第19卷 第7期 控 制 与 决 策 2004年7月
Vol 19 No. 7 Control and Decision July 2004

文章编号: 1001-0920(2004)07-0756-03

企业投融资组合的模糊模型与优化

黄小原, 赵光华, 庄新田
(东北大学 工商管理学院, 辽宁 沈阳 110004)

摘 要: 以投资组合产出率及目前流行的风险价值VAR 为目标函数, 研究了在这两个目标下企业投融资组合管理的模糊模型和优化问题, 说明了决策变量是财务杠杆和债务结构. 给出了金融市场不确定性环境的构造过程, 运用进化规划进行优化计算, 对不同模糊程度下的债务结构、财务杠杆及其股东权益资本产出率进行了仿真.

关键词: 财务杠杆; 债务结构; 风险价值; 模糊规划; 进化规划
中图分类号: C931 **文献标识码**: A

Fuzzy model and optimization of enterprise investment combination

HUANG Xiao-yuan, ZHAO Guang-hua, ZHUANG Xin-tian
(Faculty of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110004, China. Correspondent: HUANG Xiao-yuan, E-mail: hxy1947@sina.com)

Abstract: Taking the return on equity of investment combination and the value at risk VAR as the objective function, the problem of investment combination management fuzzy model and optimization financial product are studied. Decision variables are financial leverage and debt structure. The constuction process of uncertain financial market environment is presented. The evolution programming is applied to waged the optimization calculation actual example. Simulations of debt structure, financial leverage and assets profit rate of stockholder rights and interests under varying degrees are discussed.

Key words: financial leverage; debt structure; value at risk; fuzzy programming; evolution programming

1 引 言

近年来, 随着金融活动逐步的国际化和自由化, 如何测量与防范金融风险, 将风险管理纳入资产负债管理体系问题, 已引起越来越多的机构投资者的关注. 文献[1,2]研究了金融产品的设计和组合管理的技术, 即在利率自由化市场条件下, 选择企业的债务结构和金融杠杆, 以确保在不确定性金融环境下, 企业获取最大化的资产盈利. 但将该模型运用于实际时, 存在两个问题: 一是模型涉及效用函数的选择问题, 即对不同的投资者其效用函数不同, 使模型不便求解; 二是在不确定性的金融环境下, 很难保证对金融杠杆的非负要求.

作为效用函数及风险的替代因素, 本文提出以资本产出率的期望值、风险价值为目标函数的二目标规划模型, 采用模糊规划描述投资者对期望水平的满意度, 并运用进化规划给出了仿真案例.

2 投资组合管理的模型

以资本产出率的期望值 $F(x)$ 和风险价值 $\mathrm{VAR}(x)$ 为目标函数的二目标规划模型构造如下:

收稿日期: 2003-09-01; **修回日期**: 2003-10-29.
基金项目: 辽宁省自然科学基金资助项目(9910200208).
作者简介: 黄小原(1947—), 男, 河南罗山人, 教授, 博士生导师, 从事金融工程、决策科学理论方法等研究; 赵光华(1952—), 男, 重庆人, 博士生, 从事管理科学与工程的理论方法应用研究.

$$\max F(x) = \frac{1}{N}\sum_{s=1}^{N} \mathrm{ROE}^s, \quad (1)$$

$$\min \mathrm{VAR}(x), \quad (2)$$

$$\text{s.t.}\ D + E = C, \quad (3)$$

$$X \geq 0, E > 0. \quad (4)$$

目标函数 $F(x)$ 的金融意义是所有不确定性金融环境集合 $S = \{1, 2, \cdots, N\} \in \Omega$ 下, 资本产出率

$$\mathrm{ROE}^s = \frac{(D + E) r_A^s - R_L^s}{E} \quad (5)$$

的平均值. 其中: E 为资本; $D = \pi^T X$ 为企业发行债务的总筹资量, $\pi^T = (\pi_1, \pi_2, \cdots, \pi_n)$ 为 n 种金融产品发行价格组成的向量, $X^T = (x_1, x_2, \cdots, x_n)$ 为 n 种金融产品发行数量组成的向量; r_A^s 为投资组合产出率; $R_L^s = (R^s)^T X$ 为总负债量, $(R^s)^T = (r_1^s, r_2^s, \cdots, r_n^s)$ 为 n 种金融产品成本率组成的向量; 资本产出率 ROE^s、投资组合产出率 r_A^s 及总负债量 R_L^s 均为不确定环境下的金融变量.

式(3) 给出了资产总和的要求, C 为一个资产常数, D/E 为不同债务结构下金融杠杆的一个数量描述. 式(4) 给出了非做空机制的市场环境. 式(2) 给出了风险价值 VAR, VAR 是金融机构衡量市场投资风险的一个综合指标, 其含义是在给定的时间间隔, 置信水平及正常市场条件下, 投资组合的潜在期望损失, 即

$$\mathrm{Prod}(\Delta P > -\mathrm{VAR}) = 1 - \alpha \quad (6)$$

其中: ΔP 为投资组合在单位时期内的市价变动额, VAR 为置信水平 α 下的风险价值.

