

金融市场联动形态结构的非线性分析^①

沈传河¹, 王向荣²

(1. 山东女子学院金融工程研究所, 济南 250300; 2. 山东科技大学金融工程研究所, 青岛 266510)

摘要: 从微观层面分析货币市场与资本市场的联结问题, 通过构建支持向量机(SVM)和Copula函数的集成系统, 研究金融市场联结途径与形态结构, 深层次挖掘两个市场互动的规律. 针对金融时间序列的非线性、非平稳特性, 利用改进的样本加权支持向量机估计SHIBOR和股票市场价格指数收益率的边缘概率分布函数. 然后, 再采用优选的Copula函数进一步分析它们的联合概率分布及其在不同情形下的变化情况, 获得了货币市场与资本市场联动的相依结构与非线性联结的动态特性. 实证分析表明, 1Y-SHIBOR和股票市场价格指数收益率的联合分布概率在两者不同变化方向和幅度上表现出不同的变化规律, 并存在不对称性. 压力测试分析也呈现出相似的结果.

关键词: 货币市场与资本市场; 非线性联结形态; 相依结构; 支持向量机; Copula函数

中图分类号: F830.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2015)02-0066-10

0 引言

货币市场与资本市场在“边际收益率恒等”的经济原则作用下自发地调节资金在市场间的合理流动. 从长期来看, 货币市场与资本市场之间的资金价格存在着均衡关系, 并由此引发了金融市场间的互动. 研究这种互动, 有助于促进金融市场发展和金融管理实践, 因而它正成为国内外专家学者关注的焦点.

关于货币市场与资本市场的联动关系研究, 国内外学者既依据现代经济理论对其进行规范研究, 也运用实证方法进行实证分析.

在国外, 较早地开展了有关货币市场与资本市场联动关系的研究. 1956年, Gordon^[1]就提出了著名的股利定价“戈登方程”(Gorden Equation), 从理论本身说明当前股票价格包含人们对经济未来预期的信息, 揭示了股票市场和货币市

场的内在关系. Fleming等^[2]揭示了股票、货币和3个市场间有较强的波动溢出效应, 且这种效应在1987年股灾之后显著增强. Schwert^[3]研究发现美国股票市场和债券市场的收益和波动性同时变化. 近年来, 国外有关货币市场与资本市场互动表现的研究正逐步深入. Rigobon和Sack^[4]发现金融市场之间的传导过程是多方向的, 股票市场与货币市场的相关关系取决于特定时期市场的地位状况. Ryoo和Smith^[5]也发现韩国的股指期货市场和股票市场具有协整关系. Robert等^[6]发现股票市场和债券市场的互动关系与股票市场状态相关, 股票市场不确定性增大时两者呈负相关. Ehrmann等^[7]和Bernanke与Kuttner^[8]分别证实了货币政策对美国股市具有强烈影响, 货币市场和股票市场间存在风险传染效应.

国内学者在该领域的研究也日益深入. 谢平和廖强^[9]、易纲和王召^[10]围绕货币政策是否关注

① 收稿日期: 2011-05-10; 修订日期: 2014-03-25.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70971079); 国家社会科学规划基金资助项目(13BJY026); 山东省自然科学基金资助项目(ZR2012GM006).

作者简介: 沈传河(1966—), 男, 山东宁阳人, 博士, 副教授. Email: schuanhe@sina.com

资本市场价格,从定性角度分析了货币市场与资本市场的紧密关系.王一萱和屈文洲^[11]发现中国股票市场与货币市场关联程度较低,货币政策的变动对股票市场影响较小.白钦先和汪洋^[12]则认为货币市场和资本市场通过资金联结、价格联结、工具联结以及这些联结下的资金流动关系体现出来,从而奠定了定性分析的框架.而其他学者则采用实证分析的方法探讨了货币市场与资本市场的关系.如汪小亚^[13]通过对我国证券市场、全国银行间同业拆借市场和国债市场中的时间序列数据进行分析与检验,得出了大致相同的结论.殷剑峰^[14]利用向量误差修正模型分析了中国货币市场、国债市场、股票市场指数之间的长期均衡和短期互动关系.郑振龙和张蕾^[15]则运用相关的二维GARCH模型和ACC自回归条件相关模型,对1996年—2006年间中国短期利率与上证综指之间的动态相关性进行了实证分析.结果表明,从2002年起利率与股指之间动态负相关性持续增强,表明我国金融市场逐渐走向成熟.袁超等^[16]揭示了中国股票市场与债券市场相关系数的时变特征,并指出了这种时变特征受到经济运行和宏观政策等外部因素的影响.严敏等^[17]基于协整、误差修正等方法分析了中国期货市场与股票市场的相依互动关系.张金林等^[18]在总结现有文献基础上,运用由协整、Granger检验及VEC-GARCH(1,1)-BEKK模型构成的递进式计量分析框架,分析了中国金融市场间的风险溢出效应,发现市场间存在长期均衡关系和短期互动关系,且多数市场间存在显著的价格溢出和波动溢出效应.

纵观国内外文献,大多数研究仍停留在两个市场的相互依存、相互推进的宏观层面上,缺少微观层次的研究.而且,所用研究方法也大多是GARCH、VAR、协整、误差修正等计量经济学模型.这些方法虽然能够从时间序列角度分析货币市场与资本市场之间的互动关系,但是计量经济学模型本身存在的一些局限,如事先需要假设残差的条件分布以及不能很好地适应金融价格数据的特性,影响了模型分析结果的准确性^[19].

