定性对零售商优势的影响, 建立了一系列新的协调方法. 如提出了一种基于合作博弈的渠道利润分配谈判过程, 证明了在加性和乘性需求函数下, 均衡契约能实现分布式供应链完美协调; 建立了一种基于收益共享的供应链成员合作方法, 并研究了需求不确定性变化对协作的影响.

关于博弈各方决策地位差异的量化表达方面, 美国蒙特克莱尔州立大学 John Wang 教授等在一篇关于中国管理科学研究的综述文章^[14]中将我们的研究成果作为中国管理科学近期研究贡献的典型成果作了大段详细介绍. 相关研究成果还分别入选第三届“中国百篇最具影响优秀国际学术论文”^[12], 以及 2004~2008 年度中国大陆作者在 Elsevier 经济学杂志中引用最高的 50 篇论文之一^[11].

(II) 多源采购与库存问题研究

采购活动引发的库存成本在企业最终产品成本中占据大部分比例. 铝制品制造业中, 库存成本占据最终产品成本的 60%~70%. 激烈的市场竞争迫使

企业利用不同供应商在单位采购成本、固定采购成本等特征上的优势,通过多源采购来获取更大的成本优势.实证研究表明,绝大部分行业中企业的采购活动均存在两个或两个以上供应商.

我们研究周期盘点多源采购系统的库存控制策略.周期盘点的多源采购系统库存控制中有两个时间概念:一是计划期,即库存控制实施的总体时间;二是采购周期,即相邻两次采购的时间间隔.需要注意的是,周期盘点的多源采购系统中,企业只在每个采购周期查看库存状态并向供应商采购.多源采购库存控制策略要解决的问题正是每个采购周期内“向谁采购”,“何时采购”,“采购多少”这三个问题.为解决上述三个问题,我们通过随机动态规划对多源采购库存控制问题进行建模,通过分析最优库存成本函数或其部分项的性质研究库存控制策略.

在多源采购库存控制策略的现有研究中,很少有文献同时考虑供应商在单位采购成本、固定采购成本和采购能力限制上的差异,尽管这些差异在库存实践中普遍存在.针对供应商在单位采购成本、固定采购成本和采购能力限制上同时存在差异的多源采购系统,我们分别从两个方面研究库存控制策略.具体来说,一方面通过单位采购成本满足一定条件时的最优库存控制策略结构,为一般的多源采购设计性能良好的启发式策略;另一方面,依据拟凸性和强(C, K)凸性直接研究该多源采购系统最优库存控制策略的结构.相关研究结果发表在 *Production & Operations Management* 和 *Operations Research Letters* 上^[15-16].后续研究(如文献[17-18]等)均将我们的研究成果作为多源策略的典型问题加以详细介绍.

在此基础上,我们进一步对碳配额限制下的多源采购问题开展研究.碳配额限制可以是对整个计划期上碳排放量的限制,也可以是对各个采购周期上碳排放量的限制.我们首次将碳排放引入到多源采购系统中,分析碳配额限制下的库存控制策略和库存战略.当整个计划期上的碳排放量受到碳配额限制时,我们研究了多源采购的库存控制策略.当各个采购周期上的碳排放量受到碳配额限制时,我们基于最优库存控制策略研究了多源采购的库存战略.针对两源采购、无固定成本、订购提前期不同、未满足需求积压问题,我们给出了问题的最优策略以及最优决策的灵敏分析和上界,发现最优策略为部分依赖库存状态的嵌套基本存货策略.

(III) 不同互联结构下的供应链协调优化

当企业间具有不同互联结构时,企业通过契约进行协作.在亚马逊等电子商务、医疗行业、艺术品行业,契约已经从传统批发契约(wholesale-price contract)发展到了寄售契约(consignment contract).我们研究了两供应商两零售商不同但具有替代性产品参与共同市场的竞争问题^[19].首先由供应商们决定契约的选择(寄售契约还是批发契约)以及产品的批发价格,然后,零售商们再同时决定订货量和零售价格.为了分析供应商和零售商们的最优决策,我们考虑了三种情况:①两个供应商都采用寄售契约;②两个供应商都采用批发契约;③一个供应商采用寄售契约,另一个采用批发契约.目标在于研究市场博弈中契约选择的均衡策略,以及最优决策随价格敏感性(β 表示对自身产品的价格敏感度, γ 表示对竞争产品的价格敏感度)和零售商的成本分配率(α)的变化趋势.