对于一般的概率分布, 可通过以下步骤计算风险价值. 设 D_0 表示投资组合的初始价值, R 代表收益率, 则在持有期终点投资组合价值为 $D = D_0(1 + R)$. 假设在置信水平 α 下, 投资组合的最低价值为 $D^* = D_0(1 + R^*)$. 将 VAR 定义为

$$\mathrm{VAR} = D_0 - D^* = -D_0 R^*. \quad (7)$$

计算 VAR 相当于识别最低价值 D^* 或其对应的收益率 R^*. 考虑到投资组合各资产收益率间的相关性, 本文采用蒙特卡洛模拟法计算 VAR, 计算详见文献[3, 4].

对上述模型求解, 可采用近年来推行的对话型方法[5], 根据投资者的期望水平, 采用试算的方式, 但要求所涉及的变量都取确定的数值. 在不确定性金融环境下, 无论收益还是风险都难以用准确数值给定. 为将目标偏差反映到模型中, 下面对目标期望收益及风险运用模糊的概念进行分析.

3　模糊环境下的投资组合管理模型

本文采用 S 型函数, 定义其隶属函数如下: 资本产出率期望值 $F(x)$ 的隶属函数

$$\mu_F[F(x)] = \frac{1}{1 + \exp[-\alpha_F(F(x) - F_M)]}, \quad (8)$$

风险价值 VAR(x) 的隶属函数

$$\mu_V[\mathrm{VAR}(x)] = \frac{1}{1 + \exp[-\alpha_V(\mathrm{VAR}(x) - \mathrm{VAR}_M)]}. \quad (9)$$

式中: F_M 为目标期望资本产出率隶属度 $\lambda = 0.5$ 时的期望资本产出率, VAR_M 为给定置信水平 α 下, 目标风险隶属度 $\lambda = 0.5$ 时的损失率, α_F 和 α_V 分别为决定隶属函数形状的参数, $\alpha_F > 0, \alpha_V > 0$.

使用上述 S 型隶属函数, 按文献[6] 的模糊决策定义, 将目标期望资本产出率及目标风险的隶属函数展开, 得到如下的参数规划:

$$\begin{aligned} &\max \lambda, \\ &\text{s.t.}\ \lambda + \exp[-\alpha_F(F(x) - F_M)]\lambda \leq 1, \\ &\quad \lambda + \exp[-\alpha_V(\mathrm{VAR}(x) - \mathrm{VAR}_M)]\lambda \leq 1, \\ &\quad D + E = C, \\ &\quad \lambda > 0, X \geq 0, E > 0. \end{aligned} \quad (10)$$

式中 λ 为对给定的目标期望资本产出率及目标风险, 投资者对投资组合结果的满意程度. λ 值越大, 表示投资者的满意程度越高.

式(10) 中的约束条件含有指数函数, 为简化计算作如下变换:

$$\alpha_F(F(x) - F_M) \geq \ln\frac{\lambda}{1 - \lambda},$$

$$\alpha_V[\mathrm{VAR}(x) - \mathrm{VAR}_M] \geq \ln\frac{\lambda}{1 - \lambda}.$$

令 $\ln\frac{\lambda}{1-\lambda} = \lambda_0$, 则 $\lambda = \frac{1}{1 + \exp(-\lambda_0)}$.

因 S 型函数为单调递增函数, 求 λ 最大值等价于求 λ_0 最大化, 所以式(10) 与式(11) 同解.

$$\begin{aligned} &\max \lambda_0, \\ &\text{s.t.}\ \alpha_F F(x) - \lambda_0 \geq \alpha_F F_M, \\ &\quad \alpha_V \mathrm{VAR}(x) - \lambda_0 \geq \alpha_V \mathrm{VAR}_M, \\ &\quad D + E = C, \\ &\quad \lambda_0 > 0, X \geq 0, E > 0. \end{aligned} \quad (11)$$

令 F_L 和 F_U 分别表示投资组合期望产出率的最低水平和满意水平, VAR_L 和 VAR_U 分别表示风险价值的最低水平和满意水平. 因 F_M 和 VAR_M 分别对应隶属度 $\lambda_0 = 0.5$ 时的期望产出率及风险价值, 所以取 $F_M = (F_L + F_U)/2$, $\mathrm{VAR}_M = (\mathrm{VAR}_L + \mathrm{VAR}_M)/2$.

