



南昌工程学院学报

Journal of Nanchang Institute of Technology

2024

Vol.43 No.6



中国·南昌

2024年12月

南昌工程学院学报

第 43 卷 第 6 期(卷终)

(总第 173 期)

2024 年 12 月

目 次

特约稿

- A 位离子改性 BF-BT 的高压电性能和热稳定性 杨华斌,罗秋玲,朱佳铭,盘小慧,邱少鸿,陈巧红(1)
- 基于改进 U-KAN 的乳腺癌超声图像分割 汪慎文,王海滨,赵振峰,尚 校(7)
- ARM/Ni(OH)₂ 纳米复合材料制备及其对刚果红吸附性能研究
..... 杨艳玲,谢德安,安佳佳,段梦玉,宁培培,郑焯凡(14)

水利工程

- 袁河流域河湖水体氮磷特征及污染源识别
..... 罗 玮,郑芳文,陈家奇,曾世博,唐林森,唐 春,刘 萍,袁 渤(18)
- 神岗山大桥通航水流条件数值模拟研究 江 斌,陈 静(27)

信息与电子工程

- 基于智能体自适应行为决策的深度强化学习算法
..... 韩龙哲,杨 浩,曾 添,廖 道,李思维,傅 裕,卫光前,张亚男(34)
- 反距离加权和微簇合并的密度峰值聚类算法 范 强,吕 莉,邱日轩,崔 希,张宸源,樊棠怀(43)
- 嵌入注意力机制的 YOLOv3 改进算法用于家禽部位的目标检测 肖名志,孙阅婷,冯振辉,钟学洋(51)
- 基于阶段自适应多目标粒子群算法的分布式光伏选址定容研究
..... 朱腾伟,王 翠,涂振宇,曾 瑄,蔡木良,赵占豪,王宏伟(60)
- 基于双路语义信息跟踪网络的心理咨询算法 姚 震,黄小乐,廖利明(68)

管理科学与工程

- 基于随机需求研判的医疗器械供应链批量决策研究 易东波,左智勇,谢 军,陈佳明,张晔薇(75)
- 智慧教学背景下的教学质量预测
——基于多模态与复杂网络的应用 钟元权(82)
- 资源分配视角下投资组合优化问题的背包模型及其求解 肖莘玥,陈峙臻(91)
- 中国—非盟自贸区达成的经济效果研究 赵 亮,刘菁菁,陈怡容,宋文静,孙常忠(99)
- 用户生成品牌内容的信息披露对品牌态度的影响
——基于情景的实验方法 胡银花,郭雨彤(108)

责任编辑:李院民

英文审校:王晓兰

[期刊基本参数]CN36-1288/TV*1982*b*A4*120*zh*P*¥10.00*1000*15*2024-12

资源分配视角下投资组合优化问题的背包模型及其求解

肖莘玥, 陈峙臻

(格林威治大学 商学院, 英国 伦敦 SE10 9LS)

摘要:本文旨在为投资组合理论中的智能金融优化研究提出一种基于背包模型的优化求解途径和总体框架。基于对投资组合理论研究的考察与分析,论证给出投资组合理论向智能金融优化方向发展的必要性,提出投资组合理论研究的整体架构和智能金融优化的新方向,进而围绕经典金融优化、智能金融优化和行为金融学进行对比分析和阐释说明。论述智能金融优化在整体层面上的优越性,即把基于优化求解的经典金融优化与基于协调求解的行为金融学结合起来,各取所长,形成综合优势。从资源分配的视角阐述投资组合理论向智能金融优化方向发展转向的可行性,借助资源分配视角的连接关系和纽带作用,建立起投资组合问题与背包问题数学模型之间的映射关系,使得投资组合问题可以转化为背包模型这样的组合优化模型进行求解。从操作实现层面阐述可用于解决投资组合问题的多种类型的背包模型,针对求解背包模型的元启发式算法进行分类说明,可为运用背包模型与算法解决投资组合问题提供有益的借鉴和有效的指导。

关键词:投资组合优化;资源分配;优化求解;协调求解;智能金融优化;背包模型;元启发式算法

中图分类号:F830.59

文献标志码:A

Knapsack model and its solution for portfolio optimization problem from perspective of resource allocation

XIAO Xinyue, CHEN Zhizhen

(Business School, University of Greenwich, London SE10 9LS, UK)

Abstract: This paper aims to propose a knapsack model based on optimization approach and overall framework for the new direction of intelligent financial optimization in portfolio theory. Based on the investigation and analysis of portfolio theory research, this paper demonstrates the necessity of portfolio theory research to develop in the direction of intelligent financial optimization, puts forward the overall framework of portfolio theory research and the new direction of intelligent financial optimization, and compares and explains the classical financial optimization, intelligent financial optimization and behavioral finance. It points out that intelligent financial optimization synthesizes the advantages of classical financial optimization based on optimal solution and behavioral finance based on coordinated solution. From the perspective of resource allocation, this paper expounds the feasibility of portfolio theory research to develop intelligent financial optimization. With the help of connection and linkage from the perspective of resource allocation, a mapping relationship between the mathematical model of portfolio problem and the knapsack problem is established, so that the former can be transformed into a combinatorial optimization model such as the knapsack model for solving. The knapsack model and the meta-heuristic algorithm for solving the portfolio problem are described from the operational implementation level, which can provide reference for solving the portfolio problem with knapsack model and algorithm.

