

DOI:10.13196/j.cims.2019.12.029

基于 0-1 背包策略改进离散粒子群算法的产业链金融产品双边匹配优化模型

吴泽斌, 吴立珺, 许菱⁺

(江西理工大学 经济管理学院, 江西 赣州 341000)

摘要:为解决产业链上各节点企业与金融产品复杂多样的匹配问题,从风险承受力与融资效率视角出发,提出基于 0-1 背包策略改进离散粒子群算法对双边匹配模型进行求解。以企业风险承受能力要求最小、融资效率最高为目标函数,利用偏好序信息计算出双边匹配主体的满意度,构建了双边匹配优化模型,并运用改进离散粒子群算法进行求解。该方法简化了粒子群速度和位移的更新迭代计算方式,有效地减少了算法冗余性,提高了模型求解的收敛速度和精度。以新能源汽车产业链为例验证了算法的运算速度和寻优能力,并与传统算法比较,结果表明改进算法的运算速度和寻优能力都得到较大的提高,较好地避免了过早收敛和收敛速度慢的缺陷。

关键词:产业链金融; 0-1 背包策略; 离散粒子群优化算法; 风险承受力; 融资效率

中图分类号: TP39 **文献标识码:** A

Bilateral matching optimization of industrial chain financial products based on 0-1 knapsack strategy and improved discrete particle swarm optimization algorithm

WU Zebin, WU Lijun, XU Ling⁺

(College of Economics Management, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China)

Abstract: To solve the complex and diverse matching problems between enterprises financial products in the industrial chain, an improved discrete particle swarm optimization algorithm based on 0-1 knapsack strategy was proposed from the perspective of risk tolerance and financing efficiency for solving the bilateral matching model. The objective function was constructed aiming at the minimum risk tolerance requirement of enterprise and the highest financing efficiency of financial products. The highest preference sequence information was used to calculate the bilateral match main body satisfaction, and the bilateral matching optimization model which was calculated by improved discrete particle swarm algorithm was built. The updated iterative calculation way of particle swarm velocity and displacement were simplified by this method, the algorithm redundancy was reduced efficiently, and the solution convergence speed and precision of the model were improved. The new energy automobile industry chain was used to verify the calculation speed and searching ability of the algorithm, and the result showed that the operation speed and the searching ability of the improved algorithm was proved greatly by compared with the traditional algorithm, and the defects of premature convergence and slow convergence speed were avoided.

Keywords: industry chain finance; 0-1 knapsack strategy; discrete particle swarm optimization algorithm; risk bearing capacity; financing efficiency

收稿日期: 2019-04-23; 修订日期: 2019-09-29。Received 23 Apr. 2019; accepted 29 Sep. 2019.

基金项目: 国家社科基金资助项目(16XJY008); 江西省社会科学规划资助项目(15JY21); 赣州市金融研究院资助项目(17JR04)。**Foundation items:** Projected supported by the National Social Science Foundation, China(No. 16XJY008), the Social Science Foundation of Jiangxi Province, China(No. 15JY21), and the Finance Institute Foundation of Ganzhou City, China(No. 17JR04).

0 引言

大力发展产业链金融对促进产业链与金融融合发展、完善产融生态圈具有重要意义。产业链金融目前在我国的的发展过程中主要遇到以下 3 个问题: ①产业链中的核心企业不愿承担资金风险, 上下游中小企业又缺乏融资能力, 产业链金融整体效用发挥不充分; ②产业链金融服务对象更多面向核心企业或产业链中相关优势企业, 与整条产业链没有深度链接; ③产业链上各节点企业承担功能迥异, 而大部分产业链金融产品的开发较少体现其差异性, 致使金融产品或服务较单一。为了解决这 3 个问题, 目前的研究者多从产业链金融发展模式^[1]、金融机构参与产业链金融发展的实践^[2]、以及具体产业^[3]和地区产业链金融发展模式和方案设计^[4]等方面进行讨论。信息难穿透、长尾企业难受益是制约我国产业链金融发展的最大瓶颈之一, 其主要表现为产业链金融产品与产业链上各节点企业的金融需求之间存在错位、匹配性差。

关于产业链金融产品与企业需求双边匹配的研究, 国外学者 Minetti 等^[5]主要从供应链视角对金融产品与企业需求展开研究, 国内学者方来等^[6]认为金融服务产品单一, 企业融资信息不对称, 信贷风险控制难等是产业链金融产品匹配的主要障碍。为消除这些阻碍, 张传良等^[7]结合信托业的特性, 提出 5 类信托模式和产品设计, 以期为产业链金融业务提供更多元化的选择。在具体行业方面, 田剑英等^[8]发现, 大多农业产业链实力不强、存在规模小、可供抵押物少等问题, 导致农业产业链难以匹配到合适的金融产品; 宋军等^[9]通过调研发现, 制造业产业链金融中出现产品雷同、金融产品错配等现象, 会带来金融产品资源冗余的情况。目前, 对产业链金融产品与企业需求双边匹配的研究, 大多数是较简单的定性讨论, 定量测度或构建模型求解的研究甚少^[10]。

金融市场作为一种典型的双边市场, 市场需求和供给均呈现独特性, 是研究双边市场理论的天然场所。双边匹配模型及求解算法的研究已广泛运用于不同领域, 典型代表的研究有人力资源管理领域中人员和岗位匹配^[11]、教育领域中教育与工作匹配^[12-13]、心理学领域中婚姻匹配^[14-15]、制造领域中复杂任务匹配服务等^[16-19]。为解决不同情境下的匹配问题, Fenner 等^[20]、Yan 等^[21]、Barton 等^[22]、

Loonat 等^[23]、Dalzell 等^[24]从不同角度出發, 丰富和发展了用于求解特定情境下双边匹配问题的方法。传统双边匹配模型及其求解算法的研究中, 通常是依据多目标中每个子目标的差异性, 对每个子目标进行简单的赋权处理, 从而将多目标优化问题转化为单目标优化问题, 再运用算法进行求解。但在产业链金融匹配情境中, 产业链上各节点企业资源禀赋、组织结构存在异质性, 并且产业链上各节点企业承担功能、对金融产品风险承受能力和对融资效率的要求均不一样, 若采用传统双边匹配算法进行求解, 可能会出现金融产品匹配不合理、匹配方案难以满足产业链上各节点企业的实际融资需求和双边决策主体选择方案有限的状况。

