

多阶段多目标洗钱网络路径优化模型及算法研究

张艳^a, 薛耀文^b

(山西师范大学 a. 数学与计算机科学学院; b. 经济与管理学院, 山西 临汾 041000)

摘要:针对多阶段洗钱资金转移路径的决策问题,基于多目标优化的思想,构建了以时间约束、总体资金转移量尽可能大以及总体风险尽可能小为决策目标的多阶段洗钱路径优化模型,并利用多重动态规划方法和最大流理论给出了求解该模型的算法,最后通过实例应用验证了该算法的可行性.通过该模型,不仅能够从洗钱资金转移路径观察洗钱行为特征,还能够发现和追踪到洗钱者的洗钱踪迹和全过程,有助于对洗钱行为的各个环节进行有效监控,降低反洗钱侦测成本.

关键词:多阶段;多目标;洗钱路径;模型;算法

中图分类号:F830.3

文献标志码:A

近年来随着反腐力度的不断加大,不法公职人员在上游经济犯罪活动中敛聚的非法资产逐渐被暴露出来,为了掩藏其犯罪事实,他们甘愿冒一定风险通过各种手段将不法所得转化为合法收入,洗钱成为掩盖不法所得的主要手段之一.所谓“洗钱”是指将犯罪所得及其收益通过转让、转换、使用等方式,隐瞒和掩饰其非法来源和性质,以使犯罪所得形式上合法化的行为.洗钱不仅为违法犯罪行为打开方便之门,也损害了一个国家的政治、社会、经济和金融体系的安全和信誉.从洗钱的资金转移路径观察洗钱行为,更能够发现和追踪到洗钱者的洗钱踪迹和全过程,因此,有必要对不法公职人员以洗钱为主要手段的非法资产转移路径进行研究,以便为有效打击洗钱犯罪提供决策支持和技术帮助.

1 文献综述

随着犯罪分子的洗钱行为日益猖獗,洗钱手法日趋复杂多样,世界各国都加大了对反洗钱的重视程度,积极参与到打击洗钱的斗争中,国内外学者对非法资金转移路径的研究范围也日益扩大.薛耀文、张鹏柱依据行为金融学理论和复杂网络理论,提出了具有成本约束下的、以效用最大化为条件下的智能节点洗钱路径的两种计算方法,分别考虑了洗钱转账次数和转账的可能性^[1];杨冬梅从经济人经济利益最大化的角度出发,依据金融网络中资金转移路径的转移成本和转移时间两个指标,构建了金融网络中洗钱资金异常转移路径的经济成本模型,分离出资金转移的合理路径集合和异常路径集合^[2];李琼婕运用风险效用理论,通过构建不同风险偏好下的不法公职人员洗钱路径的选择函数,分析出不同时间选择下不同风险偏好的不法公职人员的洗钱路径^[3].

对于不法公职人员来讲,在兼顾时间,洗钱量、风险等诸多洗钱因素的同时,为了掩盖查账线索和隐藏犯罪身份,往往会进行多次复杂的金融交易,通常会分为多个阶段进行,犯罪分子在连续的几个洗钱阶段中的每个阶段里都需要进行路径选择,从而影响下一阶段的决策,以致寻求整个过程的最优洗钱路径组合.国内外学者针对多阶段多目标决策问题提出了多种模型及算法.蔡志强在贝叶斯网络的基础上进行扩展,提出了

收稿日期:2015-07-02;修回日期:2016-03-23.

基金项目:国家自然科学基金(71273159).

第1作者简介:张艳(1989-),女,山西晋城人,山西师范大学硕士研究生,研究方向为运筹学与控制论,E-mail:zy-an0816@163.com.

通信作者:薛耀文(1965-),男,山西万荣人,山西师范大学教授,博士生导师,研究方向为金融监管,E-mail:xueyaowen@sina.com.

一种不确定多阶段多目标决策模型,并详述了其构建方法及求解算法^[4];熊德琪将模糊优选理论与动态规划原理有机地结合起来,提出了一种解决多阶段多目标优化问题的模糊优选规划方法^[5];周茜针对水电站水库调度问题,在对体积动态规划算法的并行可行分析基础上,提出了基于主从模式的两库梯级并行动态规划算法^[6].