Keywords: portfolio optimization; resource allocation; optimal solving; coordinated solving; intelligent financial optimization; knapsack model; meta-heuristic algorithm

投资组合理论(portfolio theory)旨在研究并解决在各种不同的条件下,理性投资者如何进行投资组合选择(portfolio selection),具体地说,就是将有限的资金按照恰当比例,分散投放到不同资产上,以实现效用最大化的问题。本文从解决问题的

优化求解和协调求解这两种基本途径出发,在简要回顾投资组合理论研究状况的基础上,分析说明现有研究存在的不足,倡导投资组合理论研究的智能金融优化新方向,基于资源分配的视角建立投资组合问题与背包问题模型之间的映射关系,进而提出

一种基于背包模型的优化求解途径和整体框架。

1 投资组合理论研究思路分析

1.1 投资组合理论发展概述

投资组合理论始于 MARKOWITZ 开创的奠基性工作,他于 1952 年发表的论文建立了均值方差证券组合模型(M-V 模型)的基本框架^[1],成为现代投资组合理论研究的起点。TOBIN 针对 M-V 模型存在的缺陷,阐述风险与收益的关系,提出收益风险理论^[2],认为各种风险资产在风险资产组合中所占的比例与风险资产组合占全部投资的比例无关。M-V 模型的大量计算限制了其实际应用,据此 SHARPE 在 M-V 模型的基础上提出一种单因素的简化模型^[3],可以大大减少计算量。

现代投资组合理论的另外一个重要组成部分是关于投资组合定价的资本市场均衡理论,主要包括资本资产定价模型和套利定价模型。资本资产定价模型(CAPM 模型)是由 SHARPE 等人在 M-V 模型和资本市场理论的基础上发展起来的^[4],主要研究证券市场中资产的预期收益率与风险资产之间的关系,探索均衡价格的形成原理。作为现代金融市场价格的支柱,它被广泛地应用于投资决策和公司理财领域。ROSS 提出套利定价理论(APT)使资本资产定价理论有了新的发展^[5],该理论认为非均衡状态下套利机会的存在使投资者进行无风险套利,最终导致市场达到均衡状态,相应的 APT 模型也是一种均衡的资产定价模型。

FAMA 提出的有效市场假说(EMH)是现代投资组合行为的理论基础^[6,7],它假设投资者都是理性的,证券的价格能够反映所有的信息,即在有效市场中,无论随机选择哪种证券,投资者都只能获得与投资风险相当的正常收益率。

上述研究均属于标准金融学范畴。在真实的金融市场中,理性投资者的假设受到挑战,出现了许多金融市场异象,如认知偏差和有限套利^{[8]10-11}。据此,不少学者进行了解释异象的探索性研究,例如,FAMA 和 FRENCH 提出的多因素资产定价模型就产生了重要影响^[9]。更有意义的是,为了解释这些金融市场异象,涌现出大量研究成果,如新兴学科——行为金融学的产生^{[8]11-11}。行为金融学摒弃了有效市场假说,它在有限理性投资者假设前提下,分析投资行为,挑战标准金融学框架下的理性投资者假设,对标准金融学理论进行补充和修正,是一门交叉性学科。

1.2 解决问题的两种基本途径

人类认识世界的过程包括现实世界、逻辑世界、计算机世界和连接这三个世界的两重映射(建立模

型和构造算法)^[10],其形象描述如图 1 所示。认识世界的目的在于通过解决实际问题来改造客观世界。现实世界中存在着大量有待解决的实际问题,通常情况下,解决问题的主要目标是追求尽善尽美,力求最优。不过在现实世界的最优化(简称优化)指的是广义优化,实际上是趋优(尽量趋近最优)。由此可见现实世界中的优化问题是指广义优化问题,解决问题的基本思路是采用基于迭代进化的趋优方式。

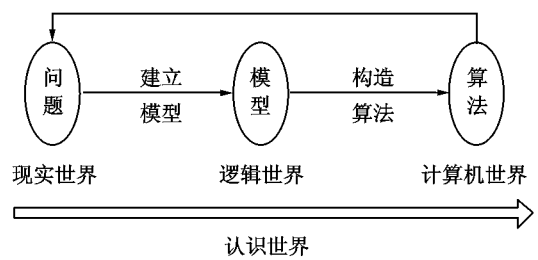


图 1 认识世界的示意图^[10]

而在逻辑世界和计算机世界中,力求尽量规范化地解决问题,经常要用到优化模型(算法)。优化模型(算法)所对应的优化问题是狭义的,即通常所说的优化问题指的是能用数学优化模型(包括目标函数、约束条件和决策变量三要素)表达的问题。模型有描述性模型和规范性模型之分,显然逻辑世界和计算机世界中的优化问题将描述性模型表达的问题排除在外,只涵盖规范性模型所表达问题的一部分,其覆盖面较小^[10]。通过优化模型来解决实际问题提供的是一条优化求解途径(optimal solving approach)。

由于大量问题难以建立整体上的全局性优化模型进行求解,采用优化求解途径所能解决的问题比较有限。对于难以建立优化模型加以描述的问题,按照趋优方式解决问题的基本思路,则适宜采用协调求解途径(coordinated solving approach)。

作为解决问题的两种基本途径,优化求解与协调求解具有互补性。优化求解规范性好,操作处理程序化,但覆盖面小;协调求解包容性好,适应面广,但形式多样,可操作性比较欠缺。因此在解决实际问题时,宜将两者结合起来,各取所长,依托协调与优化融合求解的途径,达到趋优解决问题的目的。

1.3 对投资组合理论研究的考察与分析

图 2 对投资组合理论的发展状况进行了直观的整体描述和归纳总结,下面加以展开论述。

从解决问题的两种基本途径来考察投资组合理论的研究,行为金融学的研究对象是投资组合异象,它融入了心理学、行为学、实验经济学等学科知识,难以建立优化模型,显然采用的是协调求解途径。行为金融学致力于解释现实异象,通过实际现象驱

