

文章编号:1007-6735(2011)03-0258-06

超网络时代的电子金融和风险管理

柯珂, 樊智, 佘震宇, 霍艳芳

(中央华盛顿大学 商学院, 得梅因 WA 98198)

摘要:为电子交易中的多层金融网络问题的建模、分析以及计算提出了解决方案,在该网络中,资金来源以及中介均为多目标决策者.特别假定这些决策者不仅寻求收益最大化,而且还寻求风险最小化,风险通过一个可变权重的惩罚项来衡量.揭示了不同决策者的行为,包括金融产品的消费者.导出了最优条件,并证明金融网络经济的均衡条件可表述为一个有限维变分不等式问题.同时,指出了均衡解的存在性条件和唯一性条件,提出了求解的算法.

关键词:电子金融; 风险管理; 超网络; 变分不等式

中图分类号: N 94 **文献标志码:** A

Electronic finance and risk management in the supernetwork age

KE Ke, FAN Zhi, SHE Zhen-yu, HUO Yan-fang

(College of Business, Central Washington University, Des Moines, WA 98198, USA)

Abstract: A framework was derived for the modeling, analysis, and solutions computation of multi-tiered financial network problems with electronic transactions in which both the sources of financial funds as well as the intermediaries are multicriteria decision-makers. In particular, it was assumed that these decision-makers seek not only to maximize their net revenues but also to minimize risk with the risk being penalized by a variable weight. The behaviors of the various decision-makers, including the consumers at demand markets for financial products, were explicated. The optimality conditions were derived, and it was demonstrated that the governing equilibrium conditions of the financial network economy can be formulated as a finite-dimensional variational inequality problem. Qualitative properties of the equilibrium financial flow and price pattern were provided. A computational procedure that exploits the network structure of the problem were proposed.

Key words: *electronic finance; risk management; supernetwork; variational inequality*

通信网络的优势,尤其是商务、消费者以及金融机构对于互联网的采用,已经对于金融服务以及可供选择的金融交易方式产生了巨大的影响.销售渠道已经进行了转型,新型的服务和产品已经出现,在

新的经济网络格局中,金融中介的作用也发生了改变.并且,这一优势的影响不仅局限于单一国家之内,而且通过新的联接方式作用于国家之间.由于对于金融市场和金融中介以及相关监管问题日益增长

收稿日期:2011-05-11

作者简介:柯珂(1974—),女,助理教授.研究方向:金融网络与供应链管理. E-mail: Kekegrace@yahoo.com

的影响^[1],电子金融成为目前发展迅速的一个研究领域^[2-7],其中的重点包括相关主要问题的概念化,以及转变过程中网络的作用^[7-11].不过,其中不同决策者相互作用的复杂性、金融产品可获得性和交付的供应链观点、以及物理及电子交易的可选择性、金融中介的作用,使得构造一个统一可量化的可对资金流动及价格进行评价的架构变得很困难.

另外,目前许多决策应用不仅包括单一决策者,还包括几个或者许多可视作以某种方式相互作用的多层网络.在这样的网络中,一层内可以有竞争,其目的是产品能最终交付给需求市场中的消费者,而在不同层之间可以存在某种程度的合作.重要的例子包括供应链网络^[10,12-13],金融中介网络^[11,14-16].关于供应链及金融工程问题的网络优化可见文献^[17].对于其它的模型和分析可参见文献^[18].

用网络方法研究具有许多相互作用决策者的金融机构始于 Quesnay,其将经济中资金的流动描述为网络^[19].Thore^[20]已经较早的在信用网络中研究相联组合系统时引入网络和数学方法,并使用了线性规划方法^[21].Storoy 等^[22]接着提出了资本市场相互联接的网络模型,并介绍了数学规划中的分割理论如何应用于均衡解的计算. Nagurney 等^[23]提出了多部门、多工具金融均衡模型,并且建立了网络结构用以支撑他们所提出的分割理论中的子问题,而这一分割理论是基于有限维变分不等式理论. Nagurney 等^[24]指出了静态和动态金融网络模型的过剩. Nagurney 等^[14]则不仅关注包括资金来源及金融产品的消费者行为建模,还包括中介的建模,他们针对这些问题提出了建模、分析及计算的多层网络框架,并在近期考虑将电子交易引入这一框架之中^[11]. Nagurney 等^[25]对于双目标决策问题引入了一系列具有可变权重的目标函数,网络模型允许决策者根据自身的风险偏好优化其目标函数.

