

基于经济模型预测控制的证券投资组合策略

马小涵,刘晓华,高 荣

(鲁东大学 数学与统计科学学院,山东 烟台 264039)

摘要: 证券投资的目的是实现收益最大化的同时将风险降到最低。针对风险态度不同的投资者,本文利用经济模型预测控制(EMPC)研究多目标证券投资组合问题,通过 Utopia 跟踪法求解得到不同风险态度下保证收益最大化和风险最小化的多目标证券投资组合策略。最后,通过仿真验证了该策略的有效性。

关键词: 多目标优化;证券投资组合;经济模型预测控制;Utopia 跟踪法;风险规避系数

中图分类号: F224.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-8020(2023)02-0153-06

证券投资组合是将持有资金投资于若干项资产,如股票、债券等,以达到收益最大化和风险最小化的投资目标^[1]。收益和风险是影响投资者进行投资决策的因素,文献[2—3]仅考虑了风险最小化的投资目标。由于投资者对待风险的不同态度影响其对收益和风险的权衡^[4],因此通过引入风险规避系数,研究持不同风险态度的投资者同时实现收益最大化和风险最小化的投资决策。文献[5—12]运用控制理论提出了多阶段投资组合优化问题的最优投资策略,其中模型预测控制采用滚动优化方式,且处理约束能力强;文献[13—18]利用模型预测控制制定实现投资目标的证券投资组合策略。

文献[19]提出利用 Utopia 跟踪法处理模型预测控制中的多个冲突目标,该方法的计算过程不依赖稳态帕累托前沿的构建,易应用于实际证券投资组合系统。但在利用 Utopia 跟踪法求解多目标证券投资组合问题中,收益最大化和风险最小化的投资目标相互冲突,投资目标函数在投资平衡点不为零,利用预测控制得到的最优证券投资组合策略通常不能获得稳定的投资组合财富。因此,可以将多目标证券投资组合问题作为一类特殊的经济模型预测控制问题进行求解。

文献[20]提出“经济模型预测控制”这一概念。文献[21]证明了当代价函数在最优稳态下具有非零梯度,且模型预测控制满足正则性条件时,经济最优的标称稳定性是无法实现的,因此,EMPC 的平均性能必然比跟踪模型预测控制差。为解决这一问题,通过引入线性终端惩罚来修正稳态点梯度,提高经济最优稳态的一致指数稳定性。文献[22]引入最优平衡点的正定辅助函数,利用 Utopia 跟踪法得到具有多个经济性能指标的稳定多目标经济模型预测控制策略;文献[23]针对一类存在不可达状态的非线性切换系统,利用基于耗散的 EMPC 辅助经济指标,得到逼近原经济性能指标的切换控制策略;文献[24]针对存在有界扰动的约束非线性系统,利用微分对策理论优化相互冲突的经济性能指标和鲁棒稳定性指标,保证有界扰动下闭环系统的 ISS 稳定性。

本文基于 EMPC 方法,提出证券投资组合策略。通过构造带有终端惩罚的代价函数,求解终端约束下的有限时域 EMPC 问题,得到不同风险态度下同时满足收益最大化和风险最小化的多目标证券投资组合策略。

1 证券投资组合模型

考虑由 n 项风险资产和 1 项无风险资产组成的投资组合。假设投资过程包含多个阶段,在每一个

收稿日期:2022-01-04;修回日期:2022-12-01

基金项目:山东省自然科学基金(ZR2020MF063)

通信作者简介:刘晓华(1959—),男,教授,硕士研究生导师,博士,研究方向为系统控制与优化。E-mail:xhliu@ldu.edu.cn

阶段投资者获取新的资产信息,并通过买入或卖出部分资产应对新的市场状态(允许卖空)。

将文献[3]模型中 k 时刻第 i 项风险资产的买入金额 $u_i^+(k)$ 和卖出金额 $u_i^-(k)$ 合并,记为 $u_i(k)$,其中, $u_i(k) > 0$ 和 $u_i(k) < 0$ 分别为投资者在 k 时刻买入、卖出第 i 项风险资产的金额, $u_i(k) = 0$ 表示不交易的情形。则投资者持有第 i 项风险资产的价值为

$$x_i(k+1) = (1 + \eta_i(k+1)) (x_i(k) + u_i(k)), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