针对产业链金融产品匹配的特定情境, 本文从风险承受能力和融资效率视角出发, 将其匹配问题采用 0-1 背包策略进行优化, 将产业链上各节点企业假定为背包, 待匹配的金融产品假定为待放入背包中的物品, 构建要求企业风险承受能力最小、融资效率最高的多目标优化模型, 运用改进离散粒子群算法求解最优匹配方案, 并传统双边匹配求解方法进行实验比较, 从而求得符合产业链上各节点企业对金融产品需求的最优稳定匹配。

1 问题描述及定义

金融机构推出的金融产品能否有效解决产业链的融资问题, 很大程度上取决于产业链上各节点企业与金融产品的匹配度。产业链上各节点企业对金融产品的选择是一个一对多双边匹配问题, 匹配过程中双边主体都需要对彼此进行考察。下面给出产业链上各节点企业与金融产品双边匹配的基本定义和设置。

产业链的上中下游共计 M 个企业有融资需求, 设 D 为产业链上各节点待匹配金融产品的企业集合, $D = \{D_1, D_2, \dots, D_M\}$, 其中 D_i 表示第 i 个企业, 称为 D 的第 i 个匹配对象, $i \in I = \{1, 2, \dots, M\}$, $M \geq 2$ 。金融机构共计 N 个产业链金融产品可供企业选择, 设 P 是待匹配的产业链金融产品候选集合 $P = \{P_1, P_2, \dots, P_N\}$, 其中 P_j 表示第 j 个候选的产业链金融产品, 称作 P 的第 j 个匹配对象, $j \in J = \{1, 2, \dots, N\}$, $N \geq 2$ 。如图 1 所示, 每个候选的产业链金融产品 P_j 能够为产业链上各节点企业 D_i 提供融资帮助, 产业链上各节点企业 D_i 需要 α 个产业链金融产品 P_j 提供融资帮助, 产业链上各节点企业

D_i 根据自身融资问题制定出所需产业链金融产品 P_j 的个数 α 。本文假定所需产业链金融产品 P_j 的个数是 $\alpha \geq 2$ 为一对多匹配,即每个节点上的企业 D_i 需要 α 个金融产品构成的金融产品组合帮助完成融资。

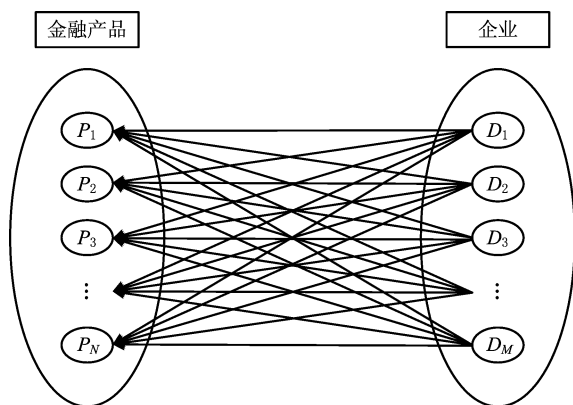


图1 产业链上各节点的企业与金融产品一对多双边匹配

定义1 在双边匹配问题中,给定 $\mu: P \cup D \rightarrow D \cup P$ 上的映射,若 $N \geq M$,对 $\forall D_i \in D, P_j \in P$,满足下列条件:① $\forall \mu(P_j) \in D, \mu(D_i) \in P \cup \{D_i\}$;② $\mu(P_j) = D_i$,当且仅当 $\mu(D_i) = \{P_{j1}, P_{j2}, \dots, P_{jk}\}$,其中 $(j_1, j_2, \dots, j_k) \subseteq J = \{1, 2, \dots, N\}$,则 $\mu(P_{j1}) = \mu(P_{j2}) = \dots = \mu(P_{jk}) = D_i$,且 $|\mu(D_i)| = k, |\mu(P_j)| = 1$;③若 $\mu(D_i) = P_j$,则 $\mu(P_j) = D_i$,且 $\mu(D_i) \cap \mu(D_l) = \emptyset, \forall l, i \in (1, 2, \dots, M), l \neq i$ 。对于产业链上各节点企业 D_i 选择多个产业链金融产品组成的集合 $P_j = \prod_{k=1}^N (P_{jk})$, $|P_j| = |\mu(D_i)| = k$,称 μ 为一对多双边匹配。从需求方来说, $\mu(D_i) = (P_i, P_k, \dots, P_a)$ 表示产业链上各节点企业 D_i 与选取的产业链金融产品 P_j 的组合在 μ 中匹配,即产业链上各节点企业的融资问题可以通过产业链金融产品组合 (P_i, P_k, \dots, P_a) 得以解决。从供给方看, $\mu(P_j) = D_i$ 表示产业链金融产品 P_j 与产业链上各节点企业 D_i 在 μ 中匹配,即产业链金融产品 P_j 分配给企业 D_i ,当 $\mu(D_i) = D_i$ 时,表示产业链上各节点企业 D_i 在 μ 中未能匹配到合适的产业链金融产品与自身匹配。

定义2 一对多双边匹配 $\mu: P \cup D \rightarrow D \cup P$,若匹配序对 (D_i, P_j) 满足以下条件,则称作匹配序对 (D_i, P_j) 是阻碍稳定匹配序对,如果不存在稳定序对,则称 μ 为稳定匹配:① $\exists P_j, P_k \in P, D_i, D_l \in D, P_j \in \mu(D_i), P_k \in \mu(D_l)$,满足 $\beta_{ji} < \beta_{jl}, \lambda_{ji} < \lambda_{kl}, \beta$ 为产业链上各节点企业承担风险的承受能力, λ 为产

业链金融产品的融资效率;② $\exists P_j \in P, D_i, D_l \in D, P_j \in \mu(D_l), D_i \in \mu(D_i)$,满足 $\beta_{ji} < \beta_{il}$;③ $\exists P_j, P_k \in P, D_i \in D, D_l \in \mu(P_j), P_j \in \mu(P_j)$,满足 $\lambda_{ji} < \lambda_{kl}$;④ $\exists P_j \in P, D_i \in D, P_j \in \mu(P_j), D_i \in \mu(D_i)$ 。

定义3 考虑风险承受能力与融资效率的一对多双边匹配 $\mu: P \cup D \rightarrow P \cup D$,如图2所示, $\exists (P_j, P_k) \in P, j \neq k, (D_i, D_l) \in D, i \neq l$,其中 $\mu(P_j) = D_i, P_j \in \mu(D_i)$,且 $\mu(P_k) = D_l, P_k \in \mu(D_l)$,满足 $\beta_{jl} + \beta_{ki} \geq \beta_{jk} + \beta_{kl}, \lambda_{jl} + \lambda_{ki} \geq \lambda_{jk} + \lambda_{kl}$,且至少一个是严格不等式,则 $\mu: P \cup D \rightarrow P \cup D$ 为双边不稳定匹配,否则为双边匹配。