鉴于此,本文利用数据挖掘方法和Copula函数的集成系统,进一步从微观层面研究市场联

结途径与形态结构,深层次挖掘两个市场的联动规律.具体思路是,首先利用刻画金融时间序列非线性、非平稳能力比较强的数据挖掘方法——支持向量机(support vector machines, SVM)估计我国货币市场基础利率SHIBOR分别与上证综合指数及深证成分指数日收益率的概率分布函数,以消除计量经济学方法由于过多假设而造成的边缘分布概率估计不准确的局限性;然后,再采用优选的Copula函数进一步分析它们的联合分布及其在不同情形下的变化情况,以正确把握货币市场与资本市场联动的结构特性.

1 SVM与Copula函数集成系统及其应用

1.1 基于SVM的概率密度估计改进方法

1.1.1 基于SVM的概率密度估计

支持向量机(SVM)是Vapnik等建立的新的机器学习方法^[20].它通过使用结构风险最小化(SRM)代替传统的经验风险最小化(ERM),并使用满足Mercer条件的核函数,把输入空间的数据变换到一高维的Hilbert空间.该方法训练的复杂度与输入空间的维数无关,只与训练的样本数有关,因而在金融数据挖掘领域成为继神经网络之后又一个新的机器学习工具^[21].

给定训练集 $\{x_i, y_i\}, i = 1, 2, \dots, l$,其中输入数据 x 是一个欧式空间 $R^n, y \in R$ 是实数 R 的封闭子集.借助特定的非线性映射 $\phi(x)$,输入数据 x 被映射到高维空间(或称特征空间).那么,支持向量机的任务就是建立决策函数

$$f(x) = W\phi(x) + b$$

引入 ε 不敏感损失函数,即

$$M(y, f(x)) = L(|y - f(x)|_\varepsilon)$$

式中

$$|y - f(x)|_\varepsilon = \begin{cases} 0, & \text{若 } |y - f(x)| \leq \varepsilon \\ |y - f(x)| - \varepsilon, & \text{其他} \end{cases}$$

利用支持向量机解决回归问题,就是求下面的优化问题

$$\min \frac{1}{2} \|W\|^2 + C \left(\sum_{i=1}^l \xi_i^* + \sum_{i=1}^l \xi_i \right) \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
& \text{s.t. } y_i - (W\phi(x_i)) - b \leq \varepsilon + \xi_i, i = 1, 2, \dots, l \\
& (W\phi(x_i)) + b - y_i \leq \varepsilon + \xi_i^*, i = 1, 2, \dots, l \\
& \xi_i^* \geq 0, i = 1, 2, \dots, l \\
& \xi_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, l.
\end{aligned}$$

而利用支持向量机估计概率密度 $f(x)$,可立足概率密度的定义,求解线性算子方程的解^[22-23].由概率密度的定义,密度 $f(x)$ 是积分方程 $\int_{-\infty}^x f(t) dt = F(x)$ 的解.密度函数估计问题的一般形式可描述为在给定的函数集 $\{f(x)\}$ 中,寻找作为上述积分方程的解的函数.由于方程中的概率分布函数 $F(x)$ 未知,而已知条件是一系列给定的独立同分布样本 x_1, x_2, \dots, x_l ,所以,可利用这些样本来构造经验分布函数 $F_l(x)$,即

$$F_l(x) = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \theta(x - x_i) \quad (2)$$

式中

$$\theta(x) = \begin{cases} 1, & \text{若 } x > 0 \\ 0, & \text{其他} \end{cases}$$

于是,可得到对应于给定样本的分布函数的观测值 $(x_1, F_l(x_1)), \dots, (x_l, F_l(x_l))$.

这时,可进行适应线性算子方程求解的变换,并利用文献[24]的残差方法和采用适当的约束条件,得到支持向量和对应的系数,进而估计出概率密度 $f(x)$.

1.1.2 改进方法

同时,为了改进式(1)所示支持向量机的推广能力,对样本进行加权处理.在这里,将改进指数函数取权方法,使改进的样本权值不但能反映指数权重函数所蕴涵的时间折现意义,又可兼顾每个样本在原时间序列中的重要性(即所包含的信息).上述思想可表达为

$$C_i = C \frac{2}{1 + \exp\left(p - 2p \frac{i}{l}\right)} \left(1 + \frac{m_i}{l}\right)$$

式中 C_i 表示加权后第 i 个样本对应的惩罚系数.

$$\frac{2}{1 + \exp\left(p - 2p \frac{i}{l}\right)} \left(1 + \frac{m_i}{l}\right)$$

表示样本权重,其中 p 为上升率,主要反映样本随时间临近而呈现出的“折现”变化.它是两部分的乘积:第1

部分是指数权重函数,能够反映时间的折现意义^[25];第2部分是考虑样本时间序列中第 i 个样本重要性(即所包含的信息)的调整系数,其含义为对于样本 $x_i (i = 1, 2, \dots, l)$,考虑它的某个领域 $N(x_i, \delta)$,其中 δ 为事先给定的常数.若 $N(x_i, \delta)$ 内有 m_i 个样本点,则可以定义 m_i/l 是反映第 i 个样本重要性的指标^[26].

显然,在式(1)中,约束条件中的惩罚系数由相同的 C 变为不同的 C_i ,体现了样本加权思想.