目前国内外学者对于同时涉及多个洗钱目标的洗钱网络路径研究较少,亦很少人将多阶段路径优化模型及算法应用到洗钱网络中.李琼婕、薛耀文构建了基于时间压力下的最小风险最大流模型,并给出了求解该模型的最小费用最大流算法^[7].但是该研究过于理想化,仅限于对单阶段的洗钱网络研究,现有的模型与算法并不能很好地应用在这种多阶段多目标的洗钱网络路径研究上.

因此,本文主要利用动态规划的思想尝试建立多阶段多目标洗钱网络路径优化模型,并运用多重动态规划法以及最大流理论,寻求最优路径组合,以实现在一定的时间限制内完成洗钱活动,并且风险最小、洗钱量最大的多个洗钱目标.

2 多阶段洗钱网络图

根据 FATF 组织的研究,洗钱过程通常被分为三个阶段:处置阶段(Placement stag)、离析阶段(Layering stage)、融合阶段(Integration stage).每个阶段都有其目的及运行方式,在处置阶段,不法公职人员主要目的在于掩盖非法资金的来源,其操作手法多为简单、应急式的行为.在处置阶段成功后,为了使执法部门更难追查,犯罪分子往往要制造一系列错综复杂的金融交易记录,让犯罪所得披上更多层的合法“外衣”.经过前两个阶段的操作,融合是洗钱过程的最终环节,将披上合法“外衣”的非法所得重新归拢,使其回归经济体系^[8].

本文着重研究洗钱的第二个阶段,即离析阶段,在这个阶段,不法公职人员通过复杂多层的金融交易,使犯罪收入的非法特征和合法资金难以分辨,从而掩盖查账线索和隐藏犯罪身份.离析是洗钱过程中最复杂的层面,通常出现于过于风险巨大、巨额成本、持续时间较长的洗钱活动,犯罪分子为了实现最终效益最大化;必然会同时兼顾风险、成本、洗钱量、时间等多个洗钱因素,期望达到在一定的时间限制内完成洗钱活动,并且洗钱量最大、风险最小的多个洗钱目标.

在本文研究的多阶段洗钱网络中,假设有一个起点账户 S 和终点账户 G ,这两个账户与中间节点以及节点间的资金转移路径(有向)一起组成非法资金流动的金融网络,洗钱者将资金存入这个金融网络,需将所转移的资金从起点拆分为一定数额的多笔资金并从第一时间开始向下一阶段的节点账户转移;此后,按次序将目前所在阶段的账户内资金继续拆分转往下一阶段账户集合中的多个账户;最后,通过最后一个阶段的账户将经过多层复杂交易被披上合法“外衣”的非法所得归并到一个指定账户^[9-10].根据非法资金转移的上述特点,本文构建了多阶段洗钱网络图如下:

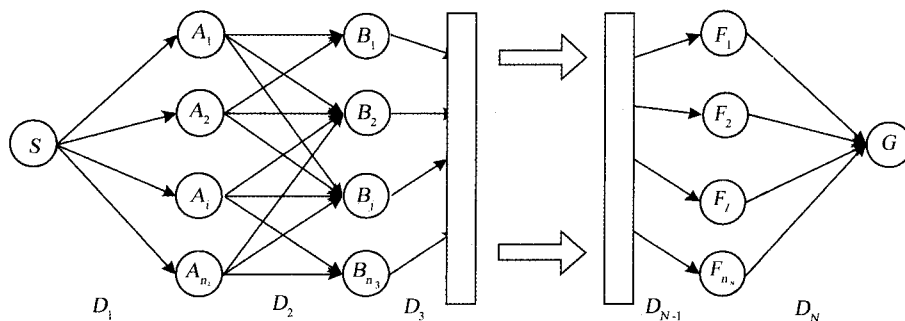


图1 多阶段洗钱网络图

在多阶段洗钱网络图中,阶段之间存在关联,每一阶段的决策变量相当于下一阶段的状态变量,图 1 中节点 A_i, B_j, F_k 均表示一种洗钱方式,代表一个洗钱环节,边为节点间的连线,表示节点间的直接资金转移路径,边的属性有 3 个:转移风险、转移时间以及资金转移容量(大额可疑交易报告规定的监测上限). D_k 表示第 k 阶段, $k = 1, 2, \dots, N, N$ 为阶段个数, n_k 表示第 k 个阶段的节点数目.

