**程序说明**

1. 本程序基于Python编写，首先需要安装所需的库文件：

$ pip install pyymal

$ pip install gurobipy

注：Gurobi是数学规划优化的**商业系统**，您需要购买商业许可或使用学术许可来解锁其全部功能（如求解大规模优化问题）。

1. 库文件就绪后，可在Main.py文件中设置程序运行的参数，各参数意义如下：

|  |  |
| --- | --- |
| **参数** | **意义** |
| verbose | 是否输出详细日志 |
| pathData | 输入数据的路径 |
| SetInitCurrency() | 设定起始货币种类 |
| SetTermCurrency() | 设定目标货币种类 |
| SetInitCurrencyQuantity() | 设定起始货币数量 |
| SetFeeLimit() | 设定手续费限制 |

1. 完成设定后，运行Main.py文件即可开始优化并在控制台输出模型信息与优化结果。

**数据结构说明**

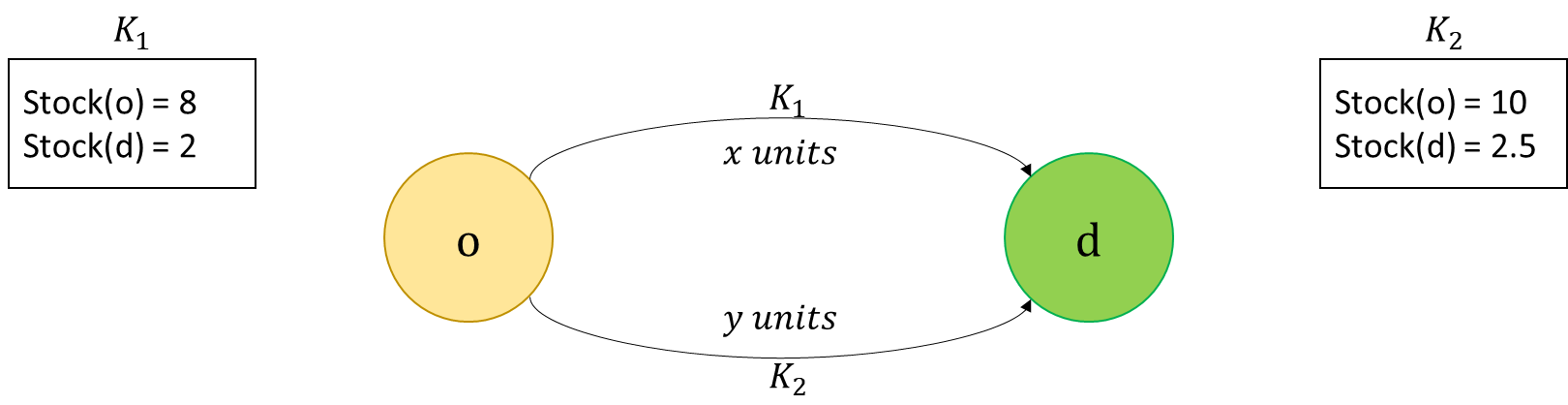
Text

Description automatically generated

数据以yaml格式储存，使用Python读取时会被解析为字典的列表。以右图所示的数据为例，列表中共有两个字典，分别存储两个交易所的信息。所含信息有交易所名称(nameExchange)，货币存量(stocks)，交易所相关手续费(B1)，交易量相关手续费(B2)。手续费的类型为字典的字典，上级字典的键为起始货币种类，下级字典的键为目标货币的种类，值为将起始货币兑换位目标货币所需要的手续费。