1.2 Copula 函数与联合分布

Copula 函数能够表示变量间的相关结构,并且不限制变量的边缘分布的具体形式,故可以将边缘分布与联合分布分开来考虑,并可灵活地选择边缘分布的形式.更为重要的是,对函数变量作严格单调增变换(可以是线性的,也可以是非线性的),由 Copula 函数所确定的一致性和相关性测度不会改变,因而非常便于处理随机变量间的非线性相关问题^[27].

假设 Copula 函数 $C(u, v)$ 符合 Nelsen 定理^[28],而 $F(U, V)$ 是连续边缘分布函数 $F_1(U)$ 和 $F_2(V)$ 的联合分布函数,那么根据 Sklar 定理^[29]知

$$F(U, V) = C(F_1(U), F_2(V))$$

相反,等式同样成立.很明显,Sklar 定理揭示了通过 Copula 函数,联合分布函数与给定边缘分布函数可实现相互连接和转化.根据 Servigny 和 Renault^[30]的观点,对于 Clayton Copula 函数,下跌市场通道中资产间的相关性高于上升市场情形,这符合金融市场发展实际.因此,在金融市场相关性分析中,经常使用具有参数 θ 的阿基米德 Copula 族中的 Clayton 函数,即

$$C(u, v) = (u^{-\theta} + v^{-\theta} - 1)^{-1/\theta} \quad (3)$$

另外, Copula 函数可与非参数相关测度即相依结构联系起来,如 Kendall 秩相关系数 τ 可示为

$$\tau = 4 \iint_{[0,1]^2} C(u, v) dC(u, v) - 1 \quad (4)$$

此时,假设随机向量 (U, V) 具有连续的边缘分布函数,以确保 Copula 函数的唯一性.现在,似乎很难准确界定随机向量的每个边缘分布函数,但根据 Durrleman 等^[31]的研究结果,对边缘分布

函数的非正确界定将导致 Copula 函数的有偏估计. 这个结论可以实现直接去考虑 Copula 函数, 而不用事先确定边缘分布函数并推导相关的 Copula 函数, 只用实证得出的相依结构求出 Copula 函数的参数即可.

这时, 可利用 Clayton Copula 函数的一个良好特性, 即在与之相关的 Kendall 秩相关系数 τ 和参数 θ 间存在解析表达式

$$\tau = \frac{\theta}{\theta + 2} \tag{5}$$

这个简化方法可实现通过 τ 来估计 Clayton Copula 函数的参数 θ , 即有

$$\theta = \frac{2\tau}{1 - \tau}$$

否则, 就须通过数值方法来解方程 (5) 才能得到参数 θ 将变得十分困难. 至于 τ 的估计方法, 可用表达式

$$\tau = \frac{2(N_c - N_d)}{n(n - 1)} \tag{6}$$

式中 N_c 、 N_d 分别表示两个变量和谐与不和谐的对子数量.

1.3 SVM 与 Copula 函数集成系统及其在金融市场联动形态分析中的应用

1.3.1 SVM 与 Copula 函数集成系统

鉴于实际金融变量的时间序列往往具有时变波动(非平稳)、偏斜(非对称)、尖峰厚尾(非正态)等特性, 而多个金融变量的联合分布亦不能用传统的多元正态联合分布或多元 t 分布来描述, 因此无现实的多元联合分布能够满足实际金融市场条件要求. 在这里, 针对这个问题, 可先利用改进的样本加权支持向量机估计概率分布函数, 然后再采用 Copula 函数分析两个市场变量的相依结构, 并进行压力测试, 如图 1 所示.

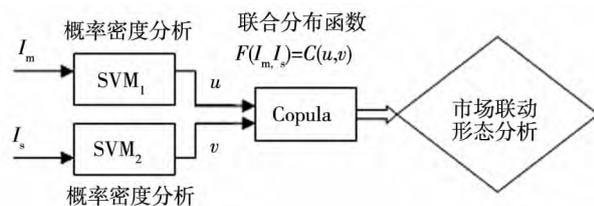


图 1 SVM 与 Copula 函数集成及其在市场间联动形态分析中的应用

Fig. 1 The structure of connection between financial markets based on the integration of SVM to Copula functions

在图 1 中 I_m 、 I_s 分别表示货币市场变量和股票市场变量. 设 $F_1(I_m)$ 、 $F_2(I_s)$ 分别为 I_m 、 I_s 对应的边缘分布函数, $F(I_m, I_s)$ 为联合分布函数, 其实现步骤如下.

首先, 确定边缘分布函数. 根据式 (2), 利用样本构造经验分布函数 $F_i(x)$, 得到给定样本的观测值 $(x_1, F_1(x_1)), \dots, (x_l, F_l(x_l))$. 然后, 根据式 (1) 及其改进形式, 构建图 1 中两个支持向量机 SVM_1 、 SVM_2 , 分别估计货币市场变量 I_m 和股票市场变量 I_s 的概率分布函数 $F_1(I_m)$ 、 $F_2(I_s)$. 其次, 选择 Copula 函数. 运用式 (5) 和式 (6) 确定参数 θ 后, 即可利用建立的 Copula 函数来分析两个市场变量的联动情况, 即确定它们的联合分布函数 $F(I_m, I_s)$ 并可用之预测未来两个市场变化之间的联系(即联合分布概率的变化情况)^[32].