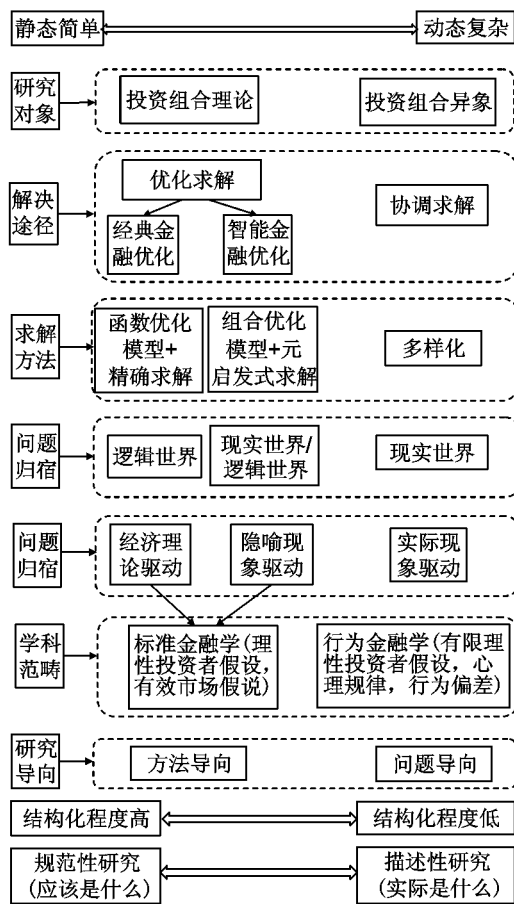


图 2 投资组合理论研究的整体架构

动的方式开展问题导向研究,其求解方法呈现多样化的特点,结构化程度低,属于描述性研究 (descriptive study) 范畴,力图回答实际是什么,为什么会这样的问题。

现代投资组合理论主要包括以 MARKOWITZ 研究为代表的投资组合选择^[1]和以 SHARPE 研究为代表的投资组合定价^[4]两大部分。这些处于标准金融学学科范围内的投资组合理论主流研究基本上是以优化模型描述为主(如 M-V 模型是通过建立一个二次规划模型来求解有效证券组合^[11]),属于优化求解途径。此类奠基性的研究工作可称为经典金融优化(classical financial optimization)研究;随着现实世界中出现的金融现象日益复杂,经典金融优化方法由于理论假设严格和过于规范而显得力不从心。人工智能的兴起推动着金融学研究范式的变革^[12],因此经典金融优化需要向智能金融优化(intelligent financial optimization)方向发展。

经典金融优化和智能金融优化都属于标准金融学的学科范畴,遵循理性投资者假设和有效市场假设,二者都是以方法导向为主导,但是两者之间仍然存在明显的区别。优化模型描述的问题根据变量是否连续,分为函数优化问题和组合优化问题两大

类;前者求解相对容易,后者求解上的困难在于需要处理计算上的复杂性。优化模型的求解主要分为精确求解和元启发式^[13]求解两大类,经典金融优化建立的是连续型的函数优化(function optimization)模型,采用的是精确求解方式^[11],假设条件比较严苛,适用范围有限;智能金融优化建立的是离散型的组合优化(combinatorial optimization)模型,采用的是元启发式求解方式,适应进化能力较强,适用范围较广。从问题来源来看,行为金融学的问题源于图 1 中的现实世界,经典金融优化的问题源于图 1 中的逻辑世界,而智能金融优化的问题模型(如旅行商问题的 TSP 模型)虽然建立在逻辑世界中,但在现实世界中存在着相应的启发原型,因此可视为逻辑世界与现实世界的叠加与复合。

经典金融优化和智能金融优化都属于规范性研究(normative study)范畴,力图回答应该是什么,这样为什么好的问题;但两者程度不一样,经典金融优化是严格的规范性研究,而智能金融优化则是相对的规范性研究,也存在着某些描述性研究的成分。从结构化程度讲,经典金融优化结构化程度高,智能金融优化的结构化程度介于经典金融优化与行为金融学之间。就解决问题的环境状况而言,行为金融学所处的环境动态复杂,经典金融优化所处的环境静态简单,智能金融优化则介于两者之间。

综上所述,智能金融优化将所要解决的问题由函数优化拓展到组合优化,其优越性已有研究工作给予证实^[14]。智能金融优化虽然整体上属于优化求解途径,但它综合了基于优化求解的经典金融优化和基于协调求解的行为金融学各自的优势,实际上采取的是优化与协调相融合的求解途径,为投资组合理论研究提供了新的方向,注入了新的活力。

2 资源分配视角下的投资组合问题

前面论证了投资组合理论研究向智能金融优化方向发展的必要性,本节将进一步从资源分配的视角阐述这种发展转向的可行性。

从经济学意义下资源禀赋的角度考察,现实世界中有待解决的各种问题基本上可以归结为稀缺资源情况下的分配问题——资源分配(resource allocation)问题,为大众熟知的经济学的学科界定就是如此。由于受到稀缺资源的有限性制约,解决资源分配问题时,竞争与合作通常是此消彼长,并长期共存的。

简要地说,现实世界中的投资组合问题指的是如何将有限的资金按照一定的恰当比例,分散投放到不同资产上。从本质上考察,它无疑就是一个有限资源的分配问题,这并不难理解,也是显而易见

的。

逻辑世界中的组合优化问题有很多,在此选取其中三个典型代表——旅行商问题、车辆路径问题和背包问题进行分析说明。

旅行商问题(traveling salesman problem, TSP)是组合优化领域中著名的 NP 难问题,又称旅行推销员问题,也称“货郎担”问题。TSP 可描述为:推销员打算到 n 个城市推销产品,从其中一个城市出发,要求找到一条通过所有城市再回到起点的最短路径,每座城市必须且只能访问一次^[15]。

在组合优化领域,与 TSP 问题类似的还有车辆路径问题(vehicle routing problem, VRP)。经典的 VRP 可描述为:有一个起点和若干个客户点,已知各点的地理位置和需求,在满足各种约束的条件下,如何寻找一条最优的路径,使其能服务到每个客户点,最后返回起点。VRP 问题也属于 NP 难问题,由于约束条件复杂,求解难度较大^[16]。

旅行商问题和车辆路径问题都与路径有关,可以归结为路径型组合优化(routine combinatorial optimization)问题。这类问题的目标在于优化路径;从资源分配的角度来看,路径的优化是为了节省成本,实现人力资源的优化配置。