3 多阶段多目标洗钱网络路径优化模型

不同公职人员对洗钱风险、洗钱时间、洗钱量等目标有着不同的选择顺序,本文着重研究以“洗钱量最大为第一目标、时间上限为第二目标、风险最小为第三目标”的多阶段多目标洗钱网络路径优化问题,洗钱量和时间为绝对目标,风险为相对目标.根据多阶段洗钱网络图,本文将整个洗钱过程划分为 N 个阶段,每一个阶段都将需要进行决策,从而确定下一阶段的状态.本文期望利用多阶段多目标优化模型来进行路径决策分析^[11],选出一个尽可能满足 3 个目标的最优洗钱路径组合方案.

为简化问题的考虑,不失一般性,本文提出两点假设:

假设一,洗钱者只在放置阶段开始时(即第 1 阶段初),同时向各个节点投入一定数额的非法资金,在其后的过程中不再增加非法资金投入;

假设二,考虑到非法资金转账的特点,两个节点间可能会重复转账多次,本文假设两节点间的转账频次不超过可疑交易报告的频次监测上限,并且相邻两次转账有一定的时间间隔.

为了阐述多阶段多目标洗钱网络路径优化模型,本文将定义一些参数变量,具体见表 1.

表 1 参数变量

变量	含义
N	阶段数量
d_k^i	k 阶段初第 i 节点的资金转移成本
c_k^{ij}	k 阶段初第 i 节点向 $k+1$ 阶段初第 j 节点资金转移容量
f_k^{ij}	k 阶段初第 i 节点向 $k+1$ 阶段初第 j 节点资金转移风险
x_k^{ij}	k 阶段初第 i 节点向 $k+1$ 阶段初第 j 节点资金转移量
Q_k^i	k 阶段初第 i 节点资金储存量
t_k^{ij}	k 阶段初第 i 节点流入 $k+1$ 阶段初第 j 节点并完成洗钱时间

3.1 目标函数

目标 1:以总体洗钱量尽可能大为目标 1,而总体洗钱量是由第 N 阶段末时洗钱资金转移总量决定的,即

$$\max Z = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^{n_N} x_N^{ij}. \quad (1)$$

目标 2:以总体时间低于一定时间上限 T 为目标 2,本文要解决的是多阶段多目标洗钱网络路径优化决策问题,需要寻求最优洗钱路径组合来实现多个洗钱目标,则完成整个洗钱过程的总体时间由所有路径中所需时间最长的一条路径来决定,即

$$\max \left\{ \sum_{k=1}^N t_k^{ij} \right\} \leq T. \quad (2)$$

目标 3:以总体风险尽可能小为目标 3,本文中总体风险用所有路径中的最大风险来衡量,由于风险用概率表示,因此某条路径的风险即指该条路径上各段支路的风险概率之积,在研究中总体风险采用 Jensen 连乘模型^[12]:

$$F = \max \prod_{k=1}^N \{f_k^{ij}\}. \quad (3)$$

根据风险要求,有:

$$\min F = \max \prod_{k=1}^N \{f_k^{ij}\}. \quad (4)$$

3.2 约束条件

(1) 路径容量约束.任意一个中间网络节点代表一种洗钱方式,任何一个节点向另一个节点资金转移都会受到央行颁布的大额可疑交易报告规定的监测上限约束^[13],即:

$$x_k^{ij} \leq c_k^{ij} (k = 1, 2, \dots, N). \quad (5)$$

(2) 中间账户节点流量约束.由于在洗钱过程中每一种账户洗钱方式都有一定的成本,因此资金量是逐步衰减的,这样上一阶段节点流入下一阶段节点的洗钱量减去成本,必须大于等于下一阶段节点流出去的洗