1.3.2 在金融市场联动形态分析中的应用

1) 联结形态结构分析 先给定变量一个变化量 Δx , 然后将 $x + \Delta x$ 代入 SVM 模型, 求出它对应的分布概率 $F(x + \Delta x | \mu)$. 这时, $F(x + \Delta x | \mu)$ 分别对应 $u = F_1(I_m)$ 或 $v = F_2(I_s)$. 再将 u 、 v 代入选定的 Copula 函数, 求出此时两个变量变化后的联合分布概率, 即 $F(I_m, I_s) = C(u, v)$. 依此类推, 可得到一系列各种变化情况下的联合分布概率 $F(I_m, I_s)$ 并据此进行变量 I_m 、 I_s 的联结形态结构分析.

2) 压力测试 在给定的不同情形下进行压力测试, 以便深层次考察两个市场的互动情况. 这可借助于下式, 通过概率变化来分析, 即在已知 U 变化的情况下考察变量 V 变化的概率

$$\begin{aligned} P(V > V_0 | U \leq U_0) &= P(I_s > I_s^0 | I_m \leq I_m^0) \\ &= \frac{P(V > V_0, U \leq U_0)}{P(U \leq U_0)} \\ &= \frac{u - C(u, v; \theta)}{u} \end{aligned} \tag{7}$$

式中 $(u, v) \in [0, 1]^2$; (I_m, I_s) 是所考虑的随机向量; I_m^0 和 I_s^0 是事先设定的压力情形; (U, V) 是 (I_m, I_s) 在集合 $[0, 1]^2$ 上对应的样本边缘分布的均匀转换(可用文献 [33] 和 [34] 中 Deheuvels 方法进行实证估计).

在这里, 式 (7) 暗含了这样的情景: 在货币市

场 $I_m \leq I_m^0$ 情况下, 股票市场 $I_s > I_s^0$ 的概率是多少. 同样地, 可以推导出其他情形下股票市场随货币市场变化而变化的概率求解公式.

2 实证分析

2.1 市场变量选择与数据采集

为了分析不同货币市场工具与资本市场的联动程度, 选择隔夜拆借 (O/N)、1周 (1W)、2周 (2W)、1月 (1M)、3月 (3M)、6月 (6M)、9月 (9M)、1年 (1Y) 期的货币市场基础利率 SHIBOR, 分别作为货币市场变量 I_m . 同时, 选择上海证券交易所、深圳证券交易所的上证综合指数 (000001: sh) 和深证成分指数 (399001: sz) 日收益率来度量股票价格波动, 作为资本市场变量 I_s .

考虑到 SHIBOR 从 2006 年 10 月 8 日才有交易记录, 所以样本期限为 2006 - 10 - 08—2013 - 04 - 26, 共计 1 643 个日数据. 同时, 选择相对应期限内的上证综合指数和深证成分指数收盘价, 并

且考虑到同 SHIBOR 市场交易日期的对应性, 分别得到 1 595 个上证综合指数和深证成分指数收盘价数据. 然后, 分别将上证综合指数和深证成分指数收盘价转换成日收益率形式. 最后, 得到两个分别由 1 594 个上证综合指数收益率以及深证成分指数收益率组成的时间序列. 这时, 上述 3 个市场的取样时间区间统一为 2006 - 10 - 10—2013 - 04 - 26, 分别对应 1 594 个数据.

通过归一化使所有变量的值都落在 $(-1, 1)$ 区间内. 它们之间的相关系数如表 1 所示.

可以看出, 上证综合指数收益率和深证成分指数收益率都与 SHIBOR 利率呈负相关关系, 符合文献 [15] 的观点. 而且, 从绝对值上看, 同 1 年 (1Y) 期货币市场基础利率 SHIBOR (即 1Y-SHIBOR) 的相关性最强, 分别达到了 0.079 7 和 0.085 0. 因此, 在这里选择 1Y-SHIBOR 为研究对象. 这时, 分别用 1Y-SHIBOR、上证综合指数收益率和深证成分指数收益率的历史数据得到对应于给定样本的分布函数的观测值 $((x_1, F_1(x_1)), \dots, (x_l, F_l(x_l)))$.

表 1 我国股票价格指数收益率与 SHIBOR 之间的相关系数

Table 1 The correlations between the stock price index return and SHIBORs

收益率	O/N	1W	2W	1M	3M	6M	9M	1Y
沪市股指	-0.027 3	-0.050 0	-0.050 4	-0.050 7	-0.071 9	-0.078 5	-0.079 5	-0.079 7
深市股指	-0.027 1	-0.047 9	-0.046 3	-0.052 5	-0.075 7	-0.083 2	-0.084 5	-0.085 0

2.2 货币市场与资本市场联动形态结构的分析结果

2.2.1 联动形态结构

选择径向基函数作为支持向量机的核函数, 初始赋值 C 为 10, 然后再利用设计的软件估算样本的 m_i 和加权的惩罚系数 C_i . 由于样本数据都进行了归一化处理, 此时根据数据的大小可设定 $\delta = 0.005$. 最后, 通过对样本的学习, 得到形如式 (1) 的、改进的样本加权支持向量机——边缘分布概率函数估计模型 SVM₁ 和 SVM₂.

然后, 依据式 (6) 和上述变量分布的观测值, 求出 1Y-SHIBOR 同上证综合指数收益率和深证成分指数收益率的相关系数 τ 分别为 -0.000 067 74 和 -0.000 308 75; 分别将其代入式 (5), 再求得 Clayton Copula 函数的参数 θ 分别为 -0.000 135 47 和

-0.000 617 31. 这时, 由式 (3) 所示的、对应于 θ 的 Clayton Copula 函数即为上证综合指数收益率和深证成分指数收益率分别同 1Y-SHIBOR 的联合分布函数.