本文在文献^[11]和文献^[25]的基础上,将风险管理引入一个具有电子交易的金融网络,基于 Dong 等^[26]所提出的理论框架,为部门的双目标决策问题建模引入了与状态相关的权重,但其中没有中介和电子交易. Nagurney 等^[27]也在多目标网络均衡模型中考虑了可变权重,但模型是单层的,且非针对金融问题.特别是,本文中假设资金来源以及金融中介的结构面临两个目标或标准,也就是净利润最大化以及风险最小化,而后一目标的权重是明确的、可变的.本文的方法与金融分析中广泛使用的风险收益

方法一致,而这一方法可追溯到 Markowitz,其引入了基于均值方差的资产组合理论^[28]. Markowitz 所使用的资产组合理论的均值-方差方法^[29-30],与最大化期望效用是一致的,其中预期的收益服从联合正态分布,目标函数是凹函数,或者为二次函数.将通过引入一个广义的风险函数来扩展上面的成果,以避免收益概率分布的约束.

笔者所提出的框架可以充分支持具有中介和电子交易的金融网络问题的建模、分析和计算.另外,这里不仅考虑单个决策者的行为,也通过网络中介和均衡分析来考虑完整的金融系统,因此本文的均衡观点为已有的价格和资金流动提供了一个有价值的基准.其强调多层供应链网络中的风险管理也是近期研究中的一个课题^[31].

1 具有电子交易的金融网络模型

提出一个金融网络模型,包括资金来源的决策者、金融中介以及需求市场中的消费者.模型中资金来源可以通过互联网与消费者直接进行电子交易,也可以通过物理或电子的方式与中介进行资金交易.中介亦可以与消费者以标准方式或电子方式进行交易.均衡状态下网络的描述见图 1.

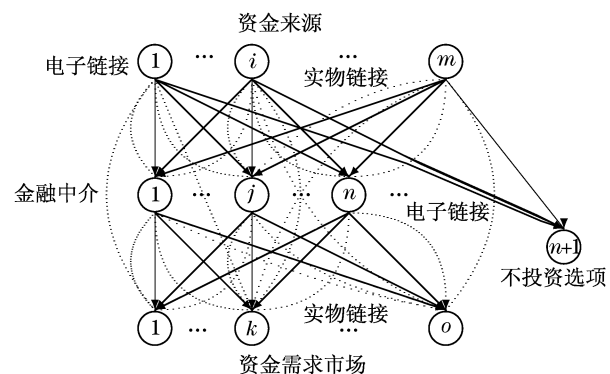


图1 电子金融网络

Fig.1 Structure of the financial network with electronic transactions

尤其考虑资金来源中,如家庭、商业的 m 个个体,他们在金融工具的组合中配置资源,而金融工具则可以通过与 n 个不同的金融中介的交易来获得,如银行、保险、投资公司等,和/或直接通过 o 个需求市场中的消费者获得.金融中介除了与资金来源个体进行交易外,还要决定如何对资金的收入来源在不同用途或需求市场中的金融产品之中进行配置,例如房贷、消费贷款或商业贷款等.这样金融网络就可以描绘为图 1.节点的上层包括资金来源的

决策者,用节点 i 来表示.中间层节点包括中介,用节点 j 表示.另外,与文献[14]中模型不同的是,这里允许资金来源个体不对其资金进行可能的投资,通过中间层的第 $n+1$ 个节点来表示.底层节点包括需求市场,用节点 k 表示(与一个特定的金融产品相联系).图1中网络的联结包括传统的物理联结,以及允许电子金融交易的互联网联结.注意到这种交易方式的引入允许“联结”,比如消费者直接从资金来源个体借款.为了描述这种类型的交易,为每个顶层节点与每个底层节点之间建立了直接的联结.另外,资金来源个体不仅可以与消费者直接交易,也可以通过互联网与金融中介进行交易(例如网上银行).这样在每个顶层节点与每个中间层节点之间也增加了联结,以反映资金来源个体与中介之间进行互联网交易的可能性.这样,一个资金来源个体可以通过物理方式或互联网方式与中介进行交易.为了描述的简单,假设每个中介只有一个可以通过电子方式和/或物理方式交易的金融工具.