研究发现(如图 1 所示):①当消费者对竞争产品的零售价格非常敏感时(γ 比较大),供应商会根据不同的零售商的成本分配率(α)而改变契约策略;②当消费者对竞争产品的零售价格不怎么敏感(γ 比较小)并且供应商承受大部分的供应链成本(α 比较小)时,供应商会根据自身零售价格敏感度(β)的不同而改变契约策略.

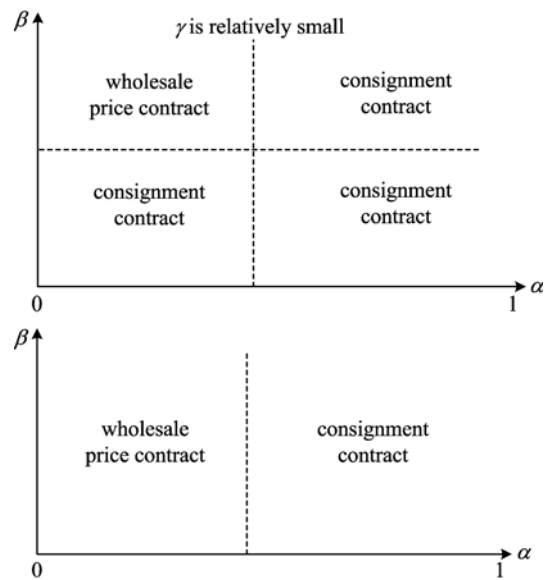


图 1 均衡契约选择

Fig. 1 Equilibrium of contract selection

回购策略(return policies or buyback policies)

作为一种重要的供应链协调方法,一直受到众多学者的持续关注.然而已有研究多数是专注于策略本身所具有的协调供应链的能力.为探讨这一策略在供应链管理中所发挥的作用,多数研究都将问题界定在一个上游供应商(或制造商)和一个或是两个下游的零售商的框架下,很少有研究考虑到上游多个供应商之间通过批发及回购合同相互竞争的问题.我们发现现实中一个供应商在没有面对相同产品或是替代产品竞争者的条件下,仍然会采用全额全款回购的策略,这与以往多数研究者证明的最优回购策略是部分额度回购不一致(“Pasternack 悖论”,即从供应链协调角度看,全额退货是次优策略,却被企业界在实际中广泛应用).为解释这一现象,我们考虑了两个批发商卖不同的产品给同一个零售商的问题,他们通过制定各自的批发价和回购策略竞争零售商的有限资源,同时零售商对其销售的产品有边际利润率的要求.相关研究结果^[19]发表在 Marketing Science 上.

1.2.2 供应链系统的集成设计优化

供应链系统的集成设计是指为了提升供应链的效率与效益,整体设计优化供应链系统资源,不仅包括给定终端产品结构约束下的供应商选择、交货方式选择和库存决策问题,还包括工艺方式选择、制造提前期决策、设备调整与多产品生产转换决策等问题.这类问题一般都是多目标协调组合优化问题.由于信息不完全或不对称、需求的不确定性以及多个决策主体之间的利益博弈等因素,难以应用传统的优化理论和方法来解决上述集成设计优化问题.

20 世纪 90 年代末,美国 Motorola Inc. 提出了考虑多产品物料清单(bill of material, BOM) 约束的柔性制造系统能力规划问题.这是给定产品需求及其变化规律下的生产系统布局与能力设计问题.这类问题在汽车制造和其他离散制造行业也广泛存在.以 PWB(printed wiring board) 的生产为例,图 2 说明了产品结构约束的影响.

图 2 中,SC 表示 small chip(小块),LC 表示 large chip(大块),OS 表示 odd-shaped chip(异型块如连接器及片脚),HP 表示 hi-precise(高精度插置如高度集成的电路块的插置),DCA 表示 direct chip attach(辅加块,需附加流量分配操作).图 2 中两条生产线生产三种产品,其结构如表 1 所示.