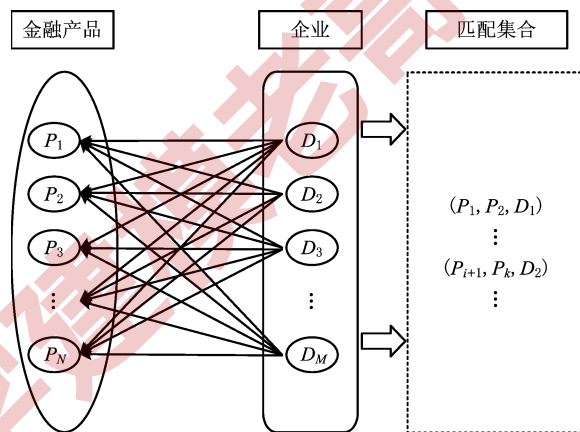


图2 考虑风险承受能力与融资效率的一对多双边匹配

评价产业链上各节点企业的风险承受能力与测度金融产品融资效率的指标类型、单位均不同,需要对指标进行无量纲化处理、确定指标权重、对指标进行排序集结,测算出双边主体的满意度,基本参数说明如下:

企业需求方 D_i 根据金融产品的融资效率指标集 $C = \{C_1, C_2, \dots, C_c\}$ 对金融产品供给方 P_j 进行满意度计算, R_{ij}^g 是企业需求方 D_i 给出的金融产品供给方 P_j 在其融资效率指标集 C_c 中的满意度,即企业对金融产品融资效率的满意程度,并且 R_{ij}^g 越大,说明企业更倾向于选择该金融产品。同样地,金融产品供给方 P_j 根据企业的风险承受能力指标集 $E = \{E_1, E_2, \dots, E_e\}$ 对企业需求方 D_i 进行满意度计算, L_{ij}^g 是金融产品供给方 P_j 给出的企业需求方 D_i 在其风险承受能力指标集 E_e 的满意度,即金融产品对企业的风险承受能力的满意程度,并且 L_{ij}^g 越大,说明金融产品越倾向于选择该企业。其中, ω_c^g 和 ω_e^g 分别是指标 C_c 和 E_e 的权重,满足 $\omega_c^g \in [0, 1], \omega_e^g \in [0, 1], \sum_{k=1}^p \omega_c^g = 1, \sum_{k=1}^p \omega_e^g = 1, g \in G = \{1, 2, \dots, p\}$ 。

2 基于风险承受能力与融资效率的双边匹配优化模型

2.1 指标权重确定和满意度测算

(1) 层次分析法确定主客观权重

通过对指标构造判断矩阵进行一致性检验, 用式(1)~式(3)计算各指标主观权重:

$$w_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}, \quad (1)$$

$$w_i = \sum_{j=1}^n w_{ij}, \quad (2)$$

$$w_{ai} = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}. \quad (3)$$

式中: a_{ij} 为判断矩阵中的元素, w_i 为层次分析法求得权重。

(2) 最大熵原理确定客观权重

为降低层次分析法的主观性, 利用最大熵原理确定客观权重, 建立权重赋值模型:

$$\begin{aligned} \max G &= - \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M \sum_{c=1}^C R_{ij}^{gc} \omega_c^g, \\ \max H &= - \sum_{c=1}^C \omega_c^g \ln \omega_c^g; \\ \text{s. t.} \quad &\sum_{c=1}^C \omega_c^g = 1, \omega_c^g \geq 0. \end{aligned} \quad (4)$$

为消除式(4)中的量纲, 设 G_{\max} 和 G_{\min} 为 G 在约束条件下的最大值和最小值。同样地, 设 H_{\max} 和 H_{\min} 为 H 在约束条件下的最大值和最小值, 将式(4)转化为:

$$\begin{aligned} \max F &= \lambda \frac{G - G_{\min}}{G_{\max} - G_{\min}} + (1 - \lambda) \frac{H - H_{\min}}{H_{\max} - H_{\min}}; \\ \text{s. t.} \quad &\sum_{c=1}^C \omega_c^g = 1, \omega_c^g \geq 0. \end{aligned} \quad (5)$$

其中: $\lambda \in (0, 1)$ 为目标函数 G 的权系数, $(1 - \lambda)$ 是目标函数 H 的权系数。

$$\begin{aligned} \text{令 } A_1 &= \frac{\lambda}{G_{\max} - G_{\min}}, A_2 = \frac{\lambda G_{\min}}{G_{\max} - G_{\min}}, B_1 = \\ &\frac{1 - \lambda}{H_{\max} - H_{\min}}, B_2 = \frac{(1 - \lambda) H_{\min}}{H_{\max} - H_{\min}}, \text{则式(5)等于:} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \max F &= -A_1 \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M \sum_{c=1}^C R_{ij}^{gc} \omega_c^g - \\ &B_1 \sum_{c=1}^C \omega_c^g \ln \omega_c^g - A_2 - B_2; \\ \text{s. t.} \quad &\sum_{c=1}^C \omega_c^g = 1, \omega_c^g \geq 0. \end{aligned} \quad (6)$$

构造拉格朗日函数:

$$\begin{aligned} L(\omega_1^g, \omega_2^g, \dots, \omega_c^g, \eta) &= -A_1 \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M \sum_{c=1}^C R_{ij}^{gc} \omega_c^g - \\ &B_1 \sum_{c=1}^C \omega_c^g \ln \omega_c^g - A_2 - B_2 + \eta \left(\sum_{c=1}^C \omega_c^g - 1 \right). \end{aligned} \quad (7)$$

根据极值理论, 对 ω_c^g 和 η 求偏导可得:

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial \omega_c^g} = -A_1 \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M R_{ij}^{gc} - B_1 (\ln \omega_c^g + 1) \\ C = 1, 2, \dots, c \\ \frac{\partial L}{\partial \eta} = \sum_{c=1}^C \omega_c^g - 1 = 0 \end{cases} \quad (8)$$

求得客观权重最优解为:

$$\begin{aligned} \omega_c^g &= \frac{e^{-(A_1 \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M R_{ij}^{gc} + B_1)/B_1}}{\sum_{c=1}^C e^{-(A_1 \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M R_{ij}^{gc} + B_1)/B_1}}, \\ C &= 1, 2, \dots, c, g = 1, 2, \dots, p. \end{aligned} \quad (9)$$