钱量,即:

$$\sum_{i=1}^{n_k} x_k^i (1 - d_{k+1}^i) \geq \sum_{i=1}^{n_{k+2}} x_{k+1}^i, (k = 1, 2, \dots, N). \tag{6}$$

结合以上分析,可建立如下的多阶段多目标资金转移路径决策优化模型,即:

$$\max Z = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^{n_N} x_N^i, \tag{7}$$

$$\max \left\{ \sum_{k=1}^N t_k^i \right\} \leq T, \tag{8}$$

$$\min F = \max \prod_{k=1}^N \{f_k^i\}, \tag{9}$$

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{n_{k+2}} x_{k+1}^i &\leq \sum_{i=1}^{n_k} x_k^i (1 - d_{k+1}^i), \\ \text{s. t } 0 &\leq x_k^i \leq c_k^i, \end{aligned} \tag{10}$$

$$d_k^i \geq 0, c_k^i \geq 0, k = 1, 2, \dots, N.$$

4 基于多阶段多目标洗钱路径优化模型的多重动态规划算法

在本文的算法研究中,主要分两个步骤进行,第一步在最小风险基础上追求最大洗钱量,第二步在最大洗钱量的基础上通过降低风险要求对时间进行调整,以满足时间约束. 欲使总体风险尽可能小,那么在进行资金量分配时就需要从风险最小的路径逐次进行分配,此时问题转化成求最小风险路径,可用多重动态规划算法进行求解. 多重动态规划算法是以动态规划法为基础,多次利用动态规划法进行计算,首先逆序求出最小风险路径,然后顺序回代从起点逐段向终点进行最大资金量分配,直至找出最优洗钱路径组合^[14-16]. 该方法克服了直接引用动态规划方法难以解决问题的不足之处,然而又吸取了动态规划法的优点,由于多重动态规划算法是多次运用动态规划方法进行寻优,故所得结果是最优的,其计算步骤如下.

第 1 步:暂不考虑时间限制,在最小风险基础上追求最大洗钱量.

1) 根据动态规划的逆序递推算法求解一条最小风险路径^[17],将此问题看作一个 N 阶段决策问题. 设状态变量 s_k 表示第 k 阶段初的节点账号,决策变量 $u_k(s_k)$ 表示第 k 阶段从状态 s_k 出发所做的决策.

状态转移方程:

$$s_{k+1} = u_k(s_k), k = 1, 2, \dots, N. \tag{11}$$

允许决策集合:

$$D_k(s_k) = \{u_k(s_k)\}, k = 1, 2, \dots, N. \tag{12}$$

最优值函数 $f_k(s_k)$ 表示从第 k 阶段的状态 s_k 开始到第 N 阶段终止状态的最小风险路径,即

$$f_k(s_k) = \underset{u_k \in D_k(s_k)}{\text{opt}} \prod_{i=k}^N v_i(s_i, u_i), \tag{13}$$

其中, $v_i(s_i, u_i)$ 表示在第 i 阶段由点 s_i 到点 $s_{i+1} = u_i(s_i)$ 的资金转移风险.

此问题中的指标函数为连乘积形式,而不是连加形式,但仍满足可分离性和递推关系,其中边界条件为 1. 因而可以写出动态规划的逆序递推关系为:

$$\begin{cases} f_k(s_k) = \underset{u_k \in D_k(s_k)}{\text{opt}} \{v_k(s_k, u_k(s_k)) \cdot f_{k+1}(u_k(s_k))\}, k = N, N-1, \dots, 1, \\ f_{N+1}(s_{N+1}) = 1. \end{cases} \tag{14}$$

然后,逐步计算出 $f_N(s_N), f_{N-1}(s_{N-1}), \dots, f_1(s_1)$ 及相应的决策函数 $u_N(s_N), u_{N-1}(s_{N-1}), \dots, u_1(s_1)$,由反推运算即可得出一条最小风险路径.