现对图1中三层节点代表的不同经济决策者的行为进行描述.首先针对资金来源个体,其次是中介,然后是需求市场.为便于描述相关变量和函数的定义为:

q_{ijl}^1 为资金来源个体 i 与中介 j 之间的交易量,其中 l 表示交易模式,传统交易模式用1表示,电子交易用2表示.这些变量汇总成向量 $\mathbf{Q}^1 \in R_+^{2nm}$; q_{ik}^1 为资金来源个体 i 与需求市场 k 之间的通过网络的直接交易量,这些变量汇总成向量 $\mathbf{Q}^2 \in R_+^{mo}$; $\mathbf{q}_i^1$ 为 $2n+o$ 向量,含括资金来源个体 i 的所有交易; q_{jkl}^2 为中介 j 与需求市场 k 之间的交易量,这些变量汇总成向量 $\mathbf{Q}^3 \in R_+^{mo}$; c_{ijl} 为资金来源个体 i 在和中介 j 交易时发生的交易成本; c_{ik} 为资金来源个体 i 与市场 k 之间的交易成本; c_{jkl} 为中介 j 和市场 k 之间不同交易模式 l 的交易成本; ρ 为相应的价格; S_i 为资金来源个体 i 的资金拥有量; c_j 中介的处理/转换成本; $\hat{c}_{ijl}$ 为中介 j 在和资金来源个体 i 交易时发生的交易成本.更具体的定义请参考文献[11]和文献[25].

1.1 资金来源个体的行为

对于每个资金来源个体来说,它的投资量必然不能超过它的资金拥有量.所以有条件

$$\sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^2 q_{ijl}^1 + \sum_{k=1}^o q_{ik}^1 \leq S_i, \forall i \quad (1)$$

它面临收益最大化和风险最小化两个优化问题

$$\max z_{1i}^1 = \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^2 \rho_{ijl}^1 q_{ijl}^1 + \sum_{k=1}^o \rho_{ik}^1 q_{ik}^1 - \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^2 c_{ijl}(q_{ijl}^1) - \sum_{k=1}^o c_{ik}(q_{ik}^1) \quad (2)$$

$$\min z_{2i}^1 = r^i(q_i^1) \quad (3)$$

考虑到个体的风险态度将决定它能够承受的风险大小,用可变权重来表达它对风险的接受程度.从而得出风险惩罚价值函数^[25-26]

$$\max U^i(q_i^1) = \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^2 (\rho_{ijl}^1 q_{ijl}^1 - c_{ijl}(q_{ijl}^1)) + \sum_{k=1}^o (\rho_{ik}^1 q_{ik}^1 - c_{ik}(q_{ik}^1)) - w_{2i}^1(r^i(q_i^1))r^i(q_i^1) \quad (4)$$

其中, $w_{2i}^1(r^i(q_i^1))$ 被定义为基于目标函数值的权重^[25-26], 这里的目标函数就是风险值 $r^i(q_i^1)$, 风险值越高, 投资者越要谋求更高的利润空间来规避风险, 因此该权重函数是严格递增的凸函数. 变量 $q_{ijl}^1 \geq 0, q_{ik}^1 \geq 0$, 并满足式(1). 类似于文献[25]中的定理1和文献[26]中的证明, 同理可证式(4)是严格凹函数. 那么式(4)的最优解的充分必要条件可以表达为^[32]

$$-\sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^2 \frac{\partial U^i(q_i^{1*})}{\partial q_{ijl}^1} \times (q_{ijl}^1 - q_{ijl}^{1*}) \geq 0 \quad (5)$$

因此满足所有资金来源个体的均衡条件就可以表达为变分不等式^[11]