(3) 确定组合权重

利用层次分析法求得主观权重和最大熵原理计算客观权重, 并利用组合赋权法计算最终权重:

$$\omega_{zc}^g = \frac{\omega_{ai} \omega_c^g}{\sum_{i=1}^n \omega_{ai} \omega_c^g}. \quad (10)$$

式中: ω_{zi} 是组合权重值, ω_{ai} 是主观权重值, ω_c^g 是客观权重值。

(4) 计算双方主体满意度

利用组合权重, 按照式(11)计算各双边主体的满意度:

$$R_{ij}^g = \sum_{c=1}^C R_{ij}^{gc} \omega_{zc}^g, \quad (11)$$

$$L_{ij}^g = \sum_{c=1}^C L_{ij}^{gc} \omega_{zc}^g. \quad (12)$$

其中: R_{ij}^{gc} 是企业需求方 D_i 给出的金融产品供给方 P_j 在其融资效率指标集 C_c 中的满意度; L_{ij}^{gc} 是金融产品供给方 P_j 给出的企业需求方 D_i 在其风险承受能力指标集 E_e 的满意度。

2.2 基于风险承受能力与融资效率的双边匹配多目标决策模型

在双方满意度 R_{ij}^g, L_{ij}^g 计算公式的基础上, 构建最大化双方满意度多目标匹配模型:

$$F = (Z_1, Z_2), \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \max Z_1 &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} x_{ij}, \max Z_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \beta_{ij} x_{ij}, \\ &\quad (14) \end{aligned}$$

$$\min |Z_1 - Z_2| = |\alpha_{ij} - \beta_{ij}| x_{ij} \quad (15)$$

其中: Z_1, Z_2 是双方满意度, x_{ij} 是决策变量, 若第 i 个金融产品匹配第 j 个企业则取值为 1, 若第 i 个金融产品不匹配第 j 个企业则取值为 0。

3 基于 0-1 背包策略改进离散粒子群算法

3.1 0-1 背包策略

0-1 背包策略是当有一个容量为 V 的背包, 有 n 个不同价值 c 和不同体积 w 的物品, 选择合适的物品装入背包使得所装物品价值最大且物品体积不超过背包的容量而制定的策略。0-1 背包策略中, 每个物品存在两者状态即是否放入背包, 所以引入变量 x_i 。当第 i 种物品放入背包中时, $x_i=1$; 当第 i 种物品不放入背包中时, $x_i=0$, 即设

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{表示第 } i \text{ 种物品放入背包中} \\ 0 & \text{表示第 } i \text{ 种物品不放入背包中} \end{cases},$$

$$i = 1, 2, \dots, n。$$

故该策略的目标函数和约束条件如下:

$$\max W = \sum_{i=1}^n c_i x_i; \quad (16)$$

$$\text{s. t.} \quad \sum_{i=1}^n w_i x_i \leq V,$$

$$x_i \in [0, 1], i = 1, 2, \dots, n。$$

其中: W 是放入背包的物品价值总和, c_i 是每个物品的价值, w_i 是每个物品的体积。

3.2 改进离散粒子群算法

离散粒子群算法是将每个待匹配的企业看作是 D 维搜索空间上的一个粒子, 目标函数一一对应确定每个具有位置和速度的粒子适应度值, 每个粒子以一定的速率在搜索空间进行寻优匹配, 最终达到最佳匹配。假设在一个 D 维的目标搜索空间中, 有 N 个粒子组成种群, 其中第 i 个粒子位置 $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD})$, $i=1, 2, \dots, N$ 是一个 D 维的向量; 第 i 个粒子的飞行速度 $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD})$, $i=1, 2, \dots, N$ 也是一个 D 维的向量; 第 i 个粒子目前为止搜索到的最优位置成为个体最优值为 $P_{best} = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iD})$, $i=1, 2, \dots, N$, 整个种群目前为止搜索到的最优位置即为全局最优值为 $g_{best} = (g_1, g_2, \dots, g_D)$ 。当更新到个体和全局最优值时, 对进行寻优的粒子以如下公式更新位置和速度值:

$$v_{ij}(t+1) = \omega \times v_{ij}(t) + c_1 \times r_1(t) \times [p_{ij}(t) - x_{ij}(t)] + c_2 \times r_2(t) \times [p_{gi}(t) - x_{ij}(t)],$$

$$(17)$$

$$x_{ij}(t+1) = \omega \times x_{ij}(t) + v_{ij}(t+1), \quad (18)$$

$$\omega = \omega_{\max} + (\omega_{\max} - \omega_{\min}) \times (2t/T_{\max} - (t/T_{\max})^2)。$$

$$(19)$$

其中: t 为迭代次数, c_1 和 c_2 为学习因子, 也称作加速常数, ω 为惯性权重, 其中 $\omega_{\max}, \omega_{\min}$ 分别为最大、最小惯性权重, T_{\max} 表示最大迭代次数, r_1 和 r_2 分别是 $[0, 1]$ 范围内的均匀随机数, v_{ij} 是粒子的速度, x_{ij} 是粒子的位置, $i=1, 2, \dots, N, j=1, 2, \dots, D$ 。当粒子通过上述两式不断更新本身的速度和位置, 找到足够好的最优匹配解或达到最大迭代次数, 输出全局最优匹配解时, 算法结束。

在产业链上各节点企业与金融产品匹配过程中, 粒子在搜索空间的取值和变化只限于 0 和 1, 其中, 1 表示选择该金融产品, 0 表示不选择该金融产品; 而速度的每一维 v_{ij} 表示每一个位置 x_{ij} 取值为 1 的可能性, 因此在离散粒子群中每一个粒子的速度 v_{ij} 更新方法依然采用连续粒子群中的公式, 但是个体最优值 P_{best} 和全局最优值 g_{best} 取值范围为 $[0, 1]$, 每个粒子位置 x_{ij} 更新公式如下:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & r < s(v_{ij}) \\ 0 & \text{其他} \end{cases},$$

$$s(v_{ij}) = \frac{1}{e^{(-v_{ij})}}。$$

$$(20)$$

其中: r 是从 $U(0, 1)$ 分布中产生的随机数, $s(v_{ij})$ 是每个粒子速度 v_{ij} 取值为 1 的概率, 每个粒子速度 v_{ij} 取值为 0 的概率为 $1-s(v_{ij})$ 。

3.3 0-1 背包策略离散粒子群算法实现流程

基于 0-1 背包策略改进粒子群算法实现流程如下:

(1) 初始化群体粒子个数 N , 设定粒子维度 D , 最大迭代次数 T , 学习因子 $c_1=c_2$, 惯性权重最大值 ω_{\max} , 惯性权重最小值 ω_{\min} , 速度最大值 v_{\max} , 速度最小值 v_{\min} 。