2) 顺序回代进行洗钱量分配,遵循中间节点的流量约束以及路径容量约束,尽可能最大程度地进行资金转移,令

$$x_k^j = \min\{x_{k-1}^j(1-d_k), c_k^j\}. \tag{15}$$

3) 令 $k = N$, 判断第 k 阶段初状态 s_i 是否有冗余, 若此时 $\sum_{j=1}^M x_k^j < x_{k-1}^j(1-d_k)$, 且去掉路径 $s_i \rightarrow s_{i+1}$ 后依然有 $D_k(s_i) \notin \phi$, 则表示状态 s_i 还有冗余并且可以选择其他路径向下一阶段进行转账. 此时, 以 s_i 为起点, G 为终点, 重新构造洗钱网络图, 在新图上起点 s_i 的储存量调整为: $Q_i = x_{k-1}^j(1-d_k) - \sum_{j=1}^M x_k^j$, 然后回到 1), 重复上述步骤, 否则进入 4).

4) 从后往前依次令 $k = N-2, N-3, \dots, 1$, 重复 3), 直至 $k = 1$ 且所求路径中不存在 $\sum_{j=1}^M x_k^j < x_{k-1}^j(1-d_k)$ 及 $D_k(s_i) \notin \phi$ 的状态变量, 则此时已经达到最小风险下的最大洗钱量, 因此转入步骤 2.

第 2 步: 在最大洗钱量的基础上通过降低风险要求对时间进行调整^[18-19], 以满足时间约束.

1) 计算总体时间 $t = \max\{\sum_{k=1}^N t_k^j\}$, 若 $t \leq T$, 则上述解为最优解, 否则转入 2);

2) 找出时间最长路径 $S \rightarrow A_i \rightarrow \dots \rightarrow F_j \rightarrow G$, 在原图上去掉该条路径中 A_i 到 F_j 的所有路径, 然后以 A_i 为起点, G 为终点构建网络图, 回到步骤 1 再次计算, 重新选择路径分配洗钱量, 直至 $t = \max\{\sum_{k=1}^N t_k^j\} \leq T$.

算法流程图如图 2 所示.

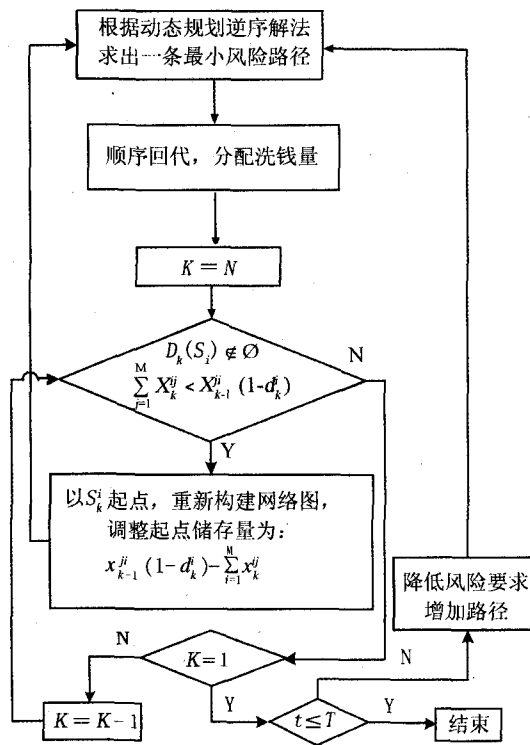


图2 算法流程图

5 实例应用

本文针对以下案例对上述算法进行实例应用研究. 如图 3 所示, 洗钱者将非法所得分散放入清洗系统, 期望通过投资证券、空壳公司、地下钱庄、存入银行、投资房产等多种洗钱方式, 进行资金拆分、归并、再拆分等多个阶段来完成洗钱活动, 使得非法资金远离犯罪来源, 被披上更多层的合法外衣, 并同时兼顾风险、成本、洗钱量、时间等多个洗钱因素, 期望从过程中寻求最优洗钱路径组合, 使得满足在一定的时间限制内完成

洗钱活动,并且风险最小、洗钱量最大的多个洗钱目标.根据上述案例将洗钱过程划分为 4 个阶段,构建洗钱网络图如图 4 所示.