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^2 \left[w_{2i}^1(r^i(q_i^{1*})) \frac{\partial r^i(q_i^{1*})}{\partial q_{ijl}^1} + \frac{\partial w_{2i}^1(r^i(q_i^{1*}))}{\partial q_{ijl}^1} r^i(q_i^{1*}) + \frac{\partial c_{ijl}(q_{ijl}^{1*})}{\partial q_{ijl}^1} - \rho_{ijl}^{1*} \right] \times [q_{ijl}^1 - q_{ijl}^{1*}] + \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^o \left[w_{2i}^1(r^i(q_i^{1*})) \frac{\partial r^i(q_i^{1*})}{\partial q_{ik}^1} + \frac{\partial w_{2i}^1(r^i(q_i^{1*}))}{\partial q_{ik}^1} r^i(q_i^{1*}) + \frac{\partial c_{ik}(q_{ik}^{1*})}{\partial q_{ik}^1} - \rho_{ik}^{1*} \right] \times [q_{ik}^1 - q_{ik}^{1*}] \geq 0, \forall (\mathbf{Q}^1, \mathbf{Q}^2) \in K \quad (6)$$

其中, 可行解集 $K = \{(\mathbf{Q}^1, \mathbf{Q}^2) | q_{ijl}^1 \geq 0, \forall i, j, l; q_{ik}^1 \geq 0, \forall i, k, \text{ 而且式(1)成立}\}$.

1.2 金融中介的行为研究

对于每个中介个体来说, 它的投资量必然不能超过它的资金拥有量. 所以有条件

$$\sum_{k=1}^o \sum_{l=1}^2 q_{jkl}^2 \leq \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^2 q_{ijl}^1, \forall j \quad (7)$$

其同样面临收益最大化和风险最小化两个优化问题

$$\max z_{1j}^2 = \sum_{k=1}^o \sum_{l=1}^2 (\rho_{jkl}^2 q_{jkl}^2 - c_{jkl}(q_{jkl}^2)) -$$

$$c_j(Q^1) - \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^2 (\rho_{ijl}^1 q_{ijl}^1 + \hat{c}_{ijl}(q_{ijl}^1)) \quad (8)$$

$$\min z_{2j}^2 = r^j(q_j^2) \quad (9)$$

同样,用权重函数来表达它对风险的接受程度.从而得出风险惩罚价值函数^[25-26]

$$\begin{aligned} \max U^j(q_j^2) = & \sum_{k=1}^0 \sum_{l=1}^2 (\rho_{jkl}^2 q_{jkl}^2 - \\ & c_{jki}(q_{jkl}^2) - c_j(Q^2) - \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^2 (\rho_{ijl}^1 q_{ijl}^1 + \\ & \hat{c}_{ijl}(q_{ijl}^1)) - w_{2j}^1(r^j(q_j^2)) r^j(q_j^2) \end{aligned} \quad (10)$$

约束为式(7).同理可证, U^j 也是严格凹函数.因此满足所有中介个体的均衡条件就可以表达为变分不等式^[11,14,25]

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^2 \left[w_{2j}^2(r^j(q_j^2)) \frac{\partial r^j(q_j^2)}{\partial q_{ijl}^1} + \right. \\ \left. \frac{\partial w_{2j}^2(r^j(q_j^2))}{\partial q_{ijl}^1} r^i(q_j^2) + \frac{\partial \hat{c}_{ijl}(q_{ijl}^1)}{\partial q_{ijl}^1} + \right. \\ \left. \frac{\partial c_j(Q^1)}{\partial q_{ijl}^1} + \rho_{ijl}^1 - \gamma_j^* \right] \times [q_{ijl}^1 - q_{ijl}^{1*}] + \\ \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^0 \sum_{l=1}^2 \left[w_{2j}^2(r^j(q_j^2)) \frac{\partial r^j(q_j^2)}{\partial q_{jkl}^2} + \right. \\ \left. \frac{\partial w_{2j}^2(r^j(q_j^2))}{\partial q_{jkl}^2} r^j(q_j^2) + \frac{\partial c_{jkl}(q_{jkl}^2)}{\partial q_{jkl}^2} - \rho_{jkl}^2 + \gamma_j^* \right] \times \\ [q_{jkl}^2 - q_{jkl}^{2*}] + \sum_{j=1}^n \left[\sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^2 q_{ijl}^{1*} - \sum_{k=1}^0 \sum_{l=1}^2 q_{jkl}^{2*} \right] \times \\ [\gamma_j - \gamma_j^*] \geq 0, \forall (Q^1, Q^2, \gamma) \in R_+^{2nm+2no+n} \quad (11) \end{aligned}$$

其中, γ_j 为约束条件式(7)的拉格朗日因子^[32].