(2) 设定种群个体初始化位置 x 和速度 v , 其中, $x=1$ 表示该物品放入背包中, $x=0$ 表示该物品不放入背包中。将拟放入背包中物品的价值总和和设定为适应度函数, 利用适应度函数计算个体的适应度值, 当放入背包中物品的体积总和大于背包容量时, 对适应度值进行惩罚计算, 获得粒子个体最优位置 p 和最优值 p_{best} , 粒子种群全局最优位置 g 和最优值 g_{best} 。

(3) 计算动态惯性权重, 并按照更新二进制编码粒子的位置 x , 计算相应的适应度值, 判断是否替换

粒子个体最优位置 p 和最优值 p_{best} , 以及粒子种群全局最优位置 g 和最优值 g_{best} 。

(4) 利用更新的全局最优位置和最优值, 判断是否满足边界条件, 若满足边界条件, 则结束搜索过程, 输出全局最优值; 否则, 继续更新迭代最优位置和最优值。

0-1 背包策略离散粒子群算法实现流程如图 3 所示。

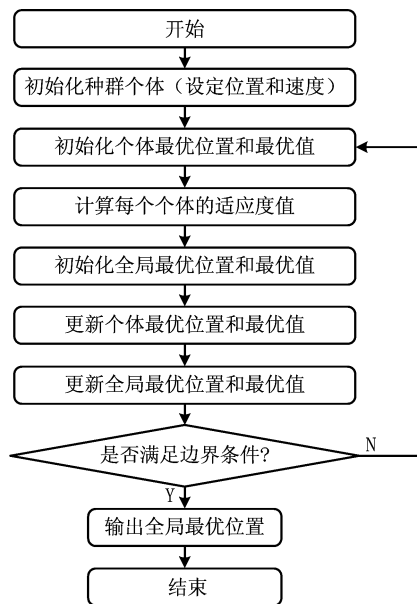


图3 基于0-1背包策略改进离散粒子群算法流程

4 算例分析

4.1 算例选取

为进一步验证模型的可行性, 以新能源汽车产业链为例进行分析。以新能源汽车产业链为例主要基于 3 方面考虑: ①目前我国新能源汽车补贴正在加速退出, 不少新能源汽车相关公司开始新一轮融资, 问题研究契合当下需求; ②汽车产业作为制造业的“集大成者”, 具有代表性和典型性; ③新能源汽车产业链在快速延伸, 行业秩序较好、与银行合作程度较高、供销两端对金融服务需求规模大而多样化, 易形成可复制可推广经验。

由于新能源汽车产业链上各节点企业承担的功能不一样, 其风险承受能力、对金融产品融资效率的需求会有所差异。一方面, 上游企业的资源采购易受到基础材料采购价格及种类、核心材料技术壁垒及供应商数量等因素影响; 中游企业的零部件生产易受到零部件生产技术、零部件生产规模及库存容量等因素影响; 下游企业的整车制造及服务易受到

整车制造、销售服务和后市场服务等因素影响。另一方面, 流通性、到期时限及杠杆情况等因素会影响金融产品的融资效率。鉴于上述分析, 本文对相关金融服务机构和新能源动力汽车产业链节点企业进行走访调研, 主要选取流通性、到期时限及杠杆情况对金融产品的融资效率进行评价, 选取基础材料采购价格及种类、供应商数量等指标表征企业风险承受能力, 具体情况如表 1 所示。

表 1 新能源汽车产业链上各节点企业风险承受能力指标

产业链	主要功能	指标
上游企业	资源采购	基础材料采购价格及种类
		核心材料提取工艺
中游企业	零部件生产	供应商数量
		零部件生产技术
		零部件生产规模
下游企业	整车制造及服务	库存容量
		整车制造
		销售服务
		后市场服务

4.2 计算过程

为更好地掌握新能源汽车产业链各节点上企业和金融部门的双边主体需求, 笔者实地走访了 9 家新能源汽车企业、组织了来自高校、金融和政府等部门的 15 名专家对新能源汽车产业链各节点企业风险偏好进行评估, 在调研数据的基础上构建仿真实验平台得到双边主体的偏好序信息, 利用组合权重法计算出各指标的权重, 通过指标权重和仿真偏好序信息计算匹配双边主体的满意度, 并运用改进离散粒子群算法进行匹配求解, 最终求出产业链上各节点企业最优匹配的金融产品。具体计算过程如图 4 所示。

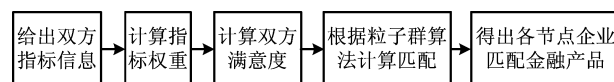


图4 产业链上各节点企业与金融产品双边匹配计算过程

根据新能源汽车产业链各节点企业承担功能的不同, 整合为产业链的上游企业 (D_1)、中游企业 (D_2)、下游企业 (D_3)。其中上游企业主要承担资源采购及制造功能, 中游企业主要承担零部件生产功能, 下游企业主要承担整车制造及服务。根据各节点企业承担的功能不同, 对金融产品进行初步筛选后确定 10 个金融产品 P_1, P_2, \dots, P_{10} 为候选金融

产品。各节点企业以流动性(C_1)、到期时限(C_2)、杠杆情况(C_3)等指标对 10 个候选金融产品融资效率进行综合衡量,给出关于候选金融产品融资效率偏好序信息,如表 2 所示。候选金融产品对上游企业(D_1)以核心材料提取工艺(E_1)、基础材料采购价格及种类(E_2)、供应商数量(E_3)进行综合评价;对中游企业(D_2)以零部件生产技术(E_4)、零部件生产规模(E_5)、库存容量(E_6)进行综合评价;对下游企业(D_3)以整车制造(E_7)、销售服务(E_8)、后市场服务(E_9)进行综合评价,给出关于企业风险指标偏好序信息,如表 3 所示。

表 2 企业给出关于候选金融产品融资指标偏好序信息

		P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}
D_1	C_1	9	2	7	9	3	4	5	1	8	5
	C_2	4	8	1	5	4	8	3	9	8	6
	C_3	3	6	3	5	1	1	7	7	6	6
D_2	C_1	8	5	2	4	2	1	2	5	4	2
	C_2	4	2	2	9	9	2	7	4	8	3
	C_3	9	8	3	4	9	6	2	5	5	5
D_3	C_1	2	6	4	2	6	7	4	3	4	3
	C_2	3	4	1	8	1	6	6	5	9	8
	C_3	2	5	9	4	3	5	8	5	8	2