表 1 三种 PWB 的产品结构

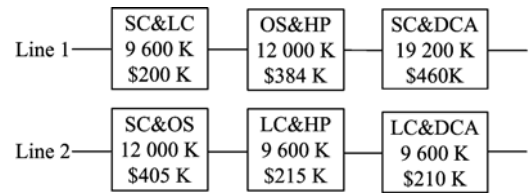


图 2 考虑 BOM 约束的 PWB 生产线
Fig. 2 Illustration of PWB assembly lines with BOM constraints

Tab. 1 POMs of three PWB products

	SC	LC	OS	HP	DCA
P1	200	100	30	0	6
P2	300	50	24	15	0
P3	250	150	35	17	5

一条生产线生产某种产品的基本要求是,该产品必须能在该生产线上完成 BOM 结构要求的生产.在能力规划中考虑 BOM 约束的主要作用在于获得更高的制造柔性、改善系统快速响应顾客需求的能力、降低库存和相关成本并为供应链协作提供平台.与经典能力规划问题不同,该类问题实质上是一类新的优化问题,也是大规模、变结构、多目标优化问题研究的起点.

针对这类新的优化问题,我们建立了一类反映结构变动影响的多目标优化模型 ECSP(equipment changeover and selection problem)^[20-21],即将生产能力与产品结构、工艺过程集成的能力规划模型,提出了应用期权理论综合考虑收益与投资风险的建模方法.证明了在一定条件下原优化问题 ECSP 可以转化为凸整二次规划(integer quadratic programming, IQP)问题;利用决策变量稀疏性的特点,提出了在保持最优性前提下减小决策变量的取值范围和 IQP 问题的降维条件,大幅度降低了求解优化问题的计算量.

在系统分析的基础上,我们提出将 ECSP 问题归结为系统柔性(定义为其适应内部生产过程和外部需求不确定性变化的能力)的改善与提高问题^[22-24].在 ECSP 模型研究的基础上,我们针对不同的目标组合,提出了多种考虑产品 BOM 约束的供应链系统柔性测度方法,证明了设计目标的优化与系统柔性测度改善之间存在一致性,分析了系统柔性的结构特性(即在一定条件下,一些典型的系统结构具有高的柔性测度;不同典型结构之间可以按照一定的能力投资路径进行相互转化),并由此提出了

不必进行复杂计算而进行供应链系统集成设计优化(或次优化)的规则与方法,即通过基于柔性测度的典型目标结构识别和基于柔性结构特性的设计规则,给出系统的设计方案.由于柔性测度和决策规则要求的计算简单,这种方法为复杂优化问题的求解提供了一种新思路.

上述研究成果得到了世界各地众多著名学者的引用.在一些国际重要的学术期刊上发表的综述文章或者学术论文中用较多的篇幅对我们的工作进行了正面评价,如:前 CIRP(法国的国际生产工程学术机构)主席 Chryssolouris 教授等在 International Journal of Production Research 期刊上多次引用了我们的研究成果,认为我们的模型与方法反映了系统的现实约束,能够“支持多产品柔性制造环境下的能力投资决策”.RAIRO-Operations Research 期刊副主编、法国的 Billionnet 教授发表在权威学术期刊 Mathematical Programming 上的论文^[25]中将 ECSP 模型及其转化的 IQP 问题与 Markowitz 期望-方差模型并列为离散优化的典型问题.

有关 ECSP 模型及其求解方法方面的研究成果还应邀在 2001 年的 INFORMS Miami 年会上做专题报告,在 2006 年全球制造与创新国际学术会议 International Conference-GMI 2006 上做大会特邀报告,在 2007~2009 年国家自然科学基金委管理科学部组织的青年科学基金项目主持人学术交流会上连续 3 年做大会特邀报告. Journal of Operations Management 期刊编委、马萨诸塞大学 Gunasekaran 教授在主编专著“Agile Manufacturing: The 21st Century Competitive Strategy”^[26]时邀请我们撰写其中的一章,以介绍 ECSP 模型及其相关工作.支持上述研究的两个国家自然科学基金委项目(批准号:70172041,70571073)在 2006 年和 2010 年结题绩效评估会上均被评为特优;支持上述研究的国家杰出青年科学基金(批准号:70725001)在管理科学部 2010 年 3 月份的中期评估中得分排名第一.这方面的成果还作为主要贡献内容于 2010 年获教育部自然科学一等奖.