其中, $\eta_i(k+1)$ 为第 i 项风险资产在 $[k, k+1]$ 的收益率。

同样地,投资者持有无风险资产的价值为

$$x_{n+1}(k+1) = (1 + r_1) (x_{n+1}(k) + u_{n+1}(k)), \quad (2)$$

其中, r_1 为无风险资产收益率, $u_{n+1}(k) \geq 0$ 为 k 时刻投资无风险资产的金额。

假设投资者在需要时借入资金,借款金额的动态变化为

$$x_{n+2}(k+1) = (1 + r_2) (x_{n+2}(k) + u_{n+2}(k)), \quad (3)$$

其中: r_2 为无风险借款利率,且 $r_1 < r_2$; $u_{n+2}(k)$ 为 k 时刻的借款金额。

综上, k 时刻的投资组合总财富表示为

$$y(k) = \sum_{i=1}^{n+1} x_i(k) - x_{n+2}(k). \quad (4)$$

对于证券投资组合系统(1)~(4),令 $\mathbf{x}(k) = [x_1(k) \quad x_2(k) \quad \dots \quad x_{n+2}(k)]^T$ 为投资组合系统在 k 时刻的状态向量, $\mathbf{u}(k) = [u_1(k) \quad u_2(k) \quad \dots \quad u_{n+2}(k)]^T$ 为输入向量,投资组合总财富 $y(k)$ 为 k 时刻的输出变量。那么,证券投资组合模型可以写为下列状态空间形式:

$$\begin{cases} \mathbf{x}(k+1) = \mathbf{A}(k)\mathbf{x}(k) + \mathbf{B}(k)\mathbf{u}(k), \\ y(k) = \mathbf{C}\mathbf{x}(k), \end{cases} \quad (5)$$

其中: $\mathbf{A}(k) = \text{diag}\{1 + \eta_1(k), \dots, 1 + \eta_n(k), 1 + r_1, 1 + r_2\}$ 为系统矩阵; $\mathbf{B}(k)$ 为输入矩阵,满足 $\mathbf{B}(k) = \mathbf{A}(k)$; $\mathbf{C} = [1 \quad \dots \quad 1 \quad -1]$ 为输出矩阵。

由于无风险资产的价值和借款金额至少为零(若无风险资产的价值小于零,投资者不会进行投资;若借款金额小于零,则此项资产变为收益率为 r_2 的无风险资产),则 $x_{n+1}(k+1) \geq 0, x_{n+2}(k+1) \geq 0$ 。由于本文允许卖空,设卖空金额为 $d_i(k) \geq 0$;为保证证券市场交易秩序,假设交易金额受到限制。因此,可以得到:

$$\begin{cases} x_{n+1}(k) + u_{n+1}(k) \geq 0, \\ x_{n+2}(k) + u_{n+2}(k) \geq 0, \\ x_i(k) + u_i(k) \geq -d_i(k), \quad i = 1, 2, \dots, n, \\ \mathbf{u}_{\min} \leq \mathbf{u}(k) \leq \mathbf{u}_{\max}, \end{cases} \quad (6)$$

其中, $\mathbf{u}_{\min} = [u_{\min,1} \quad u_{\min,2} \quad \dots \quad u_{\min,n+2}]^T, \mathbf{u}_{\max} = [u_{\max,1} \quad u_{\max,2} \quad \dots \quad u_{\max,n+2}]^T, u_{\min,i}, u_{\max,i} (i = 1, 2, \dots, n+2)$ 分别为各项资产的最低和最高交易金额。