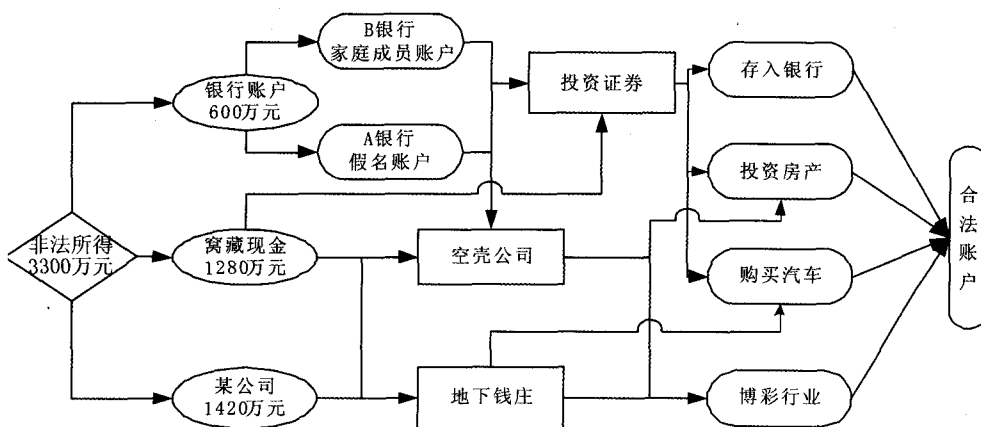


图3 案例图

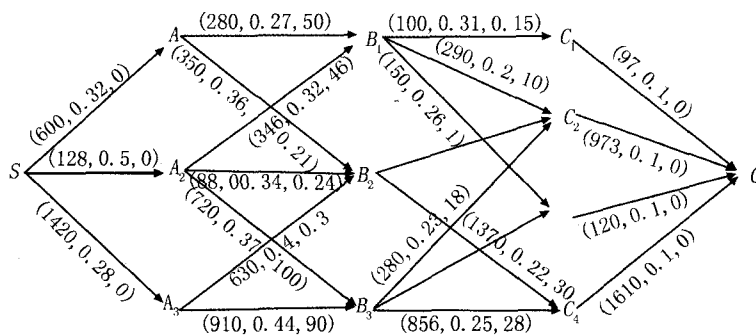


图4 洗钱网络图

图 4 中 S 表示非法所得 3300 万元,G 表示最终指定的合法账户,中间节点代表各种洗钱方式.其中, $A_i(i = 1,2,3)$ 分别表示存入银行、现金形式、公司形式, $B_j(j = 1,2,3)$ 分别表示投资证券、空壳公司、地下钱庄, $C_k(k = 1, \dots, 4)$ 分别表示存入银行、投资饭店、购买汽车、博彩行业.每条边上的属性依次表示资金转移容量、风险和概率.

已知每种洗钱方式的成本与洗钱量之间的比例分别为:0.03、0.02、0.1、0.23、0.3、0.15、0.03、0.09、0.2、0.12.洗钱者期望完成洗钱活动的时间上限 $T = 120$ d.根据上述算法寻求基于时间约束的最小风险最大洗钱量的多阶段最优洗钱路径组合.

第 1 步:根据动态规划的逆序递推算求解一条最小风险路径; $S \rightarrow A_1 \rightarrow B_1 \rightarrow C_2 \rightarrow G$;

第 2 步:根据节点流量以及路径容量约束,顺序回代对各段支路进行资金转移量分配,令 $x_1^{11} = 600$, $x_2^{11} = 280$, $x_3^{12} = 215.6$, $x_4^{21} = 196.2$;

第 3 步:令 $k = 4$,判断各阶段初状态节点是否有冗余,发现 $x_2^{11} < x_1^{11}(1 - d_2^1)$,且去掉路径 $A_1 B_1$ 后依然有 $D_2(A_1) \notin \phi$,此时以 A_1 为起点,G 为终点重新构建网络图,起点 A_1 储存量调整为: $Q_2^1 = x_1^{11}(1 - d_2^1) - x_2^{11}$,然后回到第 1 步重复以上步骤,直至求得最小风险下的最大洗钱量的洗钱路径组合如图 5 所示;

第 4 步,计算时间 $t = \max\left\{\sum_{k=1}^N t_k^j\right\} = 126 > T(n = 1,2, \dots, 12)$,找出时间最长路径 $S \rightarrow A_2 \rightarrow B_3 \rightarrow C_4 \rightarrow G$,在原图上去掉该条路径中 A_2 到 C_4 之间的路径,然后以 A_2 为起点,G 为终点构建网络图,回到步骤 1 再次进行计算,重新选择路径分配洗钱量,直至 $t = \max\left\{\sum_{k=1}^N t_k^j\right\} \leq T$.