背包问题(knapsack problem, KP)旨在寻求在背包容积有限的约束下选择物品实现具有最大价值的装载方案,其应用非常广泛。普通的 0-1 背包问题仅考虑装入背包中的物品总重量不超过背包重量限制的单一约束。但实际中往往需要考虑多个约束,这类具有多个约束的背包问题称为多维背包问题,它是普通背包问题的一种延伸,同属 NP 难问题但相对来说复杂一些^[17]。与背包问题类似的组合优化问题还有装箱配载问题^[18]。

背包问题及装箱配载问题都与容量有关,可以归结为容量型组合优化(capacity combinatorial optimization)问题,它们旨在满足容量约束的条件下,力求使某种价值尽量趋于最大化。从资源分配的角度来看,这类问题实际上是一种价值资源分配问题。

上述分析表明,在资源分配的视角下,组合优化问题一般可以视为不同类别的资源分配问题(如人力资源分配、价值资源分配)。前已述及,投资组合问题也是一个资源分配问题,这样就可以用某种组合优化模型来描述投资组合问题。考虑到投资组合问题的基本内涵是实现有效的价值资源分配,它与背包问题这类实现价值资源分配的组合优化问题具有相容性与一致性,两者之间的匹配度高。因此借助资源分配视角的连接关系和纽带作用,可以建立起投资组合问题与背包问题数学模型之间的映射关系,将前者转化为背包模型这样的组合优化模型进

行求解。

现实世界中的投资组合问题与逻辑世界中的背包问题模型之间的映射关系如图 3 所示。具体地说,投资组合问题中的资产与背包模型中的物品相对应,投资组合问题中资产比例的确定对应的是背包模型中对物品的选择,而投资人有限的资金可以映射成为背包有限的容量,投资组合所追求的投资效用最大化对应的是背包之中物品装载方案的价值最大化。

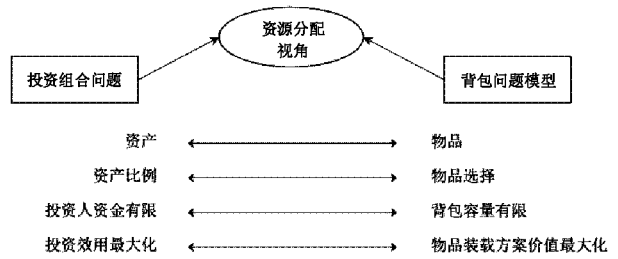


图 3 投资组合问题与背包问题模型之间的映射关系

3 背包模型与求解背包模型的元启发式算法

上面从资源分配的视角论证投资组合问题与背包模型之间的相容一致性,建立两者之间的映射关系,本节进一步从操作实现层面阐述用于解决投资组合问题的背包模型及其求解背包模型的元启发式算法。

3.1 背包问题模型描述的多种形式

背包问题是一类从实际背景中抽象出来的组合优化问题,它在工业、信息、经济金融等诸多领域的资源分配、资金预算、投资组合决策、装载配置、信息隐藏方面都有广泛的应用实践。背包问题的表达形式虽然多种多样^[19,20],但最基本的仍然是 0-1 背包问题(KP01),文献[21,22]是关于 0-1 背包问题的早期具有代表性的研究工作和综述。0-1 背包问题的表达形式如式(1)~(3)所示。

$$\max \sum_{j=1}^n p_j x_j, \quad (1)$$

$$\text{s. t. } \sum_{j=1}^n w_j x_j \leq c, \quad (2)$$

$$x_j \in \{0,1\} (j=1,\dots,n). \quad (3)$$

作为 0-1 背包问题的延伸和发展,还有以下几类常见的背包问题。

① 多背包问题(multiple knapsack problem, MKP)

关于多背包问题的研究见文献[23],其表达形

式如式(4)~(7)所示。

$$\max \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_j x_{ij}, \quad (4)$$

$$\text{s. t. } \sum_{j=1}^n w_j x_{ij} \leq c_i (i = 1, \dots, m), \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq 1 (j = 1, \dots, n), \quad (6)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} (i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n). \quad (7)$$

②多维背包问题 (multidimensional knapsack problem, MDKP)

关于多维背包问题的研究见文献[23-25],其表达形式如式(8)~(10)所示。

$$\max \sum_{j=1}^n p_j x_j, \quad (8)$$

$$\text{s. t. } \sum_{j=1}^n w_{ij} x_j \leq c_i (i = 1, \dots, d), \quad (9)$$

$$x_j \in \{0, 1\} (j = 1, \dots, n). \quad (10)$$

③二次背包问题 (quadratic knapsack problem, QKP)

关于二次背包问题的研究见文献[23,26,27],其表达形式如式(11)~(13)所示。

$$\max \sum_{j=1}^n p_j x_j + \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{i=j+1}^n p_{ij} x_i x_j, \quad (11)$$

$$\text{s. t. } \sum_{j=1}^n w_j x_j \leq c, \quad (12)$$

$$x_j \in \{0, 1\} (j = 1, \dots, n). \quad (13)$$

④多选择背包问题 (multiple-choice knapsack problem, MCKP)

关于多选择背包问题的研究见文献[28],其表达形式如式(14)~(17)所示。

$$\max \sum_{j=1}^n p_j x_j, \quad (14)$$

$$\text{s. t. } \sum_{j=1}^n w_j x_j \leq c, \quad (15)$$

$$\sum_{j \in N_i} x_j = 1 (i = 1, \dots, l), \quad (16)$$

$$x_j \in \{0, 1\} (j = 1, \dots, n). \quad (17)$$

⑤多目标背包问题 (multi-objective knapsack problem, MOKP)