2 多目标证券投资组合问题

投资者的投资目的是获得较高投资收益的同时使投资风险尽可能低,因此,本文研究如何制定证券投资策略,使投资者在保证投资收益最大化的同时,尽可能降低投资风险,以实现期望投资目标。

2.1 考虑收益最大化和风险最小化的证券投资组合问题

收益最大化的投资目标:

$$\min_{\mathbf{u}(k)} L_1(\mathbf{x}(k), \mathbf{u}(k)) = \min_{\mathbf{u}(k)} \left\{ -\boldsymbol{\eta}^T(k+1) (\mathbf{x}(k) + \mathbf{u}(k)) \right\}, \quad (7)$$

其中, $\boldsymbol{\eta}(k+1) = [\eta_1(k+1) \ \cdots \ \eta_n(k+1) \ r_1 \ -r_2]^T$ 。

将实际投资组合财富与参考投资组合财富的误差和交易金额进行加权,以衡量证券投资组合的风险,则风险最小化的投资目标为:

$$\min_{\mathbf{u}(k)} L_2(\mathbf{x}(k), \mathbf{u}(k)) = \min_{\mathbf{u}(k)} \gamma (y(k) - V^0(k))^2 + \mathbf{u}^T(k) \mathbf{R} \mathbf{u}(k), \quad (8)$$

其中: γ 为实际投资组合财富与参考投资组合财富的误差权系数, \mathbf{R} 为交易金额加权矩阵; $V^0(k) = (1 + \mu_0)^k V^0(0)$ 表示参考投资组合财富, $V^0(0)$ 表示初始参考投资组合财富, μ_0 表示参考收益率。

假设在投资初始时刻,投资组合价值为 $\mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0 = [x_{0,1} \ x_{0,2} \ \cdots \ x_{0,n+2}]^T$, 其中 $x_{0,i} (i = 1, 2, \dots, n+2)$ 为各项资产的初始价值。在实际证券投资组合过程中,高收益往往伴随着高风险,因此收益最大化与风险最小化两个投资目标是相互冲突的,往往不能同时实现,因此,在投资末期投资组合价值只能保证具有尽可能高的收益和尽可能低的风险,即:

$$\mathbf{x}(N) \in \Omega, \Omega = B(\mathbf{x}^s, \delta), \quad (9)$$

其中: N 为投资阶段数, $\mathbf{x}(N)$ 表示末期投资组合价值; Ω 表示投资末期投资组合价值的范围, $B(\mathbf{x}^s, \delta)$ 是中心为 \mathbf{x}^s (\mathbf{x}^s 为稳态平衡点), 半径为 δ 的球域。

令 $Z_{N,p} = \{ (\mathbf{x}(k), \mathbf{u}(k)) \mid (\mathbf{x}(k), \mathbf{u}(k)) \text{ s.t. 式(6)}, \forall k \in \mathbf{Z}_{0:N-1}, (\mathbf{x}(N), \mathbf{u}(N)) \in \Omega \}$, 则 $X_{N,p} = \{ \mathbf{x}(k) \mid \text{存在 } \mathbf{u}(k), \text{ 使得 } (\mathbf{x}(k), \mathbf{u}(k)) \in Z_{N,p} \}$ 。

投资目标为:(a) 收益最大化;(b) 风险最小化。由此,得到多目标证券投资组合问题为:

$$\begin{cases} \min_{\mathbf{u}(k)} [L_1(\mathbf{x}(k), \mathbf{u}(k)) \ L_2(\mathbf{x}(k), \mathbf{u}(k))]^T, \\ \text{s.t.} \begin{cases} \mathbf{x}(k+1) = \mathbf{A}(k)\mathbf{x}(k) + \mathbf{B}(k)\mathbf{u}(k), y(k) = \mathbf{C}\mathbf{x}(k), \\ (\mathbf{x}(k), \mathbf{u}(k)) \in Z_{N,p}, \mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0, \mathbf{x}(N) \in \Omega. \end{cases} \end{cases} \quad (10)$$