依据已经优化的 Clayton Copula 函数进行货币市场与资本市场联动形态结构即联合分布变化的分析. 结果显示在表 2 和表 3 中, 其中股票市场价格指数收益率和 1Y-SHIBOR 的不同变化情形即变化量 Δx 为百分数. 如, +5% 表示该变量上升 5%, 相临的 -5% 表示该变量下降 5%; 而行、列交叉的 (+5%, -10%) 表示一个变量上升 5%, 另一个变量却下跌 10%.

具体分析步骤为: 事先初定 1Y-SHIBOR 和股票市场指数收益率水平, 然后给出两者不同的变化情形, 利用图 1 中已建立的基于改进样本加权

支持向量机 SVM_1 、 SVM_2 和连接函数 $C(u, v)$ 分别估计货币市场和股票市场变化的概率分布函数 $F_1(I_m)$ 和 $F_2(I_s)$, 即 u 和 v 值, 以及联合分布函数 $F(I_m, I_s)$. 分析结果显示在表 2 和表 3 中.

表 2 上证综合指数收益率与 1Y-SHIBOR 的联结形态结构(联合分布变化)

Table 2 The structure of connection between the index return in Shanghai stock exchange and 1Y-SHIBOR

上证综合指数收益率变化幅度(%)	1Y-SHIBOR 变化幅度(%)							
	- 30	- 20	- 10	- 5	+ 5	+ 10	+ 20	+ 30
- 30	2.85	4.57	6.25	8.85	10.25	13.55	15.05	18.45
- 20	3.35	4.57	6.39	7.95	9.05	11.95	14.05	17.51
- 10	4.04	5.95	6.78	9.35	10.45	11.25	12.85	15.95
- 5	6.17	6.99	7.47	7.73	8.95	10.56	12.75	14.34
+ 5	8.81	9.22	9.98	10.24	10.67	11.34	12.35	13.05
+ 10	13.88	11.45	10.23	8.16	7.25	6.47	5.35	4.59
+ 20	15.75	13.82	9.65	7.24	6.37	5.45	4.1	3.35
+ 30	18.67	16.35	13.51	10.75	8.95	6.05	3.55	2.92

表 3 深证成分指数收益率与 1Y-SHIBOR 的联结形态结构(联合分布变化)

Table 3 The structure of connection between the index return in Shenzhen stock exchange and 1Y-SHIBOR

深证成分指数收益率变化幅度(%)	1Y-SHIBOR 变化幅度(%)							
	- 30	- 20	- 10	- 5	+ 5	+ 10	+ 20	+ 30
- 30	3.64	5.23	6.82	9.30	10.58	13.85	15.32	18.64
- 20	4.14	5.77	6.96	8.40	9.38	12.25	14.32	17.7
- 10	4.90	6.61	7.35	9.80	10.78	11.55	13.12	16.14
- 5	6.96	7.65	8.04	8.18	9.28	10.86	13.02	14.53
+ 5	9.20	9.68	10.12	10.79	11.03	11.74	12.62	13.24
+ 10	14.67	12.11	10.80	8.61	7.58	6.77	5.62	4.78
+ 20	16.54	14.48	10.79	7.69	6.70	5.75	4.37	3.54
+ 30	19.46	17.01	14.08	11.20	9.28	6.35	3.82	3.11

注意,表中数值为概率值(%),所有分析工作都借助 Matlab 软件及其 SVM 工具箱来实现.

从表 2 和表 3 可以看出,货币市场与股票市场之间存在明显的互动,体现出独特的联动形态结构.

1) 总体上看,股票市场与货币市场同方向、同幅度增加情形发生的联合分布概率较小,并且,幅度变化越大,联合分布概率下降也越快.如,上证综合指数收益率和深证成分指数收益率分别同 1Y-SHIBOR 都同时增加 5%,这个事件发生的联合概率分别为 10.67% 和 11.03%;而当它们都同时增加 30% 时,此时该事件发生的联合概率下降到 2.92% 和 3.11%. 这预示着同方向变化情况下随着变化幅度的增加,货币市场与资本市场联动的可能性逐步下降,而反方向联动的概率却在

加大.

然而,股票市场与货币市场之间的相互影响程度却是不对称的,如当上证综合指数收益率和深证成分指数收益率分别变化 + 30% 时,带来 1Y-SHIBOR 变化 + 5% 的概率分别为 8.95% 和 9.28%;而反过来,当 1Y-SHIBOR 变化 + 30% 带来上证综合指数收益率和深证成分指数收益率分别变化 + 5% 的概率分别为 13.05% 和 13.24%. 这说明,在相同变化方向和幅度上,货币市场对股票市场的影响要比股票市场对货币市场的影响大.

2) 股票市场与货币市场反方向、同幅度增加的情形发生的联合分布概率较大,并且,幅度变化越大,联合分布概率也越大.如,上证综合指数收益率和深证成分指数收益率分别增加 30%、而

1Y-SHIBOR 减少 30% ,这个事件发生的概率分别为 18.67% 和 19.46%;而随着幅度变化的减小,两个市场互动的联合概率也在下降.这进一步反映出两个市场的负相关性.

3) 在不同变化方向上两个市场的联动形态结构也不一样,同样存在着不对称现象.如,多数情况下股票市场下跌时货币市场下跌同样幅度的概率变化量要大于此时货币市场上升同样幅度的概率变化量.这验证了金融市场之间在下跌通道中具有更强的相关性,即为文献 [30] 的结论.这在某种程度上也佐证了文献 [35] 的观点.

