### 回测框架

#### 版本：V6.0

* Codes文件夹：Single\_Asset.py和Portfolio.py，分别是单资产和组合回测器的程序
* Data文件夹：data.xlsx，回测所需价格和权重数据；以及data-示例.xlsx，作为输入数据的格式示例
* Output文件夹：单资产回测结果.xlsx和组合回测结果.xlsx，两个结果文件
* main.py：回测主程序
* 使用说明文件：Word版本，PDF版本

#### 依赖包

* pandas, numpy, scipy, matplotlib

#### 使用说明

* data.xlsx文件有两个工作表，分别为【数据】和【权重】。前者用于存放各资产的收盘价或净值序列，后者用于存放建仓和调仓日各资产的权重（其他日期的可以直接不记录）。
* 注意事项包括但不限于（1）出现在【权重】工作表的资产必须同时出现在【数据】工作表中；（2）对两个工作表序列的日期，除从早到晚排列、没有重复以外无特殊要求，具体处理逻辑在下文代码函数定义部分详解。
* 虽然我们不可能穷举出所有可能使得程序出bug的情形，但只要使用者的输入符合常识、参照data-示例.xlsx，就能尽量保证程序不出错。
* main.py中可以更改年化时使用的期数、无风险利率、希望截取的起止日期、输入输出路径、高低风险资产名称列表及相应费率等参数，然后直接运行，就可以得到单一资产和资产组合回测结果的Excel表格。

#### 代码函数/方法定义（为方便，下面函数和方法统称函数）

##### Single\_Asset.py：使用示例请参考程序最后if \_\_name\_\_ == ‘\_\_main\_\_’:之后的部分

* **初始化函数**
* \_\_init\_\_(self, ann: int, rf=0.0, data=None)
* 初始化一个单资产回测器对象。ann为年化时使用的期数，与收盘价/净值数据频率对应，如日频取250，周频取52，月频取12；rf为年化无风险利率，单位不带百分号，i.e.如果无风险利率为年化3%，输入rf=0.03，默认0；data为价格序列的DataFrame，格式对应data.xlsx中的【数据】工作表，可以不输入，设置这个参数是为了方便和其他程序对接，从而不用先导出到本地再读取。
* **读取价格信息函数**
* load\_sheet\_from\_file(self, input\_path: str, sheet\_name=’数据’)
* 读取data.xlsx文件中的收盘价/净值序列。input\_path为data.xlsx文件的路径；sheet\_name为对应的工作表名，默认数据。
* **数据日期切片函数**
* slice(self, start\_date=None, end\_date=None)
* 截取希望保留下来的时间段，start\_date和end\_date分别对应起止日期，若要输入，则格式为字符串，形式【YYYY-MM-DD】，默认None。可以只输入一个或者均不输入，只输入start\_date则会留下收盘价/净值序列中日期不早于start\_date的，只输入end\_date留下日期不晚于end\_date的，均不输入则无影响。
* **对给定序列进行回测函数**
* backtest\_series(self, nav\_series: pd.Series, annualize: bool)
* 对给定的序列进行回测，返回一个存储着回测结果的DataFrame。nav\_series为需要进行回测的收盘价/净值序列，输入什么就测什么，annualize为是否要对区间收益率进行复利折算得到年化收益率。该函数无需用户显式调用，而是将具体回测过程打包，作为backtest函数中对全期和不同年份的回测的接口而已。

计算了如下指标：区间收益率用最末收盘价除以最初收盘价减去1、年化收益率等于区间收益率（若annualize为False）或用初始化时给定的年化期数除以收益率序列长度作为年数计算区间收益率对应的年化复利（若annualize为True）、年化波动率等于收益率序列样本标准差乘以初始化时给定的年化期数的平方根、最大回撤、夏普比率、卡玛比率、最大回撤开始日期、最大回撤形成日期。设置两种计算年化收益率的方法是因为在backtest函数中分年度回测时已经将nav\_series切片好，此时不需要用复利方式来折算；同样，因为分年度的原因，最大回撤恢复日期可能需要用到切片好的nav\_series之后的数据，因此不在这里计算最大回撤恢复日期。

* **回测函数**  
  backtest(self, asset\_name: str)
* 单资产回测的核心程序，asset\_name为希望进行回测的资产名称。实际上就是将对应资产的完整序列以及分年度序列依次传入backtest\_series，再将各自结果拼接成一个大的DataFrame。其中分年度时，每个年度都以上一年度最后一个价格作为当年的开盘价，除非数据中没有更早的年度。在backtest\_series中无法计算的最大回撤恢复日期也在这里计算了。

回测得到的DataFrame会作为值存储在self.backtest\_results字典中，键为asset\_name。因此，若希望对多个资产进行回测，并不需要生成多个Single\_Asset对象，只需将其统一放入data.xlsx是数据工作表中，多次运行backtest。

* **最大回撤计算函数**  
  mdd(self, nav\_series: pd.Series)
* 给定一个收盘价/净值序列nav\_series，计算其对应的最大回撤、最大回撤开始日期、最大回撤形成日期并返回，逻辑比较直接。同样，无需用户显式调用，只是将具体回测过程打包，在backtest函数中被调用。
* **结果输出函数**
* output(self, output\_path: str, asset\_name\_list: list)
* 将self.backtest\_results中存储的回测结果导出到本地的一个Excel中，Excel文件路径为output\_path，需要输出的资产名称整理成列表形式的asset\_name\_list。输出文件中，一个工作表对应一个资产，工作表名为字典的键，也即资产名。