关于多目标背包问题的研究见文献[23,29],其表达形式是将式(1)换成下面多目标形式的式(18)。

$$\max (\sum_{j=1}^n p_{1j} x_j, \dots, \sum_{j=1}^n p_{lj} x_j). \quad (18)$$

背包问题形式直观,应用背景充分。其数学模型描述简明扼要,求解方式多样,是典型的组合优化

问题,已得到广泛研究。

3.2 求解背包模型的元启发式算法

求解 KP 的算法一般分为两类^[30]:一类是精确算法,如动态规划、回溯法和分支限界法等;另一类是非精确的启发式算法 (heuristic algorithm),若启发式算法还具有通用性,则称为元启发式算法 (meta-heuristic algorithm)。元启发式算法更加抽象和普适,它不依赖于特定问题领域的知识,而是提供一种通用的框架来搜索问题的解空间,以找到近似最优解。由于背包问题是一类 NP 难问题,在计算上存在着组合爆炸现象,目前求解背包问题基本上采用的是元启发式算法,有时也称为智能优化算法。

3.2.1 元启发式算法概要

元启发式算法大致可以分为4类:基于进化的算法,基于种群的算法,基于物理/化学的算法和基于人类行为的算法,如图4所示。

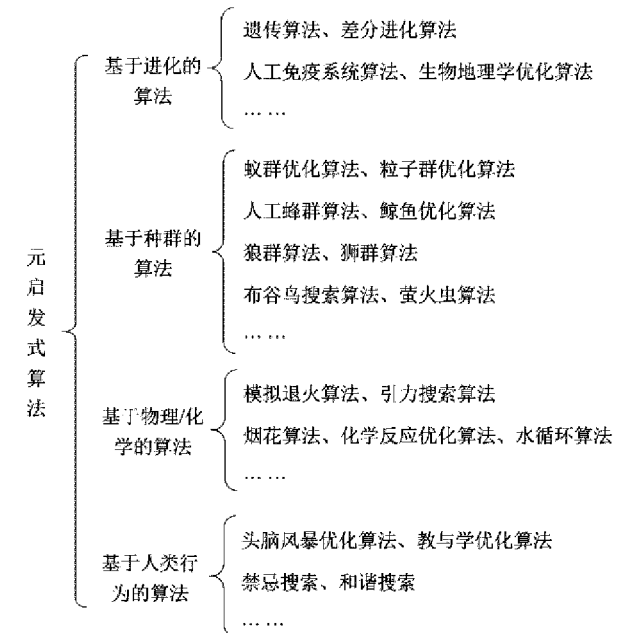


图4 元启发式算法分类

基于进化 (evolution-based) 的算法是受到自然选择、遗传变异等生物进化机制的启发而发展起来的一类重要的元启发式算法,它们被提出的时间相对来说较早,最著名的就是遗传算法,其他为人熟知的有差分进化算法、人工免疫系统算法^[31]、生物地理学优化算法^[32]等。

基于种群 (population-based) 的算法是当前发展最为迅速的元启发式算法^[13],以群智能优化算法为代表。具有代表性的算法有蚁群优化算法、粒子群优化算法、人工蜂群算法、鲸鱼优化算法、狼群算法、狮群算法、布谷鸟搜索算法、萤火虫算法等^[10]。事

实上,遗传算法也是一种基于种群的算法,但它对生物进化特性体现得更为充分,所以通常将其归入基于进化的元启发式算法。

基于物理/化学(physics/chemistry-based)的算法主要是受到各种物理规律、过程、现象和化学反应原理的启发而发展起来的一类元启发式算法,最被熟知的就是模拟退火算法^[33]。该算法基于固体退火原理,通过模拟物理退火过程来寻找目标函数的全局最优解;它从某一较高初温出发,伴随温度参数的不断下降,结合概率突跳特性在解空间中随机寻找目标函数的全局最优解。基于物理/化学的算法还有引力搜索算法^[34]、烟花算法^[35]、化学反应优化算法^[36]、水循环算法^[37]等。

基于人类行为(human behavior-based)的算法主要来源于与人类相关行为的启发,包括人类在解决问题和适应环境方面的思维和学习方式,如头脑风暴优化算法^[38]、教与学优化算法^[39]。前者受人类创造性解决问题过程的启发,特别是头脑风暴会议的方式,通过模拟人类集思广益的过程来寻找问题的解决方案;后者受老师指导学生和学生间互助学习的启发而产生,是一种通过模拟老师“教”和学生“学”的行为来实现全局寻优的元启发式算法。属于此类的代表性算法还包括禁忌搜索、和谐搜索等搜索算法。

3.2.2 求解0-1背包问题的元启发式算法

0-1背包问题是典型的NP难组合优化问题^[40],文献[41]提出了一种结合贪婪策略改进混合编码的布谷鸟搜索算法来求解0-1背包问题,显示出优越的性能。文献[42]提出了一种基于个体互相学习的队列智能(cohort intelligence)的新颖算法,可实现0-1背包问题的高效求解。文献[43]提出了一种新的基于种群的模拟退火(PSA)方法求解0-1背包问题,并与现有的方法进行比较,计算结果表明PSA是求解0-1背包问题的高效优化算法。受地域划分物品的启发,文献[44]提出了一种有效的基于贪婪度和期望效率(GDEE)的混合算法,计算实验的对比结果表明,GDEE对0-1背包问题的求解效果明显优于其他算法。文献[45]提出了一种改进的杂交水稻优化算法(HRO),它在求解大规模0-1背包问题方面有出色的表现。

3.2.3 求解多维背包问题的元启发式算法

多维背包问题是0-1背包问题的一个扩展形式,在式(9)中, $d=1$ 时,多维背包问题将退化成为相应的0-1背包问题。

文献[46]提出的求解多维背包问题的遗传算法是一种早期的演化算法,它提供了求解多维背包问题时处理不可行解的一种常用方法。文献[47]在利用遗传算法求解多维背包问题时,个体采用自然数编码方式并通过一种有效的解码方法来避免不可行解的产生。文献[48]基于Tchebycheff标量化函数提出了一种多目标遗传算法MOTGA,并使用文献[46]中的方法处理不可行解。文献[49]采用与文献[46]类似的方法处理不可行解,基于改进的遗传算法给出了求解多维背包问题的一种有效方法。