表 3 金融产品给出关于企业风险指标偏好序信息

		D_1			D_2			D_3		
		E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7	E_8	E_9
P_1		5	4	1	5	7	8	4	3	2
P_2		3	7	7	2	2	8	2	7	4
P_3		5	2	5	9	6	1	5	6	5
P_4		6	7	5	7	5	4	4	5	9
P_5		7	1	9	5	9	5	9	7	2
P_6		4	6	6	5	6	4	9	6	8
P_7		4	5	6	1	8	6	1	2	6
P_8		9	8	8	7	5	6	7	2	4
P_9		1	7	8	1	4	3	3	9	2
P_{10}		8	9	6	1	8	4	4	2	4

通过仿真得到表 2 和表 3 的数值,利用组合权重法计算出产业链上各节点企业和金融产品的指标权重(详见表 4 及表 5)。由计算结果可以发现,金融产品融资指标中,其流动性($w_1=0.351$)和杠杆情况($w_3=0.464$)权重较大;企业风险偏好指标中,

承担资源采购及制造功能的上游企业核心材料提取工艺权重($w_1=0.210$)较大,承担零部件生产功能的中游企业库存容量权重($w_6=0.173$)较大,承担整车制造及服务的下游企业后市场服务权重($w_9=0.145$)较大。

表 4 候选金融产品融资指标权重

D—P	w_1	w_2	w_3
组合权重	0.351	0.184	0.464

表 5 企业风险偏好指标权重

	D_1			D_2			D_3		
P—D	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8	w_9
组合权重	0.210	0.022	0.070	0.161	0.047	0.173	0.097	0.075	0.145

根据计算得出的指标权重,通过公式计算出双方主体的满意度,如表 6 和表 7 所示。

表 6 企业关于候选金融产品的满意度信息

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_9	P_{10}
D_1	7.07	4.96	3.34	6.41	2.48	2.98	2.26	5.56	5.26	5.65
D_2	5.20	5.84	3.51	4.92	7.73	2.46	6.54	2.92	4.82	3.58
D_3	6.78	5.17	5.89	4.03	2.18	5.77	3.69	6.23	4.30	3.46
均值	6.35	5.32	4.25	5.12	4.13	3.74	4.16	4.90	4.79	4.23

表 7 金融产品关于企业的满意度信息

	D_1	D_2	D_3	均值
P_1	1.21	1.76	1.05	1.34
P_2	1.27	1.02	0.85	1.05
P_3	1.44	2.09	1.53	1.69
P_4	1.76	1.86	1.58	1.73
P_5	2.12	1.60	2.18	1.97
P_6	2.63	2.00	1.79	2.14
P_7	1.37	0.81	0.67	0.95
P_8	1.39	1.46	2.58	1.81
P_9	0.92	0.51	0.97	0.80
P_{10}	2.30	0.67	1.16	1.38

对于产业链上各节点企业的风险偏好和金融产品的融资效率,考虑各节点企业承担功能有所差异,通过 0-1 背包策略对双方匹配问题进行优化,运用改进离散粒子群算法进行求解,得出近似最优的双方匹配方案。其中,最优匹配方案是上游企业 D_1 与金融产品 P_3 、 P_5 、 P_6 、 P_7 匹配;中游企业 D_2 与金融产品 P_4 、 P_5 、 P_6 、 P_{10} 匹配;下游企业 D_3 与金融产

品 P_5 、 P_6 、 P_7 、 P_8 匹配。

4.3 结果分析

本文采用 MATLAB 软件对改进离散粒子群算法进行编程。初始化粒子维度 $D=10$ 为金融产品个数;经过多次实验比对发现,当群体粒子个数 $N=100$,最大迭代次数 $T=100$ 时,更容易发现全局最优解,算法运行时间较短;当学习因子 $c_1=c_2=1.5$ 使得个体经验和群体经验有同样的影响力,使得求解最优解更精确;惯性权重最大值为 $\omega_{\max}=$

1.2,惯性权重最小值为 $\omega_{\min}=0.8$ 使得粒子在进化的不同阶段拥有不同的寻优能力;速度最大值 $v_{\max}=10$,速度最小值 $v_{\min}=-10$ 使得粒子能够在局部最优区域外进行充分探测。以上参数设置经过多次运行来确定。

对上游企业、中游企业、下游企业分别进行实验,可以发现各节点企业迭代 50 次后平均适应度曲线趋于平稳。产业链上各节点企业适应度进化曲线如图 5 所示。

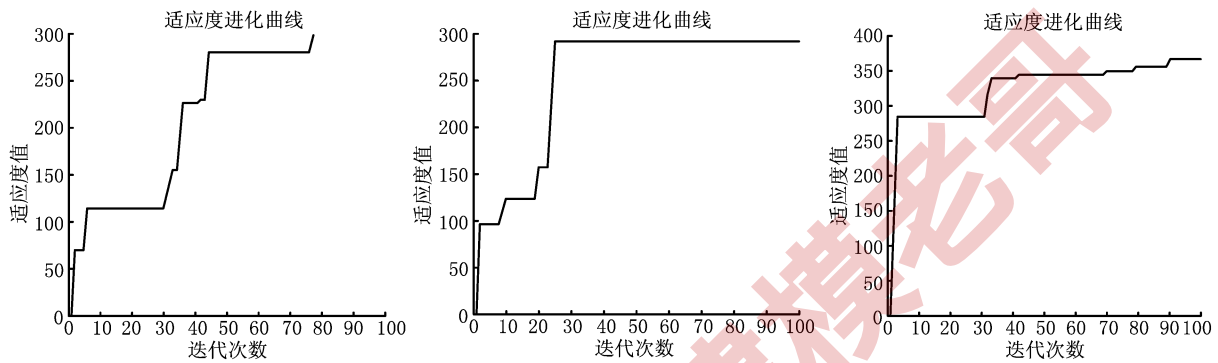


图5 产业链上各节点企业适应度进化曲线

由于粒子存在随机性,对产业链上各节点企业分别进行多次实验,结果存在一定的差异,通过对其进行计算检验(如表 8),最终确定 3 组近似最优解分别是:① $\{D_1:P_3,P_5,P_6,P_7\};\{D_2:P_4,P_5,P_6,P_{10}\};\{D_3:P_5,P_6,P_7,P_8\}$;② $\{D_1:P_1,P_2,P_6,P_8\};\{D_2:P_1,P_7,P_9,P_{10}\};\{D_3:P_1,P_3,P_4,P_7\}$;③ $\{D_1:$