1.3 需求市场的均衡条件

假设需求市场 k 的需求 d 是市场价格向量 ρ^3 的函数,可以得到连续函数

$$d_k = d_k(\rho^3) \quad (12)$$

那么根据文献[11,14,25]的研究结果,市场 k 的均衡条件为:

对所有中介

$$\rho_{jkl}^{2*} + \hat{c}_{jkl}(Q^{2*}, Q^{3*}) \begin{cases} = \rho_k^{3*}, & \text{if } q_{jkl}^{2*} > 0 \\ \geq \rho_k^{3*}, & \text{if } q_{jkl}^{2*} = 0 \end{cases} \quad (13)$$

对所有资金来源个体

$$\rho_{ik}^{1*} + \hat{c}_{ik}(Q^{2*}, Q^{3*}) \begin{cases} = \rho_k^{3*}, & \text{if } q_{ik}^{1*} > 0 \\ \geq \rho_k^{3*}, & \text{if } q_{ik}^{1*} = 0 \end{cases} \quad (14)$$

除此之外,如果消费者愿意付出的价钱(影子价格)是正确的,那么市场上这种产品的供应量必然等同于市场需求.所以有方程成立

$$d_k(\rho^3) \begin{cases} = \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^2 q_{jkl}^{2*} + \sum_{i=1}^m q_{ik}^{1*}, & \text{if } \rho_k^{3*} > 0 \\ \leq \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^2 q_{jkl}^{2*} + \sum_{i=1}^m q_{ik}^{1*}, & \text{if } \rho_k^{3*} > 0 \end{cases} \quad (15)$$

在均衡条件下,式(13)~(15)都必然在各需求市场同时成立,因此有变分不等式

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^0 \sum_{l=1}^2 [\rho_{jkl}^{2*} + \hat{c}_{jkl}(Q^{2*}, Q^{3*}) - \rho_k^{3*}] \times \\ [q_{jkl}^2 - q_{jkl}^{2*}] + \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^0 [\rho_{ik}^{1*} + \hat{c}_{ik}(Q^{2*}, Q^{3*}) - \\ \rho_k^{3*}] \times [q_{ik}^1 - q_{ik}^{1*}] + \sum_{k=1}^0 \left[\sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^2 q_{jkl}^{2*} + \right. \\ \left. \sum_{i=1}^m q_{ik}^{1*} - d_k(\rho^3) \right] \times [\rho_k^3 - \rho_k^{3*}] \geq 0, \\ \forall (Q^2, Q^3, \rho^3) \in R_+^{2no+mo+0} \quad (16) \end{aligned}$$

1.4 电子金融和变权重风险管理的超网络模型均衡条件

在均衡条件下,资金来源个体与中介之间的资金流必然等于中介从资金源头取得的资金量,需求市场获得的资金量必然等于它从资金源头和中介获得的总和.因此均衡流量和价格行为必然满足最优条件式(6)、式(11)和式(16)的和.