鉴于传统的资产配置方法(如Markowitz定理)所给出的百分比解决方案存在一些与实际不符的不足,文献[14]提出一种投资组合选择的多维背包问题模型,其中预期收益、价格和预算采用区间值表达问题中的不确定性。该模型经过转换,可以变形为一个参数线性规划模型。文中根据美国证券交易所提供的一些实验数据,设计一种离散萤火虫算法来寻找高维度下多维背包模型的近似最优解,效果良好,显示出该模型和算法的优越性。

3.2.4 求解其他背包问题的元启发式算法

针对二次背包问题,文献[50]将贪婪算法融入遗传算法,提出求解二次背包问题的一种贪婪遗传算法,文中还给出了求解二次背包问题时处理不可行解的一种非常有效的方法。文献[51]提出一种二进制人工鱼群算法,并利用文献[50]中的方法处理不可行解,给出了一种求解二次背包问题的可行方法。文献[52]提出了一种量子进化算法QIEA,同样采用文献[50]中的方法处理不可行解,在求解二次背包问题时显示出优越的性能。

针对多选择多维背包问题,文献[53]将拉格朗日松弛法与蚁群优化算法融合,提出了一种有效的求解方法。

4 结论

本文从资源分配的视角出发,借助资源分配视角的连接关系和纽带作用,建立投资组合问题与背包问题模型之间的映射关系,旨在为投资组合理论研究的智能金融优化新方向提出一种基于背包模型的优化求解途径和整体框架,研究得到的主要结论和贡献如下。

(1)对投资组合理论进行考察与分析,论证了投资组合理论向智能金融优化方向发展的必要性。根据解决问题的优化求解和协调求解这两种基本途径,提出投资组合理论研究的整体框架和

智能金融优化的新方向,围绕经典金融优化、智能金融优化和行为金融学进行了对比说明。指出智能金融优化整体上属于优化求解途径,但它综合了基于优化求解的经典金融优化和基于协调求解的行为金融学各自的优势,实际上采取的是优化与协调相融合的求解途径,为投资组合理论研究提供了新的方向。

(2)从资源分配的视角阐述投资组合理论研究方向向智能金融优化方向发展转向的可行性。通过考察路径型组合优化和容量型组合优化问题,明确背包问题实际上是一种价值资源分配问题。借助资源分配视角的连接关系和纽带作用,建立起投资组合问题与背包问题数学模型之间的映射关系,使得前者可以通过转化为背包模型这样的组合优化模型进行求解。

(3)从操作实现层面阐述可用于解决投资组合问题的背包模型与求解背包模型的元启发式算法,阐述了背包问题模型描述的多种形式,包括0-1背包问题、多背包问题、多维背包问题、二次背包问题、多选择背包问题和多目标背包问题。从基于进化、基于种群、基于物理/化学和基于人类行为等4个方面,给出了元启发式算法的分类,概述了采用元启发式算法求解背包问题模型的有关工作,可为后续运用背包模型与算法解决投资组合问题提供借鉴和指导。

参考文献:

- [1] MARKOWITZ H. Portfolio selection[J]. *The Journal of Finance*, 1952, 7(1): 77-91.
- [2] TOBIN J. Liquidity preference as behavior towards risk[J]. *The Review of Economic Studies*, 1958, 25(2): 65-86.
- [3] SHARPE W F. A simplified model for portfolio analysis[J]. *Management Science*, 1963, 9(2): 277-293.
- [4] SHARPE W F. Capital asset price; a theory of capital market equilibrium under conditions of risk[J]. *The Journal of Finance*, 1964, 19(3): 425-442.
- [5] ROSS S A. The arbitrage theory of capital asset pricing[J]. *Journal of Economic Theory*, 1976, 13(3): 341-360.
- [6] FAMA E F. Efficient capital markets; a review of theory and empirical work[J]. *The Journal of Finance*, 1970, 25(2): 383-417.
- [7] FAMA E F. Efficient capital markets II [J]. *The Journal of Finance*, 1991, 46(5): 1575-1617.
- [8] 董驰. 行为金融学[M]. 北京: 科学出版社, 2020: 80-105.
- [9] FAMA E F, FRENCH K R. Multifactor explanations of asset pricing anomalies [J]. *The Journal of Finance*, 1996, 51(1): 55-84.
- [10] 肖人彬, 陈峙臻. 从群智能优化到群智能进化[J]. *南昌工程学院学报*, 2023, 42(1): 1-10.
- [11] CORNUEJOLS G, PENA J, TUTUNCU R. 金融优化方法[M]. 白熹, 译. 2版. 北京: 高等教育出版社, 2023: 92-104.
- [12] SALMAN B, MARCO C, XHOANA G, et al. Artificial intelligence in finance: a comprehensive review through bibliometric and content analysis[J]. *SN Business & Economics*, 2024, 4(2): 23.
- [13] MARTI R, SEVAUX M, SORENSEN K. 50 years of metaheuristics[J]. *European Journal of Operational Research*, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2024.04.004>.
- [14] VAEZI F, SADJADI S J, MAKUI A. A portfolio selection model based on the knapsack problem under uncertainty[J]. *PLoS ONE*, 2019, 14(5): e0213652.
- [15] 杨启文, 阮姗姗, 陈俊风, 等. 群体智能在旅行商问题中的应用综述[J]. *自动化技术与应用*, 2016, 35(8): 1-6.
- [16] 庞燕, 罗华丽, 邢立宁, 等. 车辆路径优化问题及求解方法研究综述[J]. *控制理论与应用*, 2019, 36(10): 1573-1584.
- [17] 吴虎胜, 张凤鸣, 战仁军, 等. 利用改进的二进制狼群算法求解多维背包问题[J]. *系统工程与电子技术*, 2015, 37(5): 1084-1091.
- [18] 徐翔斌, 李志鹏. 强化学习在运筹学的应用: 研究进展与展望[J]. *运筹与管理*, 2020, 29(5): 227-239.
- [19] KELLERER H, PFERSCHY U, PISINGER D. Knapsack problems[M]. Berlin: Springer-Verlag, 2004: 1-14.
- [20] MARTELLO S, TOTH P. Knapsack problems; algorithms and computer implementations[M]. New York: John Wiley & Sons, 1990: 1-296.
- [21] DANTZIG G B. Discrete variable extremum problems[J]. *Operations Research*, 1957, 5: 266-277.
- [22] SALKIN H M, KULYVER C A D. The knapsack problem; a survey[J]. *Naval Research Logistics Quarterly*, 1975, 22(1): 127-144.
- [23] CACCHIANI V, IORI M, LOVATELLI A, et al. Knapsack problems; an overview of recent advances. Part II: Multiple, multidimensional, and quadratic knapsack problems[J]. *Computers & Operations Research*, 2022, 143: 105693.
- [24] LAABADI S, NAIMI M, AMRI H E, et al. The 0/1 multidimensional knapsack problem and its variants; a survey of practical models and heuristic approaches[J]. *American Journal of Operations Research*, 2018, 8: 395-439.
- [25] WU H, XIAO R. Flexible wolf pack algorithm for dynamic multidimensional knapsack problems[J]. *Research*, 2020, 2020: 1762107.
- [26] BILLIONNET A, CALMEL S F. Linear programming for