4 仿真环境

上述投资组合模型的设计及其优化是在不确定性环境下运行的. 考虑到不确定性环境和进化规划, 问题的仿真环境设计如下:

Step 1: 不确定性环境的生成. 设置不确定性环境的项数 N, 生成不确定环境 $s = \{1, 2, \cdots, N\} \in \Omega$.

Step 2: 按照不确定性环境生成投资组合产出率 r_A^s 和金融产品成本率 R^s. 在金融市场中, 某项投资项目或投资工具的潜在交易双方人数众多, 形成的价格分布可看成服从正态分布. 故这里提出采用高斯噪音方式直接产生投资组合产出率 r_A^s, 即

$$r_A^s = 1 + \mathrm{rand}(e_A, \sigma_A^2), \tag{12}$$

其中 $\mathrm{rand}(e_A, \sigma_A^2)$ 是均值为 e_A、方差为 σ_A^2 的高斯白噪声. 同样, 各个金融产品成本率产生方式如下:

$$R^s = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathrm{rand}(e_1, \sigma_1^2) \\ \mathrm{rand}(e_2, \sigma_2^2) \\ \vdots \\ \mathrm{rand}(e_n, \sigma_n^2) \end{bmatrix}. \tag{13}$$

其中: R^s 为金融产品成本率的 n 维向量; e_A 和 e_j ($j = 1, 2, \cdots, n$) 的金融意义为资产收益率和负债利率的均值; σ_A^2 和 σ_j^2 为其波动的方差. 均值 e_A, e_j 和方差 σ_A^2, σ_j^2 则需设置初始值.

Step 3: 计算 $\mathrm{VAR}(x)$.

Step 4: 设计投资组合优化问题适应度函数 $G(X)$, 即

$$G(X) = \sum_{j=1}^{5} \delta_j F_j. \tag{14}$$

其中

$$F_1 = \lambda_0, F_2 = \alpha_F(F(x) - F_M) - \lambda_0,$$
$$F_3 = \alpha_V(\mathrm{VAR}(x) - \mathrm{VAR}_M) - \lambda_0,$$
$$F_4 = -(D + E - C)^2, F_5 = X^{\mathrm{T}}.$$

δ_j 为比例变换系数.

5 仿真计算

本文采用进化规划对式(14) 求解, 计算步骤详见文献[7]. 各金融变量参数如下:

1) 生成不确定性环境: 取不确定性金融环境 $N = 10$, 资产常数 $C = 100$, 债务产品发行价格 $\pi^{\mathrm{T}} = (0.96, 1.00, 0.98)$, 投资组合产出率 $r_A^s = 1 + \mathrm{rand}(0.22, 0.001)$, 3 种债务产品成本产出率

$$R^s = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathrm{rand}(0.17, 0.001) \\ \mathrm{rand}(0.20, 0.002) \\ \mathrm{rand}(0.18, 0.002) \end{bmatrix}.$$

2) 数据仿真: 设投资组合产出率现期值 $r_{A0}^s = 1.221$, 成本率现期值 $(R_0^s)^{\mathrm{T}} = (1.167, 1.202, 1.179)$ (即实际融投资时的产出率), 置信水平 $\alpha = 0.05$, 蒙特卡洛模拟数量 $m = 200$.

给定 $F_L = 1.22$, $F_U = 1.30$, $\mathrm{VAR}_L = -0.35$, $\mathrm{VAR}_U = -0.05$. 取初始群体 $q = 30$, 进化代数 $T = 100$, 应用进化规划计算结果如表 1 所示.

表 1 进化规划计算结果

α_F	α_V	λ	$F(x)$	$\mathrm{VAR}(x)$	x_1	x_2	x_3	E	D/E
700	600	0.712 6	1.267 7	-0.195 9	18.757 8	16.044 1	33.381 9	32.666 4	2.043 9
650	700	0.654 8	1.264 3	-0.181 3	7.378 9	38.293 5	9.512 9	45.117 2	1.212 4
500	900	0.781 7	1.275 4	-0.187 8	38.696 6	9.285 0	20.086 5	34.177 1	1.934 6
400	1 000	0.830 9	1.285 9	-0.127 2	35.092 5	9.928 7	28.578 0	28.641 0	2.500 7

从表 1 结果可以看出, 在不同的模糊尺度 α_F 和 α_V 下, 可将风险指标 VAR 控制在给定水平以下, 并得出了较高的期望资本产出率.

6 结 语

本文以不确定性金融环境为背景, 研究了金融产品的投资组合模型及其模糊优化问题. 改进了文献[1, 2]的模型, 引入风险价值 VAR, 将全部资产组合的整体风险概括为一个简单数值, 有利于风险的控制与管理. 在我国利率管理正逐步转向利率市场化的环境下, 投资者难以准确地预期投资成本及收益, 加大了投资决策的难度. 因而目标期望收益率及风险适于采用模糊的概念, 其解具有如下特征: 与标准差和效用函数相比, 选用 VAR 作为风险指标对风险的描述直观、简单, 明确了投资组合的潜在损失大小; 通过收益率、风险的最低水平和满意水平的取值, 直观地反映出投资者对收益率、风险的态度及承受能力; 参数 α_F 和 α_V 反映投资者对目标期望收益率及风险的模糊尺度, 其取值越大, 模糊尺度越小, 更好地反映出投资者对目标值的取值意图.