2.2 基于 Utopia 跟踪法的多目标证券投资组合问题

在证券投资过程中,投资目标(a)与(b)冲突。对于此类涉及两个及以上目标的预测控制问题,Victor 提出 Utopia 跟踪法对其进行求解^[19]。

定义 1^[25] 多目标问题(10)的一个可行点 $(\mathbf{x}^p, \mathbf{u}^p)$ 是帕累托最优的,当且仅当不存在其他的可行点 $(\mathbf{x}(k), \mathbf{u}(k))$, 使得 $L_i(\mathbf{x}(k), \mathbf{u}(k)) \leq L_i(\mathbf{x}^p, \mathbf{u}^p), \forall i \in \{1, 2\}$, 且对于至少一个指标 $i \in \{1, 2\}$, 有 $L_i(\mathbf{x}(k), \mathbf{u}(k)) < L_i(\mathbf{x}^p, \mathbf{u}^p)$ 。

定义 2^[17] 若帕累托的解集合不是空集,则该集合在代价空间中的边界称作帕累托前沿。

稳态 Utopia 点由代价空间中分量 $L_i(\mathbf{x}_i^{L^s}, \mathbf{u}_i^{L^s}) (i = 1, 2)$ 的解 $(\mathbf{x}_i^{L^s}, \mathbf{u}_i^{L^s})$ 确定,其中 $L_i(\mathbf{x}_i^{L^s}, \mathbf{u}_i^{L^s}) (i = 1, 2)$ 由问题(10)的解给出。Utopia 点记为 $L^{L^s} = [L_1^{L^s} \ L_2^{L^s}]^T$, 尽管问题(10)中投资目标是冲突的,即 Utopia 点是不可到达的,但 Utopia 点可作为一个参考点加以利用。

稳态折衷解 $(\mathbf{x}^s, \mathbf{u}^s)$ 由下述最小距离问题的解 $L(\mathbf{x}^s, \mathbf{u}^s)$ 给出:

$$\begin{cases} \min_{\mathbf{u}(k)} \| \mathbf{L}(\mathbf{x}(k), \mathbf{u}(k)) - L^{L^s} \|_{\mathcal{Q}(y(k), k)}^2, \\ \text{s.t.} \begin{cases} \mathbf{x}(k+1) = \mathbf{A}(k)\mathbf{x}(k) + \mathbf{B}(k)\mathbf{u}(k), y(k) = \mathbf{C}\mathbf{x}(k), \\ (\mathbf{x}(k), \mathbf{u}(k)) \in Z_{N,p}, \mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0, \mathbf{x}(N) \in \Omega, \end{cases} \end{cases} \quad (11)$$

其中:

$$\mathbf{L}(\mathbf{x}(k), \mathbf{u}(k)) = [L_1(\mathbf{x}(k), \mathbf{u}(k)) \ L_2(\mathbf{x}(k), \mathbf{u}(k))]^T,$$

$$\| \mathbf{L}(\mathbf{x}(k), \mathbf{u}(k)) - L^{L^s} \|_{\mathcal{Q}(y(k), k)}^2 = [\mathbf{L}(\mathbf{x}(k), \mathbf{u}(k)) - L^{L^s}]^T \mathbf{Q}(y(k), k) [\mathbf{L}(\mathbf{x}(k), \mathbf{u}(k)) - L^{L^s}];$$

$\mathbf{Q}(y(k), k) = \begin{bmatrix} q_1 & 0 \\ 0 & q_2(y(k), k) \end{bmatrix}$ 为 Utopia 跟踪权矩阵; $q_2(y(k), k) = \frac{c}{y(k)}$ 为风险规避系数,衡量投