2.2.2 压力测试分析

进行压力测试以便考察股票市场与货币市场在极端变化情形下的互动情况,主要探讨货币市场发生一定变化情况下股票市场做出怎样反应的

问题,即分析式(7)及其各种变形所示的概率.这些概率表示当货币市场变量即 1Y-SHIBOR 相对于某个初始水平变化时,股票市场变量即股指收益率相应变化的概率.

具体分析步骤为:初定 1Y-SHIBOR 和股票市场指数收益率水平;然后给两者不同的变化,利用图 1 中已建立的支持向量机 SVM_1 、 SVM_2 和连接函数 $C(u, v)$,分别估计货币市场和股票市场变化的概率分布函数 $F_1(I_m)$ 和 $F_2(I_s)$,即 u 和 v 值,以及联合分布函数 $F(I_m, I_s)$;最后,再利用式(7)及其各种变形计算要求条件下的压力测试结果,即股票市场随货币市场变化而发生相应变化的概率.

分析结果显示在表 4 和表 5.注意,表中要求其数据含义与表 2 和表 3 相同.

表 4 股票市场随货币市场变化的压力测试结果(上海股票市场)

Table 4 The stress test results of various circumstances between markets (SH)

1Y-SHIBOR 变化幅度(%)	上证综合指数收益率变化幅度(%)							
	-30	-20	-10	-5	+5	+10	+20	+30
-30	43.12	45.09	50.21	54.39	51.56	48.32	45.66	39.41
-20	39.40	41.33	46.52	50.64	47.8	44.65	41.91	35.67
-10	35.63	37.66	42.85	46.91	44.11	40.9	38.24	31.97
-5	31.94	33.91	39.17	43.27	40.4	37.29	34.50	28.29
+5	28.22	30.25	35.49	39.51	36.67	33.56	30.70	24.53
+10	24.53	26.50	31.79	35.78	32.86	29.87	26.89	20.85
+20	20.80	22.76	28.13	32.17	29.16	26.36	23.14	17.19
+30	17.00	19.15	24.38	28.40	25.44	22.6	19.33	13.47

表 5 股票市场随货币市场变化的压力测试结果(深圳股票市场)

Table 5 The stress test results of various circumstances between markets (SZ)

1Y-SHIBOR 变化幅度(%)	深证成分指数收益率变化幅度(%)							
	-30	-20	-10	-5	+5	+10	+20	+30
-30	42.21	45.12	49.76	53.89	50.5	47.56	44.78	39.62
-20	38.58	41.67	46.23	50.45	46.79	43.81	41.27	36.14
-10	35.11	38.02	42.60	46.77	43.27	40.21	37.66	32.52
-5	31.53	34.42	39.12	43.09	39.59	36.6	34.18	28.91
+5	28.09	30.81	35.44	39.39	36.11	33.12	30.60	25.37
+10	24.41	27.27	31.80	35.56	32.5	29.44	27.22	21.69
+20	21.12	23.58	28.34	31.79	28.72	25.8	23.61	18.31
+30	17.55	20.21	24.78	28.23	25.1	22.27	20.13	14.63

表 4 和表 5 说明,在给定货币市场 1Y-SHIBOR 不同变化幅度情况下,股票市场发生

不同幅度变化的概率 P 的取值情况.可以看出,无论上海股票市场还是深圳股票市场,当

1Y-SHIBOR 下跌时股票市场指数收益率都会做出相应的调整. 其中, 当股票市场指数收益率变化 $-5%$ 或 $+5%$ 幅度时的发生概率值较大, 说明此时股票市场对货币市场利率变化较为敏感. 而随着股票市场指数收益率发生较大幅度的增加或减少时, 对应情形发生的概率值却在下降. 而且, 股票市场指数收益率增加或减少的幅度越大, 对应情形发生的概率值下降幅度也越大. 同时也要看到, 股票市场指数收益率增加时比同等幅度的收益率减少时, 发生的概率值要小, 并且概率值下降幅度也较大, 呈现出不对称结构.

同样地, 当 1Y-SHIBOR 上升时股票市场指数收益率也会发生相同的调整情形.

3 结束语

不难看出, 将支持向量机(SVM)和 Copula 函数两种方法集成起来, 能够从微观层次研究货币市场与资本市场之间的联动关系及其形态结构变化. 从本文研究中, 可得到以下两个方面的启示:

1) 就研究方法而言, 利用支持向量机研究货币市场与资本市场的联动问题仍属于尝试和探索阶段, 金融系统的复杂性以及市场间作用机制的多渠道特点将是支持向量机方法需要解决的重点问题. 在研究和实证分析中, 不能单纯利用支持向量机及其改进算法, 而且还需要同其他各种方法混合使用, 以充分发挥参数估计与非参数估计的

优势, 提高模型的外推能力. 在这里, Copula 函数就发挥了构建金融变量联合分布的作用, 克服了目前金融市场联动问题研究中经典模型(如计量经济学模型)目前仍存在的局限性, 并容易捕捉到金融市场变量分布的尾部相关关系.

2) 从研究结果来看, 货币市场与股票市场之间的互动性是较明显的, 体现出独特的联动形态结构. 联动形态结构分析表明, 总体上看, 股票市场与货币市场同方向、同幅度增加情形发生的联合分布概率较小, 并且, 幅度变化越大, 联合分布概率下降也越快. 而股票市场与货币市场反方向、同幅度增加情形发生的联合分布概率较大, 并且幅度变化越大, 联合分布概率也逐步变大. 同时, 压力测试结果也显示出在给定货币市场 1Y-SHIBOR 不同变化幅度情况下, 股票市场对应不同幅度变化情形的概率 P 的取值情况也有较大变化. 并且, 在不同的变化方向上两个市场的联动结构也不一样, 存在着不对称性, 即它们在下落通道中具有较强的相关性. 所有这些联动形态结构特征将为金融市场投资者和监管者提供合理的决策参考依据.