$P_1,P_3,P_8,P_{10}\};\{D_2:P_1,P_5,P_7,P_8\};\{D_3:P_3,P_4,P_6,P_9\}$ 。同时计算出 3 组最优解的匹配度,根据约束条件和目标函数最终确定的最优匹配是方案 1:上游企业 D_1 与金融产品 P_3 、 P_5 、 P_6 、 P_7 匹配;中游企业 D_2 与金融产品 P_4 、 P_5 、 P_6 、 P_{10} 匹配;下游企业 D_3 与金融产品 P_5 、 P_6 、 P_7 、 P_8 匹配。

表 8 最优匹配方案

方案序号	D_1	D_2	D_3	匹配度	是否最优	判断理由
1	P_3,P_5,P_6,P_7	P_4,P_5,P_6,P_{10}	P_5,P_6,P_7,P_8	83.64	是	价值最大,体积最小
2	P_1,P_2,P_6,P_8	P_1,P_7,P_9,P_{10}	P_1,P_3,P_4,P_7	77.48	否	体积最小,价值最小
3	P_1,P_3,P_8,P_{10}	P_1,P_5,P_7,P_8	P_3,P_4,P_6,P_9	107.14	否	体积最大,价值最大

从表 8 可知,方案 3 的匹配度最大(107.14),价值最大,表明产业链上各节点企业所匹配的金融产品组合融资效率最高,但其体积最大,表明组合的金融产品要求企业承担风险能力较高,超出企业承担风险的能力上界,故方案 3 不是最优匹配方案;方案 2 匹配度最小(77.48),体积最小,表明组合的金融产品要求企业承担风险能力较低,但其价值最小,表明上中下游企业选取的金融产品组合融资效率最低,故方案 2 不是最优匹配方案;方案 1 相比方案 3 和方案 2,其匹配度(83.64)虽然不是最高,但体积最小,价值最大,说明组合的金融产品要求企业承担

风险能力最低,企业选取金融产品组合融资效率最高,为最优匹配方案。通过比对方案 1 中的金融产品可以发现, P_5 、 P_6 这两个金融产品与产业链上各节点企业相匹配。从表 7 和表 8 可以看出,各节点企业对 P_5 和 P_6 这两个金融产品满意度均值较高,分别是 1.97 和 2.14,并且 P_5 和 P_6 对各节点企业风险承受能力要求度均值较低分别是 4.13 和 3.74,进一步佐证了 P_5 、 P_6 与各节点企业匹配度最佳。

4.4 求解方法比较

为进一步检验基于 0-1 背包策略改进离散粒子

群算法解决双边匹配问题的可达性,将本文所提出的改进离散粒子群算法与传统粒子群算法进行比较分析,初始化各参数和运行环境保持不变进行仿真。通过多次仿真实验发现,改进离散粒子群算法相较于传统粒子群算法运行速度较快,为3.027 3 s,匹配度较高,为83.64,最优适应度值较优,为7.016

4。在相同初始状态下,改进离散粒子群算法比传统粒子群算法具有更快的搜寻速度,且改进离散粒子群算法其搜寻最佳匹配方案的匹配度较优。实验结果对比表明,将企业与金融产品的匹配过程利用0-1背包策略进行转化,提高了传统匹配运行的时间,优化了匹配过程。

表9 求解方法实验结果对比

序号	运行时间/s	最优适应度值	最佳匹配方案	匹配度
1	3.138 7	4.371 7	$\{D_1:P_1,P_2,P_4,P_9\};\{D_2:P_1,P_2,P_7,P_9\};$ $\{D_3:P_1,P_3,P_9,P_{10}\}$	73.47
2	3.027 3	7.016 4	$\{D_1:P_3,P_5,P_6,P_7\};\{D_2:P_4,P_5,P_6,P_{10}\};$ $\{D_3:P_5,P_6,P_7,P_8\}$	83.64

5 结束语

本文针对产业链上各节点企业承担功能不同、待匹配金融产品种类繁杂的复杂情境,提出一种基于背包策略改进离散粒子群算法的双边匹配优化模型求解方法。该方法在传统粒子群算法的基础上,根据承担不同功能的企业风险承受能力和金融产品融资效率的差异,简化了粒子群速度和位移的更新迭代计算方式,使得粒子群在更新过程中趋向于最优解运动的速度更快,能够达到较好的收敛效果,从而求得最优稳定匹配方案。以新能源汽车产业链为例,通过实验对比验证了改进离散粒子群算法具有较快的运算速度,并且在一定程度上提高了运算精度和局部寻优能力,避免过早收敛和收敛速度慢的缺陷。该方法可应用于多类别复合资源匹配问题,如生产资源与生产线匹配、人口与经济资源匹配等。

从求解得出的最优稳定匹配方案可以发现:产业链金融产品双边匹配中,上游企业需要流动性较好的金融产品,中游企业对金融产品的杠杆情况比较重视,下游企业需要到期期限较长的金融产品。为进一步推进我国产业链金融高质量发展,金融机构应综合考虑产业链横向和纵向的行业特点、风险承受能力等因素,开发设计出有针对性的产业链金融产品,满足偏好不一致的各节点企业需求,实现全方位的金融服务和资金流的闭合循环。

本文在计算产业链金融产品的双方匹配度过程中,只注意到产业链上各节点企业承担功能不同,忽视了产业链上各节点企业之间的关系和金融产品之间的关系,下一步将基于社会网络测算金融产品之

间的互斥效应和互补效应、企业的主次关系对开发设计产业链金融产品的影响。同时,作为提供金融产品的第三方之间还存在抢占市场份额和优质产业链所引发的负向效应,考虑第三方的负向效应下产业链金融产品双边匹配问题也是未来的研究重点。

参考文献:

- [1] FANG Yaner, HE Dexu. Exploration on the development of block chain technology in industrial chain finance of commercial banks[J]. New Finance, 2017(4): 24-27 (in Chinese). [方燕儿, 何德旭. 区块链技术在商业银行产业链金融中的发展探索[J]. 新金融, 2017(4): 24-27.]
- [2] ZHANG Qing. Analysis on financial development strategies of commercial banks' industrial chain[J]. China Business and Market, 2014, 28(1): 110-116 (in Chinese). [张 箐. 商业银行产业链金融发展策略探析[J]. 中国流通经济, 2014, 28(1): 110-116.]
- [3] DING Lianye. Research on the path of Internet finance promoting supply-side structural reform in agriculture[J]. Southwest Finance, 2018(5): 37-43. [丁廉业. 互联网金融助推农业供给侧结构性改革的路径研究[J]. 西南金融, 2018(5): 37-43.]
- [4] YANG Yaojun, ZHANG Hejie. Design and empirical study of industrial chain financial model embedded in Xinbao Fund—a case study of county-level cities[J]. Financial Theory & Practice, 2017(5): 67-72 (in Chinese). [杨尧均, 章和杰. 嵌入信保基金的产业链金融模式设计与实证研究——以县级城市为例[J]. 金融理论与实践, 2017(5): 67-72.]
- [5] MINETTI R, MURRO P, ROTONDI Z, et al. Financial constraints, firms' supply chains, and internationalization[J]. Journal of the European Economic Association, 2019, 17(2): 327-375.
- [6] FANG Lai. Financial support mechanism and efficiency evaluation of strategic emerging industry development—a case study