资者对投资风险的态度。

这样,多目标证券投资组合问题(10)就转化为形如式(11)的 Utopia 跟踪问题。

3 基于 EMPC 的最优证券投资组合策略

由于投资目标(a)与(b)冲突,问题(11)中的目标函数在稳态平衡点 \mathbf{x}^s 不为零,即该目标函数在稳态平衡点 \mathbf{x}^s 不是正定的,因此,下面利用基于多目标优化的 EMPC 制定最优投资组合策略。

令经济性能函数为

$$L_e(\mathbf{x}(k), \mathbf{u}(k)) = \|\mathbf{L}(\mathbf{x}(k), \mathbf{u}(k)) - \mathbf{L}^{L^s}\|_{\mathbf{Q}(y(k), k)}^2 \quad (12)$$

为保证各项投资资产的末期价值在球域 Ω 内,对超出此球域的情形设置代价函数,以惩罚远离 Utopia 点的投资组合。进一步定义目标函数为:

$$V_N(\mathbf{x}, \mathbf{u}) = \sum_{j=0}^{N-1} L_e(\mathbf{x}(k+j|k), \mathbf{u}(k+j|k)) + V_f(\mathbf{x}(N|k)), \quad (13)$$

其中, $V_f(\mathbf{x}(N|k))$ 为惩罚远离 Utopia 点的投资组合的终端代价函数。那么,多目标证券投资组合问题可表示为如下的 EMPC 问题:

$$\begin{cases} \min_{\mathbf{u}(k)} V_N(\mathbf{x}(k), \mathbf{u}(k)), \\ \text{s.t.} \begin{cases} \mathbf{x}(k+1) = \mathbf{A}(k)\mathbf{x}(k) + \mathbf{B}(k)\mathbf{u}(k), y(k) = \mathbf{C}\mathbf{x}(k), \\ (\mathbf{x}(k), \mathbf{u}(k)) \in \mathbf{Z}_{N,p}, \mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0, \mathbf{x}(N) \in \Omega. \end{cases} \end{cases} \quad (14)$$

通过在每个采样时刻求解 EMPC 问题(14),得到最优控制序列

$$\mathbf{u}^*(k) = [\mathbf{u}^*(k|k) \quad \mathbf{u}^*(k+1|k) \quad \cdots \quad \mathbf{u}^*(k+N-1|k)]^T,$$

将该序列的第一个控制 $\mathbf{u}^*(k|k)$ 施加于证券投资组合系统,得到反馈控制律为 $\mathbf{k}(\mathbf{x}(k)) = \mathbf{u}^*(k|k)$, 此时证券投资组合系统(5)为

$$\begin{cases} \mathbf{x}(k+1) = \mathbf{A}(k)\mathbf{x}(k) + \mathbf{B}(k)\mathbf{k}(\mathbf{x}(k)), \\ y(k) = \mathbf{C}\mathbf{x}(k). \end{cases} \quad (15)$$

4 仿真实例

本节通过一个实例来验证控制策略的可行性。仿真数据来自纽约证券交易所 2016 年 9 月—2019 年 11 月的资产数据。

考虑投资者投资 2 项风险资产和 1 项无风险资产,且可以在需要时借入资金。假设无风险资产的利率 $r_1 = 0.002$, 借款利率 $r_2 = 0.003$, 预测时域和控制时域为 5。

投资开始时,假设投资者初期将全部资金投资于无风险资产,因此,各项资产的初始价值为 $x_1(0) = 0$, $x_2(0) = 0$, $x_3(0) = 1$, $x_4(0) = 0$, 投资者的初始财富为 $y(0) = 0$ 。