(下转第 763 页)

数确定时相比明显变差, 而用本文方法设计的控制器在适当的 g 值下, 可保证跟踪误差与模型确定时接近, 需要指出的是, 此时跟踪误差主要来源于参考模型的相位滞后. 这个结果验证了该方法对参数不确定机器人控制的有效性.

6　结　论

本文提出的机器人鲁棒分散控制器是具有两环结构的线性时不变控制器. 该控制器仅需要位置反馈, 避免了速度反馈可能带来的量测噪声等问题. 因为鲁棒补偿器是基于内部信号产生的, 因而不需要已知不确定模型的具体形式. 更重要的是, 控制器的调节参数只需作单方向调整, 使得本方法具有独特的优势, 即可实现控制参数的在线调整且不必估算不确定上界. 这些特点使该控制器具有良好的适应性, 易于工程实现.

参考文献(References):

[1] Sage H G, De Mathelin M F. Robust control of robot manipulators: A survey[J]. *Int J Control*, 1999, 72(16): 1498-1522.

[2] Liu M. Decentralized PD and robust nonlinear control for robot manipulators[J]. *J of Intelligent and Robotic Systems: Theory & Applications*, 1997, 20(2-4): 319-332.

[3] Tang Y, Guerrero G. Decentralized robust control of robot manipulators[A]. *ACC98*[C]. Philadephia, 1998. 922-926.

[4] Fu L C. Robust adaptive decentralized control of robot manipulators[J]. *IEEE Trans on Automatic Control*, 1992, 37(1): 106-110.

[5] 代颖, 施颂椒. 基于非线性滑动模的机器人鲁棒自适应分散控制策略[J]. 上海交通大学学报, 2000, 34(12): 1694-1698.
(Dai Y, Shi S J. Robust adaptive decentralized control strategies for robot manipulators based on nonlinear sliding mode[J]. *J of Shanghai Jiaotong University*, 2000, 34(12): 1694-1698.)

[6] 王洪斌, 宋佐时. 一种改进的机器人鲁棒自适应分散控制策略[A]. *WCICA* 2002[C]. Shanghai, 2002. 664-667.

[7] Wang J Q, Wend H D. Robust decentralized control of robot manipulators[J]. *Int J Systems Science*, 1999, 30(3): 323-330.

[8] 唐朝晖, 吴敏, 桂卫华. 基于LMI方法的机器人系统分散鲁棒控制[J]. 高技术通讯, 2000, (8): 76-79.
(Tang Z H, Wu M, Gui W H. Decentralized robust control of robot systems based on LMI approach[J]. *High Technology Letter*, 2000, (8): 76-79.)

[9] 钟宜生. 基于信号补偿的鲁棒控制方法[J]. 清华大学学报, 2003, 43(4): 536-542.
(Zhong Y S. Robust control based on signal compensator[J]. *J of Tsinghua University*, 2003, 43(4): 536-542.)

[10] Zhong Yisheng. Robust output tracking control of SISO plants with multiple operating points and with parametric and unconstructed uncertainties[J]. *Int J of Control*, 2002, 75(4): 219-241.

[11] Zhong Yisheng. Robust tracking control for a class of nonlinear time-varying uncertain systems with unmodelled dynamics[A]. *Proc 21th Chinese Control Conf*[C]. Hangzhou, 2002.

(上接第758页)

参考文献(References):

[1] Consiglo A, Zenios S A. Designing portfolios of financial products VIA integrated simulation and optimization models[J]. *Operation Research*, 1999, 47(2): 195-208.

[2] Homer M R, Zenios S A. The productivity of financial intermediation and the technology of financial product management[J]. *Operation Research*, 1995, 43(6): 970-982.

[3] Dowd K. *Beyond Value at Risk*[M]. New York: John Wiley & Sons, 1998.

[4] 许大志, 郑祖康. 非参数方法在金融风险管理模型中的应用[J]. 系统工程, 1999, 17(5): 25-32.

[5] Konno H, Yamazaki H A. Mean-absolute deviation portfolio optimization model and its application to tokyo stock market[J]. *Management Science*, 1991, 37(5): 519-531.

[6] 方述诚, 汪定伟. 模糊数学与模糊优化[M]. 北京: 科学出版社, 1997. 248-252.

[7] 周明, 孙树林. 遗传算法原理及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999. 172-174.