定理 1 变分不等式方程

电子金融和变权重风险管理的超网络模型均衡状态将等同于变分不等式的解

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^2 \left[w_{2i}^1(r^i(q_i^1)) \frac{\partial r^i(q_i^1)}{\partial q_{ijl}^1} + \right. \\ \left. \frac{\partial w_{2i}^1(r^i(q_i^1))}{\partial q_{ijl}^1} r^i(q_i^1) + w_{2j}^2(r^j(q_j^2)) \cdot \right. \\ \left. \frac{\partial r^j(q_j^2)}{\partial q_{ijl}^1} + \frac{\partial w_{2j}^2(r^j(q_j^2))}{\partial q_{ijl}^1} r^j(q_j^2) + \right. \\ \left. \frac{\partial c_{ijl}(q_{ijl}^1)}{\partial q_{ijl}^1} + \frac{\partial \hat{c}_{ijl}(q_{ijl}^1)}{\partial q_{ijl}^1} + \frac{\partial c_j(Q^1)}{\partial q_{ijl}^1} - \gamma_j^* \right] \times \\ [q_{ijl}^1 - q_{ijl}^{1*}] + \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^0 \left[w_{2i}^1(r^i(q_i^1)) \cdot \right. \\ \left. \frac{\partial r^i(q_i^1)}{\partial q_{ik}^1} + \frac{\partial w_{2i}^1(r^i(q_i^1))}{\partial q_{ik}^1} r^i(q_i^1) + \right. \\ \left. \frac{\partial c_{ik}(q_{ik}^1)}{\partial q_{ik}^1} + \hat{c}_{ik}(Q^{2*}, Q^{3*}) - \rho_k^{3*} \right] \times [q_{ik}^1 - \\ q_{ik}^{1*}] + \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^0 \sum_{l=1}^2 \left[w_{2j}^2(r^j(q_j^2)) \cdot \right. \\ \left. \frac{\partial r^j(q_j^2)}{\partial q_{jkl}^2} + \frac{\partial w_{2j}^2(r^j(q_j^2))}{\partial q_{jkl}^2} r^j(q_j^2) + \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \left[\frac{\partial c_{jkl}(q_{jkl}^{2*})}{\partial q_{jkl}^{2*}} + \gamma_j^* + \hat{c}_{jkl}(Q^{2*}, Q^{3*}) - \rho_k^{3*} \right] \times \\ & [q_{jkl}^{2*} - q_{jkl}^{2*}] + \sum_{j=1}^n \left[\sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^2 q_{ijl}^{1*} - \sum_{k=1}^0 \sum_{l=1}^2 q_{jkl}^{2*} \right] \times \\ & [\gamma_j - \gamma_j^*] + \sum_{k=1}^0 \left[\sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^2 q_{jkl}^{2*} + \sum_{i=1}^m q_{ik}^{1*} - \right. \\ & \left. d_k(\rho_k^*) \right] \times [\rho_k^3 - \rho_k^{3*}] \geq 0, \\ & \forall (Q^1, Q^2, Q^3, \gamma, \rho^3) \in X \end{aligned} \quad (17)$$

$$\text{其中 } X \equiv \left\{ \prod_{i=1}^m K_i \times R_+^{2no+mo+0} \right\}$$

其证明可以参见文献[11, 14, 25].

现讨论怎么导出金融产品均衡价格的计算. 从式(6)中, 可以看到如果某金融产品的资金流量 q_{ijl}^{1*} 为正, 相应的金融产品的价格 ρ_{ijl}^{1*} 就会等于

$$\begin{aligned} & w_{2i}^1(r^i(q_i^{1*})) \frac{\partial r^i(q_i^{1*})}{\partial q_{ijl}^{1*}} + \\ & \frac{\partial w_{2i}^1(r^i(q_i^{1*}))}{\partial q_{ijl}^{1*}} r^i(q_i^{1*}) + \frac{\partial c_{ijl}(q_{ijl}^{1*})}{\partial q_{ijl}^{1*}} \end{aligned}$$

类似的, 对于正的 q_{ik}^{1*} , 相应的金融产品的价格 ρ_{ik}^{1*} 就会等于

$$\begin{aligned} & w_{2i}^1(r^i(q_i^{1*})) \frac{\partial r^i(q_i^{1*})}{\partial q_{ik}^{1*}} + \\ & \frac{\partial w_{2i}^1(r^i(q_i^{1*}))}{\partial q_{ik}^{1*}} r^i(q_i^{1*}) + \frac{\partial c_{ik}(q_{ik}^{1*})}{\partial q_{ik}^{1*}} \end{aligned}$$

从式(11)中, 对于正的 q_{jkl}^{2*} , 相应的金融产品的价格 ρ_{jkl}^{2*} 就会等于

$$\begin{aligned} & w_{2j}^2(r^j(q_j^{2*})) \frac{\partial r^j(q_j^{2*})}{\partial q_{jkl}^{2*}} + \\ & \frac{\partial w_{2j}^2(r^j(q_j^{2*}))}{\partial q_{jkl}^{2*}} r^j(q_j^{2*}) + \frac{\partial c_{ik1}(q_{jkl}^{2*})}{\partial q_{jkl}^{2*}} + \gamma_j^* \end{aligned}$$