假设借入资金的数量不超过 $y(k)$, 且禁止卖空,即 $d_0(k) = y(k)$, $d_1(k) = d_2(k) = 0$, $\mathbf{u}_{\min} = [-1 \quad -1 \quad -1 \quad -1]^T$, $\mathbf{u}_{\max} = [1 \quad 1 \quad 1 \quad 1]^T$;取实际投资组合财富与参考投资组合财富的误差权重系数 $\gamma = 0.2$, 交易金额权重矩阵 $\mathbf{R} = \text{diag}\{0.1, 0.1, 0.1, 0.1\}$, 初始参考投资组合财富 $V^0(0) = 1$, 参考收益率 $\mu_0 = 0.001$; 风险爱好者、风险中性者、风险厌恶者的 Utopia 跟踪权重矩阵分别为 $\mathbf{Q}_1(y(k), k) = \text{diag}\{0.8, 0.2y^{-1}(k)\}$, $\mathbf{Q}_2(y(k), k) = \text{diag}\{0.5, 0.5y^{-1}(k)\}$, $\mathbf{Q}_3(y(k), k) = \text{diag}\{0.2, 0.8y^{-1}(k)\}$ 。仿真结果见图 1、2。

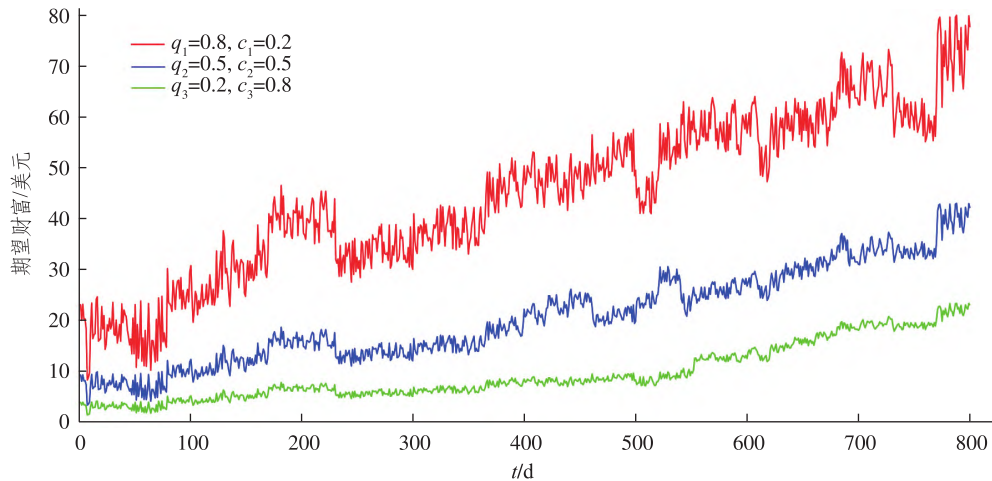


图1 投资组合的期望财富

Fig.1 The expected wealth of portfolio

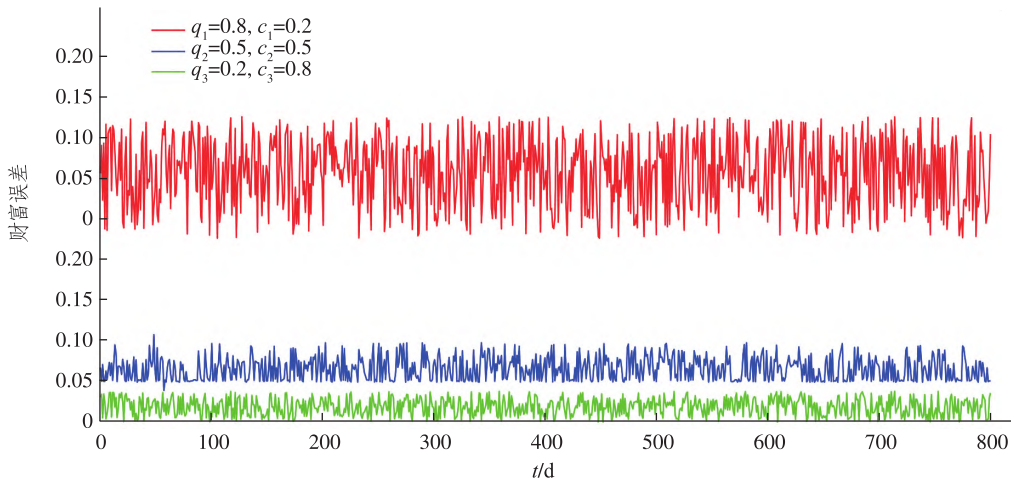


图2 实际投资组合财富与参考投资组合财富误差的平方

Fig.2 The square of the error between actual portfolio wealth and reference portfolio wealth