1.3 企业财务困境预测、风险传递与控制

复杂供应链系统在运行过程中存在多个风险源.这些风险源不仅存在于单个企业内部,还存在于相邻的企业中.随着企业间竞争的加剧,供应链上任何一个企业的财务风险都可能会传递给其他企业,从而引起整个供应链风险的提升.因此,如何预测和

控制供应链风险是目前重要的难点问题.

我们首先提出了一种基于 logistic 回归与支持向量机集成的方法,利用 logistic 回归得到的后验概率信息减少支持向量机的经验风险,提高供应链企业财务风险预测的准确性^[27-28].在上述研究的基础上,我们进一步研究了供应链环境下企业破产风险发生、传递机制,以及供应链协作模式在降低企业财务风险方面的有效性^[29-31].

相关研究成果自 2007 年发表以来,受到国内外学者的广泛引用.例如,Tai 等^[32]认为我们的预测方法在财务困境预测方面明显优于传统的 SVM 预测方法;香港城市大学 Lam 等^[33]认为我们提出的 logistic 回归和 SVM 集成的预测方法实现了对传统机器学习方法的有效扩展;马萨诸塞大学 Gunasekaran 教授在其论文^[34]中详细地介绍了我们的研究方法及成果;Hsieh 等^[35]认为我们开展了财务困境预测领域最新水平的研究.

2 未来研究方向

随着生产型经济的高度成熟,人类社会的经济形态已逐步从工业化、信息化进入“服务化”,形成了“服务经济”或“后工业化社会”,服务业成为现代经济中最具发展潜力的领域.近年来,由于信息通信技术的迅猛发展与广泛应用,服务业内部结构升级趋势明显,并带动现代服务业又一次爆发式增长.

现代服务业是指在工业化比较发达的阶段产生的、主要依托信息技术和现代管理理念发展起来的、信息和知识相对密集的服务业,包括由传统服务业通过技术改造升级和经营模式更新而形成的服务业以及随着信息网络技术的高速发展而产生的新兴服务业.随着现代服务业的日益兴起,服务逐渐成为制造业竞争优势的新源泉和价值增值点,改变了制造业的生产方式.例如,人们传统上认为是典型制造企业的通用电气公司,自 2000 年以来每年研发经费都重点支持金融服务、制造服务、信息与技术服务和媒体服务等方向,服务对象既包括自己的产品用户,也涵盖其他企业甚至竞争对手产品用户,其服务利润比重 2008 年达到 61.2%. IBM 公司从传统制造企业成功提升为“向客户提供解决方案”的信息技术服务供应商,其服务收入所占的比重从 1992 年的 23% 提高到 2005 年的 52%.

总而言之,全球经济、政治、生态环境和技术的变化,导致人类的生活和工作方式发生了巨大改变,

从而人类对服务提出了更多更新的要求. 于是, 面向服务运作系统的管理问题日益受到社会各界广泛和迫切的关注. 例如, 智能电网是由各种发电企业、输电企业和各种用户组成的网络化服务系统, 它的成功建设涉及一系列先进的服务系统设计和 Service 管理技术. 在这个系统中, 电能由发电企业经输电企业流向用户, 用户的需求经信息网络流向输电和发电企业, 电力供应商和用户之间可以进行实时互动. 因此, 智能电网发展的方向已不再是单向输送, 而是双向实时互动, 要求配电管理系统有很强的动态网络管理能力以保持供需的平衡. 电力的供应和调度往往是按区域进行的, 某一区域又隶属于一个国家或更大区域的电网系统之中, 各区域电网共享发电和输电资源, 共同构成嵌入式网络服务系统. 在智能电网中, 由于大量再生能源(如水电、太阳能发电和风能发电等)的分布式接入, 导致电力供应的不可预见性; 各种用户(如普通居民用户、工业用户和储能用户等)的需求特性不同, 需求的峰谷差很大, 导致电网的利用率很低, 发电成本高且对环境的影响增大. 在这种服务资源具有易逝性和供应不确定性, 需求波动大的嵌入式网络服务系统中, 如何在保持供需平衡的前提下, 实现系统的清洁、高效和稳定运行, 是以智能电网为代表的网络化服务系统运行的关键问题.