2 均衡解的存在性和唯一性条件

定理2 解的存在性条件

假设存在常数 M, N, R 为正, 如果下述条件成立

$$\begin{aligned} & w_{2i}^1(r^i(q_i^{1*})) \frac{\partial r^i(q_i^{1*})}{\partial q_{ijl}^{1*}} + \frac{\partial w_{2i}^1(r^i(q_i^{1*}))}{\partial q_{ijl}^{1*}} r^i(q_i^{1*}) + \\ & w_{2j}^2(r^j(q_j^{2*})) \frac{\partial r^j(q_j^{2*})}{\partial q_{ijl}^{1*}} + \frac{\partial w_{2j}^2(r^j(q_j^{2*}))}{\partial q_{ijl}^{1*}} r^j(q_j^{2*}) + \\ & \frac{\partial \hat{c}_{ijl}(q_{ijl}^{1*})}{\partial q_{ijl}^{1*}} + \frac{\partial \hat{c}_{ijl}(q_{ijl}^{1*})}{\partial q_{ijl}^{1*}} + \frac{\partial c_j(Q^{1*})}{\partial q_{ijl}^{1*}} \geq M, \\ & \forall Q^1 \text{ 其中 } q_{ijl}^{1*} \geq N \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & w_{2i}^1(r^i(q_i^{1*})) \frac{\partial r^i(q_i^{1*})}{\partial q_{ik}^{1*}} + \frac{\partial w_{2i}^1(r^i(q_i^{1*}))}{\partial q_{ik}^{1*}} r^i(q_i^{1*}) + \\ & \frac{\partial c_{ik}(q_{ik}^{1*})}{\partial q_{ik}^{1*}} + c_{ik}(Q^{2*}, Q^{3*}) \geq M, \\ & \forall Q^2 \text{ 其中 } q_{ik}^{1*} \geq N \\ & w_{2j}^2(r^j(q_j^{2*})) \frac{\partial r^j(q_j^{2*})}{\partial q_{jkl}^{2*}} + \frac{\partial w_{2j}^2(r^j(q_j^{2*}))}{\partial q_{jkl}^{2*}} r^j(q_j^{2*}) + \\ & \frac{\partial c_{jkl}(q_{jkl}^{2*})}{\partial q_{jkl}^{2*}} + \gamma_j^* + \hat{c}_{jkl}(Q^{2*}, Q^{3*}) \geq M, \\ & \forall Q^3 \text{ 其中 } q_{jkl}^{2*} \geq N \\ & d_k(\rho_k^*) \leq N, \quad \forall \rho^3 \text{ 其中 } \rho_k^3 > R \end{aligned}$$

那么式(17)至少存在一个均衡解. 证明类似于文献[25]中存在性定理的证明.

定理3 解的唯一性条件

如果把式(17)写成向量不等式的形式

$$F(X)^T(X - X^*) \geq 0$$

假设 F 严格单调, 那么均衡解将是唯一的. 证明类似于文献[25]中唯一性定理的证明.

3 模型的优化算法

建议用 modified projection method 求解. 类似的算法请参见文献[25].

参考文献:

- [1] TURNER P, E-finance and financial stability [C] // LITAN R, MASSON P, POMERLEANO M. Open Doors: Foreign Participation in Financial Systems in Developing Countries. Washington: Brookings Institution, 2001: 389 - 409.
- [2] CLAESSENS S, GLAESSENER T, KLINGEBIEL D. E-electronic finance: Reshaping the financial landscape around the world [DB/OL]. www.worldbank.org, 2001 - 07/2011 - 05 - 01.
- [3] CLAESSENS S, GLAESSENER T, KLINGEBIEL D. E-Finance in emerging markets: Is leapfrogging possible? [DB/OL]. www.worldbank.org, 2001 - 07/2011 - 05 - 01.
- [4] LONG S. Online finance: The virtual threat [J]. The Economist, 2000, 5: 1 - 46.
- [5] SATO S, HAWKINS J. Electronic finance: An overview of the issues [J]. Bank of International Settlements Paper, 2001, 7: 1 - 12.
- [6] BANKS E. E-Finance: The Electronic Revolution [M]. New York: John Wiley & Sons, 2001.
- [7] ALLEN H, HAWKINS J, SATO S. Electronic trading