图1表明,在投资过程中,投资组合财富整体处于增长趋势,即所设计的证券投资组合策略有正的收益,且风险规避系数越小,收益越高;图2表明在制定的投资策略下,投资组合财富的风险处于较低水平,随着风险规避系数增大,风险降低。综合图1、2,本文设计的证券投资组合策略很好地权衡不同风险态度下收益最大化和风险最小化的投资目标。

5 结语

本文基于EMPC提出了一种最优证券投资组合策略,通过Utopia跟踪法求解多目标证券投资组合控制问题。考虑到投资者进行投资决策时存在一定的时间延迟,未来主要考虑存在时间延迟的证券投资组合问题。

参考文献:

- [1] MARKOWITZ H. Portfolio Selection[J]. The Journal of Finance, 1952, 7(1): 77-91.
- [2] DOMBROVSKIY V V, DOMBROVSKIY D V, LYASHENKO E A. Investment portfolio optimisation with transaction costs and constraints using model predictive control[C]//The 8th Russian-Korean International Symposium on Science & Technology, 2004.

- [3] VLADIMIR D, TATIANA P. Design of model predictive control for constrained Markov jump linear systems with multiplicative noises and online portfolio selection[J]. *International Journal of Robust and Nonlinear Control*, 2020, 30(3): 1050–1070.
- [4] PENG L M, CUI X Y, SHI Y. Time-consistent portfolio policy for asset-liability mean-variance model with state-dependent risk aversion[J]. *Journal of the Operations Research Society of China*, 2018, 6(1): 175–188.
- [5] DOMBROVSKII V V, LYASHENKO E A. A linear quadratic control for discrete systems with random parameters and multiplicative noise and its application to investment portfolio optimization[J]. *Automation and Remote Control*, 2003, 64(10): 1558–1570.
- [6] GANDOLFI G, SABATINI A, ROSSOLINI M. PID feedback controller used as a tactical asset allocation technique: the G.A.M. model[J]. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 2007, 383(1): 71–78.
- [7] MALEKPOUR S, PRIMBS J A, BARMISH B R. A generalization of simultaneous long-short stock trading to PI controllers[J]. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 2018, 63(10): 3531–3536.
- [8] EASTHAM J F, HASTINGS K J. Optimal impulse control of portfolios[J]. *Mathematics of Operations Research*, 1988, 13(4): 588–605.
- [9] HU Y, ZHOU X Y. Constrained stochastic LQ control with random coefficients, and application to portfolio selection[J]. *SIAM Journal on Control and Optimization*, 2005, 44(2): 444–466.
- [10] GAO J J, LI D, CUI X Y, et al. Time cardinality constrained mean-variance dynamic portfolio selection and market timing: a stochastic control approach[J]. *Automatica*, 2015, 54: 91–99.
- [11] MARCOZZI M D. Stochastic optimal control of ultradiffusion processes with application to dynamic portfolio management[J]. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 2008, 222(1): 112–127.
- [12] FEI W. Optimal control of uncertain stochastic systems with Markovian switching and its applications to portfolio decisions[J]. *Cybernetics and Systems*, 2014, 45(1): 69–88.
- [13] QIN S J, BADGWELL T A. A survey of industrial model predictive control technology[J]. *Control Engineering Practice*, 2003, 11(7): 733–764.
- [14] MAYNE D Q, RAWLINGS J B, RAO C V, et al. Constrained model predictive control: stability and optimality[J]. *Automatica*, 2000, 36(6): 789–814.
- [15] MORARI M, BARIC M. Recent developments in the control of constrained hybrid systems[J]. *Computers & Chemical Engineering*, 2006, 30(10/11/12): 1619–1631.
- [16] MORARI M, LEE J H. Model predictive control: past, present and future[J]. *Computers and Chemical Engineering*, 1999, 23(4): 667–682.
- [17] HENSON M A. Nonlinear model predictive control: current status and future directions[J]. *Computers & Chemical Engineering*, 1998, 23(2): 187–202.
- [18] BEMPORAD A, PENA D M. Multiobjective model predictive control[J]. *Automatica*, 2009, 45(12): 2823–2830.
- [19] ZAVALA V M, ANTONIO F T. Stability of multiobjective predictive control: a utopia-tracking approach[J]. *Automatica*, 2012, 48(10): 2627–2632.
- [20] RAWLINGS J B, AMRIT R. Optimizing process economic performance using Model Predictive Control[J]. *Nonlinear Model Predictive Control: Towards New Challenging Applications*, 2009, 384: 119–138.
- [21] ZANON M, FAULWASSER T. Economic MPC without terminal constraints: gradient-correcting and penalties enforce asymptotic stability[J]. *Journal of Process Control*, 2018, 63: 1–14.
- [22] 何德峰. 约束非线性系统稳定经济模型预测控制[J]. *自动化学报*, 2016, 42(11): 1680–1690.
- [23] 杨亚茹, 李少远. 切换非线性系统全局优化运行的经济预测控制[J]. *自动化学报*, 2017, 43(6): 1017–1027.
- [24] 何德峰, 韩平, 王青松. 有界扰动下约束非线性系统鲁棒经济模型预测控制[J]. *自动化学报*, 2022, 48(2): 572–581.
- [25] CHINCHULUUN A, PARDALOS P M. A survey of recent developments in multiobjective optimization[J]. *Annals of Operations Research*, 2007, 154(1): 29–50.