下步研究的重点将是在此基础上考虑货币市场和资本市场联动数据的时间序列因素, 以考察联动的时变特征^[36]. 同时, 分析在同样货币政策情况下不同公司股票价格波动的特征以及由此导致的股指变化情况, 以进一步探讨两个市场之间联动的微观结构^[37].

参考文献:

- [1] Gordon M J. Dividends, earnings, and stock prices [J]. The Review of Economics and Statistics, 1959, 41(2): 99 - 105.
- [2] Fleming J, Kirby C, Ostdiek B. Information and volatility linkages in the stock, bond, and money markets [J]. Journal of Financial Economics, 1998, 49(1): 111 - 137.
- [3] Schwert G. Why does stock market volatility change over time? [J]. Journal of Finance, 1989, 44(5): 1115 - 1153.
- [4] Rigobon R, Sack B. Spillovers a Cross U. S. Financial Markets [R]. NBER, 2003.
- [5] Ryoo H J, Smith G. The impact of stock index futures on the Korean stock market [J]. Applied Financial Economics, 2004, 14(4): 243 - 251.
- [6] Robert C, Stivers C, Sun L. Stock market uncertainty and the stock-bond return relation [J]. Journal of Financial and Quantitative Analysis, 2005, 40(1): 161 - 194.
- [7] Ehrmann M, Fratzscher M, Rigobon R. Stock, bond, monetary markets and exchange rates: Measuring international financial transmission [J]. Journal of Applied Econometrics, 2011, 26(6): 948 - 974.
- [8] Bernanke B S, Kuttner K N. What explains the stock market's reaction to federal reserve policy [J]. Journal of Finance, 2005, 60(3): 1221 - 1257.
- [9] 谢平, 廖强. 当代货币政策理论新进展 [M] // 李扬, 王松奇. 中国金融理论前沿. 北京: 中国社会科学院社会

科学文献出版社, 2000.

Xie Ping, Liao Qiang. New developments in contemporary monetary policy theories [M] // Li Yang, Wang Songqi. Theoretical Development at Chinese Finance. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2000. (in Chinese)

[10] 易纲, 王召. 货币政策与金融资产价格[J]. 经济研究, 2002, (3): 13-20.

Yi Gang, Wang Zhao. Monetary policy and financial asset price [J]. Economic Research Journal, 2002, (3): 13-20. (in Chinese)

[11] 王一萱, 屈文洲. 我国货币市场和资本市场连通过程的动态分析[J]. 金融研究, 2005, (8): 112-122.

Wang Yixuan, Qu Wenzhou. Dynamic analysis shows no evidence of close interconnection between China's money market and capital market [J]. Journal of Financial Research, 2005, (8): 112-122. (in Chinese)

[12] 白钦先, 汪洋. 货币市场与资本市场的连通与协调机理研究[J]. 当代财经, 2007, (11): 49-54.

Bai Qinxian, Wang Yang. Study on mechanism of connection and coordination between the money market and the capital market [J]. Contemporary Finance & Economics, 2007, (11): 49-54. (in Chinese)

[13] 汪小亚. 货币市场与资本市场资金融通问题研究[J]. 金融纵横, 2003, (5): 23-27.

Wang Xiaoya. Study on connection between the money market and the capital market [J]. Financial Perspectives Journal, 2003, (5): 23-27. (in Chinese)

[14] 殷剑峰. 中国金融市场联动分析: 2000—2004 [J]. 世界经济, 2006, (1): 50-61.

Yin Jianfeng. The linkage between financial markets in China: 2000—2004 [J]. The Journal of World Economy, 2006, (1): 50-61. (in Chinese)

[15] 郑振龙, 张蕾. 股票价格与短期利率动态相关性的实证分析[J]. 商业经济与管理, 2007, (5): 47-51.

Zheng Zhenlong, Zhang Lei. Dynamic conditional correlation analysis between stock market and interest rate [J]. Journal of Business Economics, 2007, (5): 47-51. (in Chinese)

[16] 袁超, 张兵, 汪慧建. 债券市场与股票市场的动态相关性研究[J]. 金融研究, 2008, (1): 63-75.

Yuan Chao, Zhang Bing, Wang Huijian. Study on dynamics between bond market and stock market [J]. Journal of Financial Research, 2008, (1): 63-75. (in Chinese)

[17] 严敏, 巴曙松, 吴博. 我国股指期货市场的价格发现与波动溢出效应[J]. 系统工程, 2009, (10): 32-38.

Yan Min, Ba Shusong, Wu Bo. Price discovery and volatility spillovers of stock index futures markets in China [J]. Systems Engineering, 2009, (10): 32-38. (in Chinese)

[18] 张金林, 贺根庆, 王伟. 中国金融市场间风险溢出效应的实证研究——基于四元 VEC-GARCH(1,1)-BEKK 模型[J]. 中央财经大学学报, 2012, (7): 26-31.