**测试案例**

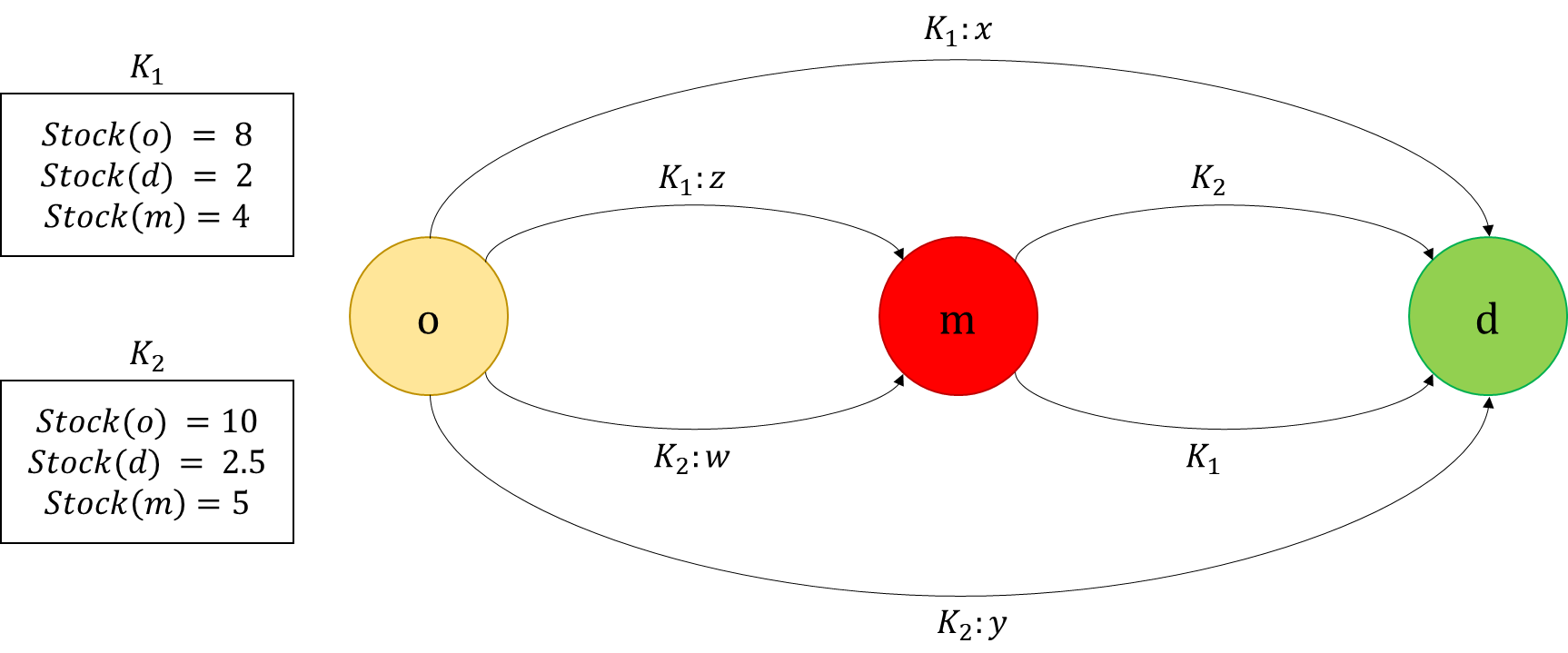
**测试案例1**：仅考虑两个渠道，两种货币，其中的货币存量为，的货币存量为，兑换目标为：将1单位货币全部兑换为货币并最大化所得的货币数量，示意图如下：

**

经程序计算，最优兑换策略为：将0.4477单位和0.5522单位的货币分别经由渠道兑换为货币，总计获得0.2368单位的货币。

**数学推导：**

**测试案例2**：仅考虑两个渠道，三种货币，其中的货币存量为，的货币存量为，兑换目标为：将1单位货币全部兑换为货币并最大化所得的货币数量，示意图如下：

****

经程序计算，使用最优兑换策略总计获得0.2410单位的货币。最优兑换策略如下：

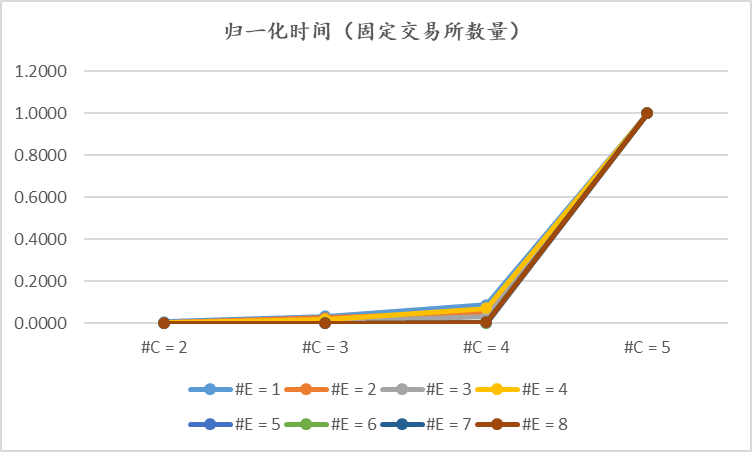
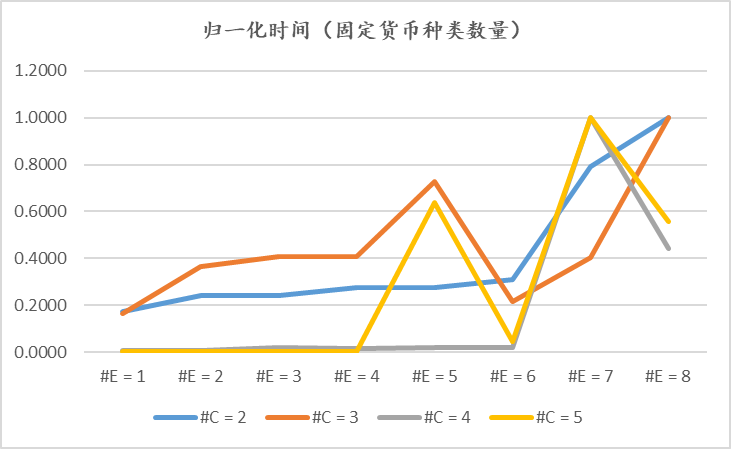
**合理性检查：**本案例相比于案例1引入额外新币种，兑换路径数量增加，且两种货币量保持不变，因而最终收益的货币数量大于案例1