网络环境下服务运作优化与协调问题的研究, 主要包括以下研究方向.

(I) 网络环境下服务组织的协调. 即通过不同企业间的协作提高网络组织系统的整体利益和竞争力, 具体包括网络内部组织协调和不同服务网络间的协调. 网络环境下的服务通常涉及多个不同企业, 他们需要共同协作才能完成对客户的服务. 每个企业既与其他企业在完成共同的客户服务时有相互依存关系, 同时又是一个独立的利益主体. 因此, 企业在做决策时常常以自身的利益最大化为根本目标, 而不是去考虑整个服务网络的总体利益最大. 这种局部最优的结果往往导致系统中的各个企业都没有能够获得最大的潜在收益. 所以, 如何协调服务网络中各企业之间的关系, 使得整个服务组织网络的利益达到最大并且使得每个企业都能获得满意的收益, 是网络环境下服务组织协调的基本问题. 网络环境下的服务资源与设备平台(尤其是一些重大设备)往往为多个顾客群体(包括外部组织的顾客)提供不同形式的服务. 如何设计出使总体利益最大的服务

资源与能力共享机制, 是网络环境下服务组织协调的重要问题.

(II) 嵌入式网络服务系统的任务和能力的动态匹配. 主要目的是实现服务能力与服务需求的匹配, 提高设备和服务资源的利用率. 可能的实现方式包括服务资源与能力的供应侧管理、需求侧管理和任务的指派与动态调度. 服务资源与能力的供应侧管理包括负荷管理和设备组合选择, 其中设备组合选择需要考虑其运行对环境的影响. 需求侧管理包括通过价格和其他激励措施引导顾客需求, 还需要考虑服务的合同外包等新型服务模式对需求和资源效率的影响. 任务的指派与动态调度属于短期的需求满足计划. 在这些问题的解决过程中, 服务资源与能力的供应侧管理需要重点考虑嵌入式网络结构的影响, 因为各服务系统之间相互影响、彼此制约, 任一子系统能力与需求的变动都会影响到整个服务系统的有效运转. 在需求侧管理中, 需重点考虑服务提供商与顾客的互动, 一方面服务提供商可以应用激励手段引导顾客需求; 另一方面由于信息网络的支撑, 顾客的反应可能不完全是被动的, 而可能是主动的、动态变化的.

(III) 移动服务人员和移动资源的动态调度. 这里的移动服务与一般基于移动通讯的移动增值业务(如短信、彩信、彩铃、手机银行、移动秘书、手机股市、定位服务、手机电视、手机在线游戏、无线音乐等)和移动商务(指通过移动网络或终端实现的一种电子商务模式)不同, 主要指服务资源和人员在一定区域上分布式存在(可以借助移动通讯进行任务指派和调度), 顾客需求在该区域上随机发生. 需要研究的问题是, 如何在调度服务资源和人员以最快的速度满足顾客需求的前提下, 提高资源的利用率. 问题主要来源于网络化服务设施的维护与安全可靠运行(如智能电网的重大设备维修与维护, 维修与维护服务人员和资源是移动的, 在一定区域中分布式存在的). 从目标上看, 该问题与嵌入式网络服务系统的任务和设施动态协调问题类似, 但问题研究的角度有如下差别: 侧重在服务资源与能力的供应侧管理而非需求侧管理. 因此, 移动人员和移动资源的动态调度与路径优化问题(需集成考虑与之相关的服务资源配置、选址和共享)是重点研究问题.

(IV) 基于顾客行为的自适应服务运作. 即如何自动地将服务能力与需求进行动态匹配, 以更有效地满足顾客多样化、不确定需求. 具体包括, 基于顾

客的习惯特点和满意偏好,使用智能技术对服务系统的服务进行智能化自适应机制设计和动态调节,实现服务成本降低的同时缩短服务时间,为顾客提供更优质的服务.对于共享服务资源的顾客群体,满足顾客需求的服务过程包含多个阶段与服务单元,且各阶段要求不同服务资源和服务能力;由于服务需求显著的变动性和不确定性,服务系统的任务和资源需要在多个服务单元之间进行动态调度和协调,实现服务能力与服务需求动态匹配的一个重要手段,是借助信息与通信技术,发现服务系统在顾客需求满足方面的系统偏差,然后进行服务的自适应机制设计和动态调节.这方面需重点考虑服务的模块化和柔性化设计,基于顾客行为的服务自适应机制设计技术等.