- of Gansu province[J]. Journal of Harbin University of Commerce: Social Science Edition, 2018(2): 28-37 (in Chinese). [方来. 战略性新兴产业发展的金融支持机制及效率评价——以甘肃省为例[J]. 哈尔滨商业大学学报: 社会科学版, 2018(2): 28-37.]
- [7] ZHANG Chuanliang, LIU Xiangdong. Business model and product design of industrial chain financial trust[J]. Financial Theory & Practice, 2016(4): 90-95 (in Chinese). [张传良, 刘祥东. 产业链金融信托业务模式与产品设计[J]. 金融理论与实践, 2016(4): 90-95.]
- [8] TIAN Jianying. Financing methods and improvement measures of the whole agricultural industry chain—based on the investigation and tracking research of 55 whole agricultural industry chains in Zhejiang province[J]. Economic Review Journal, 2018(9): 112-121 (in Chinese). [田剑英. 农业全产业链融资方式与完善对策——基于浙江省 55 条农业全产业链的调查与跟踪研究[J]. 经济纵横, 2018(9): 112-121.]
- [9] SONG Jun, XIONG Ying. Case analysis of innovative industrial chain financial products—research report on innovative industrial chain financial products of fan manufacturing industry in Guangshui[J]. Wuhan Finance, 2012(6): 54-56 (in Chinese). [宋军, 熊鹰. 创新产业链金融产品个案分析——广水市风机制造业创新产业链金融产品调研报告[J]. 武汉金融, 2012(6): 54-56.]
- [10] WU Yuyu, YANG Shan, ZHANG Weiyi. “Internet+ industrial chain”: a new path of rural financial internalization[J]. Western Forum, 2015, 25(5): 12-19 (in Chinese). [吴玉宇, 杨姗姗, 张蔚怡. “互联网+产业链”: 农村金融内生化的新路径[J]. 西部论坛, 2015, 25(5): 12-19.]
- [11] LIU Pengfei, HE Xiaxu, HE Kejing. Research on human resource allocation of scientific research projects based on multi-objective optimization[J]. Computer Applications and Software, 2017, 34(5): 217-222, 321 (in Chinese). [刘鹏飞, 贺霞旭, 何克晶. 基于多目标优化的科研项目人力资源配置研究[J]. 计算机应用与软件, 2017, 34(5): 217-222, 321.]
- [12] HERSCH J. Education match and job match[J]. Review of Economics & Statistics, 1991, 73(1): 140-144.
- [13] BOSSLET G T, BUCKLEY J D. Reply: combining efforts for positive progress in the graduate medical education match process[J]. Annals of the American Thoracic Society, 2017, 14(8): 1357-1358.
- [14] SHI G Y, KONG Y X, CHEN B L, et al. Instability in stable marriage problem: matching unequally numbered men and women[J]. Journal of Applied Mathematics, 2018(9): 1-5.
- [15] LI Mingyang, FAN Zhiping. Method for stable two-sided matching considering psychological behavior of agents on both sides[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2014, 34(10): 2591-2599 (in Chinese). [李铭洋, 樊治平. 考虑双方主体心理行为的稳定双边匹配方法[J]. 系统工程理论与实践, 2014, 34(10): 2591-2599.]
- [16] ZHANG Di, SUN Tao, GAO Mingmei, et al. Multi-stage bilateral matching method for master manufacturer and supplier of complex products under multiple degrees of satisfaction[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2018, 24(3): 804-812 (in Chinese). [张笛, 孙涛, 高明美, 等. 多重满意度下的复杂产品主制造商—供应商多阶段双边匹配方法[J]. 计算机集成制造系统, 2018, 24(3): 804-812.]
- [17] REN Lei, REN Minglun. A pair of multi-bilateral matching model for complex manufacturing tasks based on competition and synergy effect[J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2018, 24(5): 1110-1123 (in Chinese). [任磊, 任明伦. 基于竞争与协同效应的复杂制造任务一对多双边匹配模型[J]. 计算机集成制造系统, 2018, 24(5): 1110-1123.]
- [18] LIU Jiangwei, GUO Yu, ZHA Shanshan, et al. Multi-station assembly sequence planning based on improved particle swarm optimization algorithm[J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2018, 24(11): 2701-2711 (in Chinese). [刘江伟, 郭宇, 查珊珊, 等. 基于改进粒子群算法的多工位装配序列规划[J]. 计算机集成制造系统, 2018, 24(11): 2701-2711.]
- [19] BARMAN S D, REZA A W, KUMAR N, et al. Two-side impedance matching for maximum wireless power transmission[J]. IETE Journal of Research, 2016, 62(4): 532-539.
- [20] FENNER S, GURJAR R, THIERAUF T. A deterministic parallel algorithm for bipartite perfect matching[J]. Communications of the ACM, 2019, 62(3): 109-115.
- [21] YAN H S, WANG Y F. Matching decision method for knowledgeable manufacturing system and its production environment[J]. Journal of Intelligent Manufacturing, 2019, 30(2): 771-782.
- [22] BARTON C, LIU C, PISSIS S P. Fast average-case pattern matching on weighted sequences[J]. International Journal of Foundations of Computer Science, 2018, 29(8): 1331-1343.
- [23] LOONAT F, GEBBIE T. Learning zero-cost portfolio selection with pattern matching[J]. PLoS One, 2018, 13(9): 1-38.
- [24] DALZELL N M, REITER J P. Regression modeling and file matching using possibly erroneous matching variables[J]. Journal of Computational & Graphical Statistics, 2018, 27(4): 728-738.

作者简介:

吴泽斌(1977—),男,江西赣州人,副教授,博士,硕士生导师,研究方向:产业链金融, E-mail: wuzebingz@sina.com;

吴立珺(1995—),女,福建邵武人,硕士研究生,研究方向:产业链金融, E-mail: 471255488@qq.com;

十许菱(1971—),女,福建晋江人,教授,硕士生导师,研究方向:互联网金融、物流工程信息化、云制造,通信作者, E-mail: qingxh@163.com.