- and its implications for financial systems[J]. Bank of international settlements papers, 2001, 7: 30 - 42.
- [8] MCANDREWS J, STEFANIDIS C. The emergence of electronic communications networks in US equity markets[J]. Current Issues in Economics and Finance, 2000, 6(12): 1 - 6.
- [9] ECONOMIDES N. The impact of the internet on financial markets[J]. Journal of Financial Transformation, 2001, 1(1): 8 - 13.
- [10] NAGURNEY A, DONG J. Supernetworks: Decision-Making in the Information Age [M]. Cheltenham; Edward Elgar Publishing, 2002.
- [11] NAGURNEY A, KE K. Financial networks with electronic transactions: modeling, analysis, and computations[J]. Quantitative Finance, 2003, 3(2): 71 - 87.
- [12] NAGURNEY A, DONG J, ZHANG D. A supply chain network equilibrium model [J]. Transportation Research E, 2002, 38(5): 281 - 303.
- [13] DONG J, ZHANG D, NAGURNEY A. A supply chain network equilibrium model with random demands[J]. European Journal of Operational Research, 2004, 156(1): 194 - 212.
- [14] NAGURNEY A, KE K. Financial networks with intermediation [J]. Quantitative Finance, 2001, 1(4): 441 - 451.
- [15] NAGURNEY A, CRUZ J. International financial networks with intermediation: Modeling, analysis, and computations[J]. Computational Management Science, 2003a, 1(1): 31 - 58.
- [16] NAGURNEY A, CRUZ J. International financial networks with electronic transactions[C]//NAGURNEY A. Innovations in Financial and Economic Networks. Cheltenham; Edward Elgar Publishing, 2003: 135 - 167.
- [17] GEUNES J, PARDOLAS P M. Network optimization in supply chain management and financial engineering: An annotated bibliography[J]. Networks, 2003, 42(2): 66 - 84.
- [18] PARDALOS P M, TSITSIRINGOS N K. Financial Engineering, E-commerce and Supply Chain [M]. Boston; Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [19] QUESNAY F. Tableau Economique [Z]. England: The British Economic Society, 1895.
- [20] THORE S. Credit networks[J]. Economica, 1969, 36(141): 42 - 57.
- [21] CHARNES A, COOPER W. W. Some network characterizations for mathematical programming and accounting approaches to planning and Control[J]. The Accounting Review, 1967, 42(1): 24 - 52.
- [22] STOROY S, THORE S, BOYER M. Equilibrium in linear capital market networks[J]. The Journal of Finance, 1975, 30(5): 1197 - 1211.
- [23] NAGURNEY A, DONG J, HUGHES M. Formulation and computation of general financial equilibrium[J]. Optimization, 1992, 26(3): 339 - 354.
- [24] NAGURNEY A, SIOKOS S. Financial Networks: Statics and Dynamics [M]. Heidelberg; Springer-Verlag, 1997.
- [25] NAGURNEY A, KE K. Financial networks with intermediation: Risk management with variable weights [J]. European Journal of Operational Research, 2006, 172(1): 40 - 63.
- [26] DONG J, NAGURNEY A. Bicriteria decision making and financial equilibrium: A variational inequality perspective[J]. Computational Economics, 2001, 17(1): 29 - 42.
- [27] NAGURNEY A, DONG J, MOKHTARIAN P L. Multicriteria network equilibrium modeling with variable weights for decision-making in the information age with applications to telecommuting and teleshopping [J]. Journal of Economic Dynamics and Control, 2002, 26(9): 1629 - 1650.
- [28] MARKOWITZ H M. Portfolio selection[J]. The Journal of Finance, 1952, 7(1): 77 - 91.
- [29] SHARPE W. A linear programming approximation for the general portfolio analysis problem[J]. Journal of Financial and Quantitative Analysis, 1971, 6(5): 1263 - 1275.
- [30] SPRONK J, HALLERBACH W. Financial modelling: where to go? With an illustration for portfolio management[J]. European Journal of Operational Research, 1997(99): 113 - 125.
- [31] NAGURNEY A, CRUZ J, DONG J, et al. Supply chain networks, electronic commerce, and supply-side and demand-side risk[J]. European Journal of Operational Research, 2006, 164(1): 120 - 142.
- [32] BAZARAA M S, SHERALI H D, SHETTY C M. Nonlinear Programming: Theory and Algorithms [M]. New York: John Wiley & Sons, 1993.