3 结论

面向运作系统的协调与优化问题是指为了提高运作系统的效率和应对不确定环境的能力而提炼出的一类相关科学问题.这类优化与协调问题还具有很强的实践性、时效性、发展性和社会性,一直是国内外研究的热点和难点.文章系统地介绍了作者在运作系统协调与优化方面所取得的原创性的理论成果,以及这些成果在带动国内外相应方向研究发展方面的影响.在此基础上,结合作者承担的国家自然科学基金委管理科学部与信息学部于2010年联合设立的重大项目“网络环境下的服务运作管理”以及2013年承担的国家自然科学基金委重大国际(地区)合作研究项目“网络环境下平台服务模式及其资源整合与协作机制研究”等研究内容,进一步探讨了运作管理领域未来的发展方向及关键科学问题.

参考文献(References)

- [1] Hua Zhongsheng, Zhang Bin, Yang Jie, et al. A new approach of forecasting intermittent demand for spare parts inventories in the process industries [J]. *Journal of the Operational Research Society*, 2007, 58(1): 52-61.
- [2] Hua Zhongsheng, Zhang Bin. Improving density forecast by modeling asymmetric features: an application to S&P500 returns [J]. *European Journal of Operational Research*, 2008, 185(2): 716-725.
- [3] Hua Zhongsheng, Bing Zhang, Liang Liang. An approximate dynamic programming approach to convex quadratic knapsack problems [J]. *Computers & Operations Research*, 2006, 33(3): 660-673.
- [4] Hua Zhongsheng, Zhang Bin. A hybrid support vector machines and logistic regression approach for forecasting intermittent demand of spare parts [J]. *Applied Mathematics and Computation*, 2006, 181(2): 1 035-1 048.
- [5] Zhang Bin, Hua Zhongsheng. A unified method for the convex nonlinear knapsack problem [J]. *European Journal of Operational Research*, 2008, 191(1):1-6.
- [6] Hua Zhongsheng, Yang Jie, Huang Feihua. A static-dynamic strategy for spare part inventory systems with nonstationary stochastic demand [J]. *Journal of the Operational Research Society*. 2009, 60(9): 1 254-1 263.
- [7] Hua Zhongsheng, Zhang Bin, Xu Xiaoyan. A new variable reduction condition for bounded convex integer quadratic programs [J]. *Applied Mathematical Modelling*, 2008, 32(2): 224-231.
- [8] Altay N, Rudisill F, Litteral L A. Adapting Wright's modification of Holt's method to forecasting intermittent demand [J]. *International Journal of Production Economics*, 2008, 111(2): 389-408.
- [9] Goodwin P, Önkal D, Thomson M. Do forecasts expressed as prediction intervals improve production planning decisions? [J]. *European Journal of Operational Research*, 2010, 205(1): 195-201.
- [10] Boylan J E, Syntetos A A. Forecasting for inventory management of service parts [M]//*Complex System Maintenance Handbook*. London: Springer-Verlag London Limited, 2008: 479-506.
- [11] Hua Zhongsheng, Li Sijie, Liang Liang. Impacts of demand uncertainty on supply chain cooperation of single-period products [J]. *International Journal of Production Economics*, 2006, 100(2): 268-284.
- [12] Hua Zhongsheng, Li Sijie. Impacts of demand uncertainty on retailer's dominance and manufacturer-retailer supply chain cooperation [J]. *Omega, The International Journal of Management Science*, 2008, 36(5): 697-714.
- [13] Li Sijie, Hua Zhongsheng. A note on channel performance under consignment contract with revenue sharing [J]. *European Journal of Operational Research*, 2008, 184(2): 793-796.
- [14] Wang J, Yan R, Hollister K, et al. A historic review of management science research in China [J]. *Omega*, 2008, 36(6): 919-932.
- [15] Zhang Wei, Hua Zhongsheng, Benjaafar Saif. Optimal inventory control with dual-sourcing, heterogeneous ordering costs and order size constraints [J]. *Production and Operations Management*, 2012, 21(3): 564-575.