- the 0 – 1 quadratic knapsack problem[J]. *European Journal of Operational Research*, 1996, 92(2) :310 – 325.
- [27] PISINGER D. The quadratic knapsack problem-a survey [J]. *Discrete Applied Mathematics*, 2007, 155 :623 – 648.
- [28] CACCHIANI V, IORI M, LOCATELLI A, et al. Knapsack problems: an overview of recent advances. Part I: Single knapsack problems [J]. *Computers & Operations Research*, 2022, 143 : 105692.
- [29] LUST T, TEGHEM J. The multiobjective multidimensional knapsack problem: a survey and a new approach [J]. *International Transactions in Operational Research*, 2012, 19 :495 – 520.
- [30] MARTELLO S, TOTH P. Algorithms for knapsack problems [J]. *Annals of Discrete Mathematics*, 1987, 31 :213 – 258.
- [31] 肖人彬, 王磊. 人工免疫系统: 原理、模型、分析及展望 [J]. *计算机学报*, 2002, 25(12) :1281 – 1293.
- [32] 郑宇军, 陈胜勇, 张敏霞. 生物地理学优化算法及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2016: 24 – 46.
- [33] KIRKPATRICK S, GELATT C D, VECCHI M P. Optimization by simulated annealing [J]. *Science*, 1983, 220 (4598) : 671 – 680.
- [34] RASHEDI E, NEZAMABADI-POUR H, SARYAZDI S. GSA: a gravitational search algorithm [J]. *Information Sciences*, 2009, 179(13) :2232 – 2248.
- [35] 谭营, 郑少秋. 烟花算法研究进展 [J]. *智能系统学报*, 2014, 9(5) :515 – 528.
- [36] LAM A Y S, LI V O K. Chemical reaction optimization: a tutorial [J]. *Memetic Computing*, 2012, 4(1) :3 – 17.
- [37] ESKANDAR H, SADOLLAH A, BAHREININEJAD A, et al. Water cycle algorithm: a novel metaheuristic optimization method for solving constrained engineering optimization problems [J]. *Computers and Structures*, 2012, 110 – 111 :152 – 166.
- [38] SHI Y H. An optimization algorithm based on brainstorming process [J]. *International Journal of Swarm Intelligence Research*, 2011, 2(4) :35 – 62.
- [39] RAO R V, SAVSANI V J, VAKHARIA D P. Traching-learning-based optimization: a novel method for constrained mechanical design optimization problems [J]. *Computer-Aided Design*, 2011, 43(3) :303 – 315.
- [40] CAO J, YIN B, LU X, et al. A modified artificial bee colony approach for the 0 – 1 knapsack problem [J]. *Applied Intelligence*, 2017, 48(6) :1582 – 1595.
- [41] FENG Y, JIA K, HE Y. An improved hybrid encoding cuckoo search algorithm for 0 – 1 knapsack problems [J]. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2014, 2014 :970456.
- [42] KULKARNI A J, SHABIR H. Solving 0 – 1 knapsack problem using cohort intelligence algorithm [J]. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 2016, 7(3) :427 – 441.
- [43] MORADI N, KAYVANFAR V, RAFIEE M. An efficient population-based simulated annealing algorithm for 0 – 1 knapsack problem [J]. *Engineering with Computers*, 2022, 38(3) : 2771 – 2790.
- [44] LV J, WANG X, HUANG M, et al. Solving 0 – 1 knapsack problem by greedy degree and expectation efficiency [J]. *Applied Soft Computing*, 2016, 41 :94 – 103.
- [45] SHU Z, YE Z, ZONG X, et al. A modified hybrid rice optimization algorithm for solving 0 – 1 knapsack problem [J]. *Applied Intelligence*, 2022, 52(5) :5751 – 5769.
- [46] CHU P C, BEASLEY J E. A genetic algorithm for the multidimensional knapsack problem [J]. *Journal of Heuristics*, 1998, 4 :63 – 86.
- [47] KATO K, SAKAWA M. Genetic algorithms with decomposition procedures for multidimensional 0 – 1 knapsack problems with block angular structures [J]. *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics-Part B: Cybernetics*, 2003, 33(3) :410 – 419.
- [48] ALVES M J, ALMEIDA M. MOTGA: A multiobjective tehycheff based genetic algorithm for the multidimensional knapsack problem [J]. *Computers & Operations Research*, 2007, 34(11) :3458 – 3470.
- [49] LAI G M, YUAN D H, YANG S Y. A new hybrid combinatorial genetic algorithm for multidimensional knapsack problems [J]. *The Journal of Supercomputing*, 2014, 70(2) :930 – 945.
- [50] JULSTROM B A. Greedy, genetic, and greedy genetic algorithms for the quadratic knapsack problem [C]. In: Beyer H G, et al., ed. *Proc. of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO 2005)*. New York: ACM Press, 2005 : 607 – 614.
- [51] AZAD M A K, ROCHA A M A C, FERNANDES E M G P. A simplified binary artificial fish swarm algorithm for 0 – 1 quadratic knapsack problems [J]. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 2014, 259 :897 – 904.
- [52] PATVARDHAN C, BANSAL S, SRIVASTAV A. Solving the 0 – 1 quadratic knapsack problem with a competitive quantum inspired evolutionary algorithm [J]. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 2015, 285 :86 – 99.
- [53] REN Z, FENG Z, Zhang A. Fusing ant colony optimization with Lagrangian relaxation for the multiple-choice multidimensional knapsack problem [J]. *Information Sciences*, 2012, 182 : 15 – 29.