Zhang Jinlin, He Genqing, Wang Wei. An empirical research on spillover effect within Chinese financial markets-based on VEC-GARCH (1,1)-BEKK model with four variables [J]. Journal of Central University of Finance & Economics, 2012, (7): 26-31. (in Chinese)

[19] 洪永淼, 汪寿阳. 论中国计量经济学教学与研究[R]. 厦门大学王亚南经济研究院, 2007.

Hong Yongmiao, Wang Shouyang. On Teaching and Research for Econometrics in China [R]. Wang Yanan Institute for Studies in Economics, Xiamen University, 2007. (in Chinese)

[20] Vapnik V N. The Nature of Statistical Learning Theory [M]. New York: Springer-Verlag, 1995.

[21] 马超群, 兰秋军, 陈为民. 金融数据挖掘[M]. 北京: 科学出版社, 2007.

Ma Chaoqun, Lan Qiujun, Chen Weimin. Data Mining in Finance [M]. Beijing: Science Press, 2007. (in Chinese)

[22] Vapnik V, Mukherjee S. Support vector method for multivariate density estimation [C] // Advanced in Neural Information Processing Systems, MIT Press, 1999, 659-665.

[23] Weston J, Gammerman A, Stitson M, et al. Support vector density estimation [C] // Advances in Kernel Methods, MIT Press, 1999.

[24] Phillips D L. A technique for the numerical solution of certain integral equations of the first kind [J]. Journal of the ACM (JACM), 1962, 9(1): 84-97.

[25] Cao L J, Francis E, Tay H. Support vector machine with adaptive parameters in financial time series forecasting [J]. IEEE Trans. on Neural Networks, 2003, 14(6): 1506-1518.

[26] 宋晓峰, 陈德钊, 胡上序. 结构可调的支持向量回归估计[J]. 控制与决策, 2003, 18(6): 698-702.

Song Xiaofeng, Chen Dezhaoh, Hu Shangxu. Structure-adjusted support vector regression machine [J]. Control and Decision, 2003, 18(6): 698-702. (in Chinese)

- [27]张尧庭. 连接函数(Copula)技术与金融风险分析[J]. 统计研究, 2002, (4): 48-51.
Zhang Yaoting. Copula technique and financial risk analysis[J]. Statistical Research, 2002, (4): 48-51. (in Chinese)
- [28]Nelsen R B. An Introduction to Copulas[M]. New York: Springer-Verlag, 1999.
- [29]Sklar A. Functions de repartition a n dimensions et leurs marges [J]. Publications de l'Institut de Statistique de l'Université de Paris, 1959, (8): 229-231.
- [30]Servigny A D, Renault O. Default Correlation: Empirical Evidence[R]. Standard and Poors, Risk Solutions, 2002.
- [31]Durrleman V, Nikeghbali A, Roncalli T. Which Copula is the Right One? [R]. Operational Research Group of Crédit Lyonnais, France, 2000.
- [32]Hu L. Dependence Patterns across Financial Markets: Methods and Evidence[R]. Department of Economics Ohio State University, January 12, 2002.
- [33]Deheuvels P. A nonparametric test for independence[J]. Publications. Institut. Statistique. Université Paris, 1981, 26(2): 29-50.
- [34]Wang H, Tewarson R P. A quasi-newton method for solving non-linear algebraic equations[J]. Computers & Mathematics with Applications, 1993, 25(1): 53-63.
- [35]王明涛, 路磊, 宋锴. 政策因素对股票市场波动的非对称性影响[J]. 管理科学学报, 2012, 15(12): 40-57.
Wang Mingtao, Lu Lei, Song Kai. Impacts of policy factors on volatility of stock markets[J]. Journal of Management Sciences in China, 2012, 15(12): 40-57. (in Chinese)
- [36]陆凤彬, 洪永淼. 时变信息溢出检验及其在金融市场中的应用[J]. 管理科学学报, 2012, 15(4): 31-39.
Lu Fengbin, Hong Yongmiao. Time-varying information spillover tests and their application to financial markets[J]. Journal of Management Sciences in China, 2012, 15(4): 31-39. (in Chinese)
- [37]林忠国, 韩立岩, 李伟. 股价波动非同步性——信息还是噪音? [J]. 管理科学学报, 2012, 15(6): 68-81.
Lin Zhongguo, Han Liyan, Li Wei. Stock price nonsynchronicity: Information or noise? [J]. Journal of Management Sciences in China, 2012, 15(6): 68-81. (in Chinese)

Nonlinear analysis on the pattern structures of connection between financial markets

*SHEN Chuan-he*¹, *WANG Xiang-rong*²

1. Institute of Financial Engineering of Shandong Women's University, Jinan 250300, China;

2. Institute of Financial Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266510, China

Abstract: This paper analyzes the connection between the money market and the capital market in a micro level sense, investigates the connection approaches and their pattern structures, and mines deeply the dynamics of interactions between the two markets through the integration of support vector machines (SVM) into copula functions. The modified sample-weighted SVM is employed to estimate the marginal probability distribution functions of the money market price, SHIBOR, and the stock price index return of the capital market in terms of the nonlinearity and instability of financial variable time series, and the optimized copula function is then used to analyze the joint probability distributions of the two financial variables and their change scenarios under various circumstances, with the dependence structures between the two markets and the dynamics of the nonlinear connection obtained. The empirical analysis shows that the joint distribution probability of 1Y-SHIBOR and the stock price index return exhibit different structure characteristics under different directions and magnitudes when changing the two variables above, there exists asymmetries, and the stress test analysis gives similar results.

Key words: the money market and the capital market; nonlinear connection patterns; dependence structure; support vector machines (SVM); Copula functions