**算法效率分析**

模型的规模主要由货币种类数量(#E)和交易所数量(#C)决定，以整数对(#E, #C)表示，本节研究以上两种因素对于求解时间的影响。测试方法如下：程序首先根据输入的(#E, #C)生成相应数量的货币种类和交易所，每个交易所中的各类货币库存为1到10间的随机数（均匀分布），手续费初始化为0，求解每组数据并记录求解时间，结果如下表所示，其中每个单元格内的数字代表某(#E, #C)参数下的优化求解时间，单位是秒：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **货币种类数量**  **交易所数量** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| **1** | 0.0050 | 0.0259 | 0.0688 | 0.7744 |
| **2** | 0.0069 | 0.0578 | 0.1147 | 2.2861 |
| **3** | 0.0070 | 0.0648 | 0.2783 | 9.1169 |
| **4** | 0.0080 | 0.0648 | 0.2324 | 3.2145 |
| **5** | 0.0079 | 0.1157 | 0.2832 | 1507.9 |
| **6** | 0.0090 | 0.0339 | 0.2862 | 105.57 |
| **7** | 0.0229 | 0.0638 | 13.844 | 2362.5 |
| **8** | 0.0289 | 0.1586 | 6.1128 | 1315.6 |

若固定货币种类数量或交易所数量，则优化耗时与交易所数量的关系如下图所示（为表现时间变化趋势，每条曲线用其最大值归一化）：



由此可知，对于大规模问题，使用精确算法的计算时间将无法承受，必须进行简化。

**测试设备信息**

中央处理器：Intel(R) Core(TM) i5-8300H CPU @ 2.30GHz

内存：16 GB

操作系统：Windows 10专业版

解释器版本：Python 3.8.1

求解软件：Gurobi 9.1.1

**子环路消除约束的探讨**

建模过程中，为避免兑换路径形成不合理的子环路，曾引入“兑换路径子环路消除”约束，现对比有无该约束对优化过程的影响。下表为有/无“兑换路径子环路消除”约束时的模型求解时间，观察**可知，子环路消除约束的确对计算时间有一定影响**。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **有子环路消除** | | **无子环路消除** | |
| **货币种类数量**  **交易所数量** | **2** | **3** | **2** | **3** |
| **1** | 0.0044 | 0.0180 | 0.0060 | 0.0131 |
| **2** | 0.0072 | 0.0236 | 0.0068 | 0.0209 |
| **3** | 0.0075 | 0.0474 | 0.0069 | 0.0349 |
| **4** | 0.0195 | 0.1828 | 0.0138 | 0.0816 |
| **5** | 0.0190 | 0.0615 | 0.0165 | 0.0412 |
| **6** | 0.0200 | 0.1489 | 0.0193 | 0.1288 |
| **7** | 0.0244 | 0.4297 | 0.0195 | 0.3585 |
| **8** | 0.0229 | 0.3143 | 0.0204 | 0.2269 |
| **9** | 0.0240 | 0.4648 | 0.0238 | 0.2956 |

当货币种类数量大于或等于4时，无“兑换路径子环路消除”约束的模型**无法在合理时间内得到最优解**，**甚至在很长时间内无法得到可行解**。注：上表中每个单元格中的数值为求解时间，单位：秒。每个数值由50次计算平均后得到，且“有子环路消除”和“无子环路消除”使用的数据相同。

在以上测试中，有/无“兑换路径子环路消除”约束的两种模型所解得的**最优目标值相同**，但是**决策变量取值未必相同**，因为本身最优兑换路径就可能不唯一。

**总结：删除“兑换路径子环路消除”约束并未使模型取得更优解，并未显著增加运行效率，且仅能对微型模型在合理时间内完成求解。究其原因，可能是模型性质不同，求解器所选算法不同。将模型建模成为整数规划，其算法更成熟所以数值稳定性更好。**