CONTENTS

High piezoelectric performance and thermal stability of A-site ion-modified BF-BT .....	..... YANG Huabing, LUO Qiuling, ZHU Jiaming, PAN Xiaohui, QIU Shaohong, CHEN Qiaohong(1)
Breast cancer ultrasound image segmentation based on improved U-KAN .....	..... WANG Shenwen, WANG Haibin, ZHAO Zhenfeng, SHANG Xiao(7)
Preparation of ARM/Ni(OH) ₂ nanocomposites based on red mud and their Congo red adsorption capacity .....	..... YANG Yanling, XIE De'an, AN Jiajia, DUAN Mengyu, NING Peipei, ZHENG Yefan(14)
Characteristics of nitrogen and phosphorus in river and lake along Yuanhe River Basin and identification of their pollution sources ...	..... LUO Wei, ZHENG Fangwen, CHEN Jiaqi, ZENG Shibo, TANG Linsen, TANG Chun, LIU Ping, YUAN Bo(18)
Numerical simulation study of navigable water flow conditions at Shengangshan Bridge .....	..... JIANG Bin, CHEN Jing(27)
Research on adaptive behavioral decision making of intelligent bodies based on improved deep reinforcement learning .....	..... HAN Longzhe, YANG Hao, ZENG Tian, LIAO Xiao, LI Siwei, FU Yu, WEI Guangqian, ZHANG Yanan(34)
Density peaks clustering with inverse distance weighting and micro cluster merging .....	..... FAN Qiang, LYU Li, QIU Rixuan, CUI Xi, ZHANG Chenyuan, FAN Tanghui(43)
An improved YOLOv3 algorithm with embedded attention mechanism for target detection of poultry parts .....	..... XIAO Mingzhi, SUN Yueting, FENG Zhenhui, ZHONG Xueyang(51)
Distributed photovoltaic siting and capacity determination based on stage adaptive multi-objective particle swarm algorithm .....	..... ZHU Tengwei, WANG Cui, TU Zhenyu, ZENG Xuan, CAI Muliang, ZHAO Zhanhao, WANG Hongwei(60)
Psychological counseling scheme based on dual-stream semantic information tracking network .....	..... YAO Zhen, HUANG Xiaole, LIAO Liming(68)
Batch decision in medical supply chain based on stochastic demand analysis .....	..... YI Dongbo, ZUO Zhiyong, XIE Jun, CHEN Jiaming, ZHANG Yewei(75)
Prediction of teaching quality in context of smart teaching: research and application based on multi-modal and complex networks ...	..... ZHONG Yuanquan(82)
Knapsack model and its solution for portfolio optimization problem from perspective of resource allocation .....	..... XIAO Xinyue, CHEN Zhizhen(91)
Study on impact of the establishment of China-African Union Free Trade Area .....	..... ZHAO Liang, LIU Jingjing, CHEN Yirong, SONG Wenjing, SUN Changzhong(99)
Impact of information disclosure of user-generated brand content on brand attitude: based on experimental method of scenarios .....	..... HU Yinhua, GUO Yutong(108)

- ◆ 双月刊
- ◆ 1982年创刊
- ◆ 第43卷 第6期 (总第173期)
- ◆ 2024年12月30日
- ◆ Bimonthly, Started in 1982
- ◆ Vol.43 No.6 (Sum No.173)
- ◆ 2024-12-30

RCCSE中国核心学术期刊
中国科技期刊引证报告统计源期刊
中国核心期刊(遴选)数据库全文收录期刊
中国期刊全文数据库全文收录期刊
中文科技期刊数据库全文收录期刊
水信息网全文收录期刊

南昌工程学院学报

NANCHANG GONGCHENG XUEYUAN XUEBAO

主管单位 江西省教育厅
主办单位 南昌工程学院
主 编 刘祖文
副 主 编 卢全国
出版发行单位 《南昌工程学院学报》编辑部
发行方式 自办发行
发行范围 公开发行
地 址 南昌市高新技术开发区天祥大道289号
邮 编 330099
电 话 0791-88125956
网 址 <http://paper.nit.edu.cn>
电子信箱 nit@nit.edu.cn; 361288@163.com
印刷单位 江西师大印刷有限责任公司

Directed by Jiangxi Provincial Department of Education
Sponsored by Nanchang Institute of Technology
Chief Editor Liu Zuwen
Deputy Chief Editor LU Quanguo
Published & Distributed by Editorial Office of Journal of
Nanchang Institute of Technology
Distribution Method: Self-Distribution
Distribution Range: Public Distribution
Address: 289 Tianxiang Road, Nanchang, Jiangxi
Postal Code: 330099
Telephone: 0791-88125956
Website: <http://paper.nit.edu.cn>
E-mail: nit@nit.edu.cn; 361288@163.com
Printed by Jiangxi Normal University Printing Co., Ltd

ISSN 1674-0076
CN 36-1288/TV