本实例计算采取的是降低风险要求增加路径的方法来达到最优时间,最终得出最大洗钱量为 2065.1 万

元,完成此洗钱过程所需要的时间为116 d,最优洗钱路径组合如图6所示.

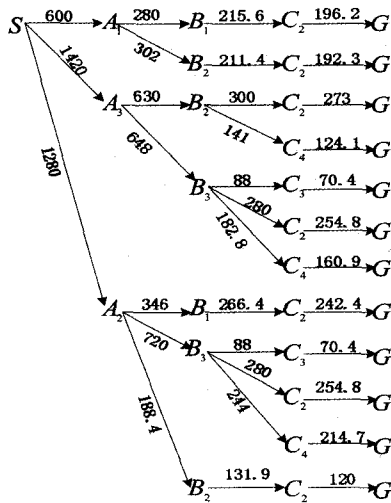


图5 最小风险下的最大洗钱量

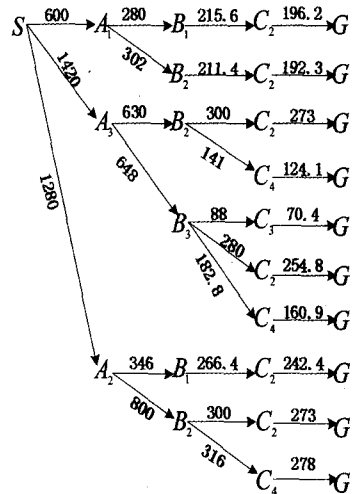


图6 最优洗钱路径组合

6 结 论

本文针对多阶段洗钱资金转移路径的优化决策问题,在构造多阶段洗钱网络图的基础上,建立了多阶段多目标洗钱网络路径优化模型,并利用多重动态规划方法和最大流理论求出了最优洗钱路径组合方案,实际算例结果证明所提出的洗钱路径优化模型及算法能够同时实现洗钱量最大、不超过容忍期限、风险最小等多个洗钱目标,克服了以往单阶段洗钱网络模型与算法对解决实际问题的不足,同时为解决多阶段、多目标的动态阶段问题开辟了新的途径.

本文所给的算法主要针对以洗钱量为第一目标、时间为第二目标,风险为第三目标的优化问题,而对于其他目标次序的多阶段洗钱网络路径优化问题还需要进一步深入研究.

参 考 文 献

[1] 薛耀文,张鹏柱,范 静.基于成本约束的智能节点洗钱效用与路径分析[J].清华大学学报(自然科学版),2006,46(s1):1165-1171.

[2] 杨冬梅,吴冲锋.金融网络中洗钱资金异常转移路径的经济成本模型[J].系统工程理论与实践,2006(5):23-29.

[3] 李琼婕.有风险偏好的不法公职人员洗钱路径选择及应对策略[J].海南金融,2015(2):46-49.

[4] 蔡志强,孙树栋.不确定环境下多阶段多目标决策模型[J].系统工程理论与实践,2010,30(9):1622-1629.

[5] 熊德琪,殷佩海.多阶段系统多目标优化的模糊优选动态规划方法[J].中国工程科学,2000,2(9):65-69.

[6] 周 茜.并行动态规划算法及其在水库(群)优化调度中的应用[D].北京:华北电力大学,2014.

[7] 李琼婕,薛耀文.最小费用最大流维度拓展及其在反洗钱中的应用研究[J].山西师范大学学报(自然科学版),2014,28(1):28-32.

[8] 梁英武.支付交易与反洗钱[M].北京:中国金融出版社,2003.

[9] 薛耀文,刘晋霞,张鹏柱.复杂金融网络中洗钱效用与路径分析[J].太原科技大学学报,2005,26(3):228-232.