(下转第 164 页)

Optimization of Anti-breast Cancer Drugs Based on Random Forest Model and Genetic Algorithm

REN Jingying, MA Chengman, BI Sixu, SHAO Xigao

(School of Mathematics and Statistics Science, Ludong University, Yantai 264039, China)

Abstract: Breast cancer is one of the most common and deadly cancers in the world. In this paper, a stochastic forest model is established to quantitatively predict the biological activity of compounds while considering the nonlinear relationship among molecular descriptors. In order to find the optimal value of molecular descriptors, the genetic algorithm was used to classify and predict the properties of ADMET based on the roulette strategy, which provides a prediction service for optimizing the biological activity of antagonists. The study result shows that: the established random forest model with appropriate has high prediction accuracy, and the reference value of the model is effectively improved; the optimal value of the dependent variable is found accurately through several iterations of the genetic algorithm, which provides theoretical reference and data support for the research of anti-breast cancer drugs.

Keywords: random forest; genetic algorithm; breast cancer; biological activity

(责任编辑 顾建忠)

(上接第 158 页)

Abstract ID: 1673-8020(2023)02-0153-EA

Security Portfolio Strategy Based on Economic Model Predictive Control

MA Xiaohan, LIU Xiaohua, GAO Rong

(School of Mathematics and Statistics Science, Ludong University, Yantai 264039, China)

Abstract: The purpose of security portfolio is to maximize returns and minimize risks. For investors with different risk attitudes, the problem of multi-objective security portfolio is studied by using economic model predictive control. Utopia-tracking method was introduced to solve this problem, and a multi-objective security portfolio strategy considering both return maximization and risk minimization under different risk attitudes is ensured. Finally, the effectiveness of the proposed strategy was verified by the simulation.

Keywords: multi-objective optimization; security portfolio; economic model predictive control (EMPC); Utopia-tracking method; risk aversion coefficient

(责任编辑 顾建忠)