- [16] Zhang Wei, Hua Zhongsheng. Optimal inventory policy for capacitated systems with two supply sources [J]. *Operations Research Letters*, 2013, 41(1): 12-18.
- [17] Cheaitou A, van Delft C. Finite horizon stochastic inventory problem with dual sourcing: Near myopic and heuristics bounds [J]. *International Journal of Production Economics*, 2013, 143(2): 371-378.
- [18] Xu N. Optimality of myopic inventory policy for a single-product, multi-period, stochastic inventory problem with batch ordering and capacity commitment [J]. *IIE Transactions*, 2013, 45(8): 925-938.
- [19] Lan Yongquan, Li Yanzhi, Hua Zhongsheng. Commentary—On “Equilibrium returns policies in the presence of supplier competition” [J]. *Marketing Science*, 2013, 32(5): 821-823.
- [20] Hua Zhongsheng, Banerjee Prashant. Aggregate line capacity design for PWB assembly systems [J]. *International Journal of Production Research*, 2000, 38(11): 2 417-2 441.
- [21] Hua Zhongsheng, Huang Feihua, Zhang Bin. Process flexibility with BOM constraints [J]. *International Journal of Production Research*, 2008, 46(6): 1 567-1 586.
- [22] He Ping, Xu Xiaoyan, Hua Zhongsheng. A new method for guiding process flexibility investment: Flexibility fit index [J]. *International Journal of Production Research*, 2012, 50(14): 3 718-3 737.
- [23] Hua Zhongsheng, He Ping. Process flexibility under bill of material constraints: part II structural properties and improving principles [J]. *International Journal of Production Research*, 2010, 48(4): 1 125-1 142.
- [24] Hua Zhongsheng, He Ping. Process flexibility under bill of material constraints: part I an effective measuring approach [J]. *International Journal of Production Research*, 2010, 48(3): 745-761.
- [25] Billionnet A, Elloumi S, Lambert A. Extending the QCR method to general mixed-integer programs [J]. *Mathematical Programming*, 2012, 131: 381-401.
- [26] Gunasekaran A. *Agile Manufacturing: The 21st Century Competitive Strategy* [M]. Elsevier, 2001.
- [27] Hua Zhongsheng, Li Sijie, Tao Zheng. A rule-based risk decision-making approach and its application in China’s customs inspection decision [J]. *Journal of the Operational Research Society*, 2006, 57(11): 1 313-1 322.
- [28] Hua Zhongsheng, Wang Yu, Xu Xiaoyan, et al. Predicting corporate financial distress based on integration of support vector machines and logistic regression [J]. *Expert Systems With Applications*, 2007, 33(2): 434-440.
- [29] Hua Zhongsheng, Sun Yanghong, Xu Xiaoyan. Operational causes of bankruptcy propagation in supply chain [J]. *Decision Support Systems*, 2011, 51(3): 671-681.
- [30] Xu Xiaoyan, Sun Yanhong, Hua Zhongsheng. Reducing the probability of bankruptcy through supply chain coordination [J]. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetic, Part C: Applications and Reviews*, 2010, 40(2): 201-215.
- [31] Sun Yanhong, Xu Xiaoyan, Hua Zhongsheng. Mitigating bankruptcy propagation through contractual incentive schemes [J]. *Decision Support Systems*, 2012, 53: 634-645.
- [32] Tai D W S, Wu H J, Li P H. Effective e-learning recommendation system based on self-organizing maps and association mining [J]. *Electronic Library*, 2008, 26(3): 329-344.
- [33] Lam K C, Lam M C K, Wang D. Efficacy of using support vector machine in a contractor prequalification decision model [J]. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 2010, 24(3): 273-280.
- [34] Lavastre O, Gunasekaran A, Spalanzani A. Supply chain risk management in French companies [J]. *Decision Support Systems*, 2012, 52(4): 828-838.
- [35] Hsieh T J, Hsiao H F, Yeh W C. Mining financial distress trend data using penalty guided support vector machines based on hybrid of particle swarm optimization and artificial bee colony algorithm [J]. *Neurocomputing*, 2012, 82: 196-206.