[10] 杜一凡.反洗钱监测准则量化与仿真系统研究[D].太原:太原科技大学,2014.

[11] 陈 兴,王 勇.多阶段多目标多部门应急决策模型[J].系统工程理论与实践,2010,30(11):1977-1985.

[12] 陈守煜,马建琴.多维多目标模糊优选动态规划及其在农业灌溉中的应用[J].水利学报,2002(4):33-38.

[13] 薛耀文,王雪娟,张鹏柱.洗钱交易模式及其防范分析[J].系统管理学报,2008,17(4):418-422.

[14] 李仲飞,姚海洋.不确定退出时间和随机市场环境下风险资产的动态投资组合选择[J].系统工程理论与实践,2014,34(11):2737-2747.

[15] 徐 娟,汪小京.多供应商环境下的最优采购策略[J].系统管理学报,2014,23(6):883-890.

[16] 李振华,王浣尘.风险资本投资组合多阶段多目标决策分析[J].系统工程,2002,20(6):71-76.

[17] 钱颂迪.运筹学[M].3版.北京:清华大学出版社,2005:251-276.

[18] 李珍萍.最短时限运输问题及解法[J].中国管理科学,2001,9(1):50-56.

[19] 谢友才.运输最短时限问题的网络解法及讨论[J].运筹与管理,2003,12(6):62-66.

Multi-stage and Multi-object Optimization Model for Money Laundering Network Path and Its Arithmetic Study

ZHANG Yan^a, XUE Yaowen^b

(a. School of Mathematics and Computer Science; b. School of Economic and Management, Shanxi Normal University, Linfen 041004, China)

Abstract: In view of the multi-stage laundering money transfer path optimization decision problems, this paper proposes a multi-stage dynamic path planning model with the maximized amount of money-laundering and minimized risk as the decision-making goal on the condition of time pressure. Furthermore, this paper also puts forward an algorithm of solving the model by using the theory of multiple dynamic programming method and the maximum flow algorithm. Finally, the feasibility of the arithmetic has been proved by an example of the algorithm. This model can not only find the characteristic of money laundering behavior from laundering money transfer path, but also discover and track money laundering trails and the entire process, contributing to monitoring effectively all aspects of the money laundering process and reducing the cost of money laundering detection.

Keywords: multi-stage; multi-object; money laundering path; model; arithmetic

(上接第 139 页)

Diversity and Screening of Culturable Bacteria with Xylanase in Old Yellow River Course Wetland

MENG Xiaolin¹, HUANG Jianrong¹, MING Hong², GUO Qianqian¹, NIE Guoxing¹

(1. College of Fisheries, Henan Normal University, Xinxiang 453007, China; 2. Institute of Synthetic Biology, Department of Life Science, Xinxiang Medical University, Xinxiang 453003, China)

Abstract: To investigate the diversity of soil culturable bacteria of the Old Yellow River Course wetland and exploring their xylanase producing activity. Total 119 strains were isolated by using conventional culture-dependent method. After dereplication and removing the similar strains, phylogenetic analysis based on 16S rRNA gene sequences comparisons were further performed. The results showed that the 93 isolates belong to 21 genera of 18 families in 4 phylogenetic groups. The most abundant and diverse isolates was the phylum *Proteobacteria* (41 strains, 44%). The diversity indices of this region including Shannon-Wiener index (H'), the Simpson index (D), the Shannon evenness index (E) and the Margalef index (dMa) were 3.66, 0.968, 10.589 and 0.941 respectively, and the diversity indices of site Qinglong Lake were higher than site Liuzhai. Xylanase screening results showed that the positive rate about 11.82% in 93 strains. The abundant genus were *Streptomyces* and *Bacillus*. This experimental results showed that there were abundant bacterial species diversity and phylogenetic diversity in the Old Yellow River Course wetland. Meanwhile, these strains exhibited stronger activity of xylanase, which could provide the high-quality experimental for the research and development of functional compounds.

Keywords: Old Yellow River Course wetland; culturable bacteria; phylogenetic analysis; biodiversity; xylanase