##### **Portfolio.py：**使用示例请参考程序最后if \_\_name\_\_ == ‘\_\_main\_\_’:之后的部分

* **初始化函数**
* \_\_init\_\_(self, ann: int, rf=0.0, data=None, weight=None)
* 初始化一个单资产回测器对象。ann为年化时使用的期数，与收盘价/净值数据频率对应，如日频取250，周频取52，月频取12；rf为年化无风险利率，单位不带百分号，i.e.如果无风险利率为年化3%，输入rf=0.03，默认0；data和weight分别为价格序列和建仓调仓日权重序列的DataFrame，格式分别对应data.xlsx中的【数据】和【权重】工作表，可以不输入，设置这两个参数是为了方便和其他程序对接，从而不用先导出到本地再读取。
* **读取价格和权重信息函数**
* load\_sheets\_from\_file(self, input\_path: str, data\_sheet\_name=’数据’, weight\_sheet\_name=’权重’)
* 读取data.xlsx文件中的收盘价/净值序列和权重序列。input\_path为data.xlsx文件的路径；data\_sheet\_name为收盘价/净值序列对应的工作表名，默认数据；weight\_sheet\_name为权重序列对应的工作表名，默认权重。
* **输入交易费用函数**  
  load\_fee\_rates(self, high\_risk\_name\_list=None, high\_risk\_fee\_rate=None, low\_risk\_name\_list=None, low\_risk\_fee\_rate=None)
* 为组合中的各资产指定交易费用，分为高风险和低风险两类资产。high\_risk\_name\_list和low\_risk\_name\_list分别为高风险和低风险各自包含的资产名称的列表，high\_risk\_fee\_rate和low\_risk\_fee\_rate则为高风险和低风险资产适用的费率，单位不带万分号，i.e.如果费率为万三，输入0.0003.函数中会检测是否有同时出现在高风险和低风险中的资产，以及是否self.weight即组合中所有资产都被指定了。
* **数据日期处理函数**
* slice(self, start\_date=None, end\_date=None)
* 截取希望保留下来的时间段，start\_date和end\_date分别对应起止日期，若要输入，则格式为字符串，形式【YYYY-MM-DD】，默认None。可以只输入一个或者均不输入，只输入start\_date则会留下收盘价/净值序列中日期不早于start\_date的，只输入end\_date留下日期不晚于end\_date的，均不输入则无影响。

此外，由于权重序列和收盘价/净值序列的日期不一定严格对应，函数除了切片还做了一些后续处理；但为了和Single\_Asset保持统一，函数名仍然为slice。具体来说，日期处理逻辑如下：

1. 首先将self.data的收盘价/净值序列根据start\_date和end\_date切片，保留日期介于二者之间的部分。然后再根据处理完后的self.data的起止日期去截取self.weight的权重序列，因为所有早于或晚于收盘价/净值序列的权重信息实质上都是无意义的。
2. 遍历（1）中处理完成后的self.weight索引的日期，依次处理，下称被遍历的日期为日期A。如果日期A同样存在于self.data中，其对应的权重信息就可以直接被使用。如果日期A不存在于self.data中（其中一种可能的情形是日度价格序列只有收盘价而月度调仓使用了月末自然日），则寻找self.data中日期A之前的最后一个日期（下称日期B）。若日期B在self.weight中已经指定了权重信息，则只能将self.weight中对应日期A的权重信息舍弃；但若日期B在self.weight中尚未指定权重，就将self.weight中对应日期A的权重信息修正为对应日期B。这样，我们就可以考虑价格序列只有日度收盘价而调仓使用月末自然日的情况。
3. 最终，对（1）和（2）中处理好的self.data和self.weight，再将self.data中早于self.weight起始日的部分舍弃掉。这样，二者开始于同一个建仓日。

* **交易费用函数**  
  calculate\_fee(self, sb: pd.Series, sa: pd.Series, f: pd.Series, pa: pd.Series)
* 计算某次调仓产生的交易费用，返回float类型的计算结果。sb为调仓前各资产持有数量向量，sa为调仓后持有数量向量，f为各资产交易费率，pa为调仓时各资产的价格向量。按定义，交易费用就是sum(|sb-sa|\*f\*pa)。该函数无需用户显式调用，而是为后续生成组合净值曲线的generate\_nav函数中具体计算过程提供一个接口。
* **生成组合净值函数**  
  generate\_nav(self)
* 根据slice函数处理好的收盘价/净值序列和权重序列，计算组合考虑费用之后的净值曲线，以及各种详细参数，如持股数量、资产权重、换手率等。计算结果储存在self.backtest\_results的字典中。详细计算过程可参考程序代码和注释，此处列出几个核心逻辑：  
  （1）建仓日产生了交易费用，但将组合净值初始化为1.  
  （2）若某天不是调仓日，则持有股数不变，交易费用为0，组合净值变化等于各资产持有数量乘以资产价格变化再求和。  
  （3）若某天是调仓日，考虑到self.data是收盘价序列，还需要先将当天的资产价格变化考虑进去，计算调仓前一瞬间的资产组合净值（也就是，假设这天不是调仓日时的净值），再按照收盘价调仓，调仓后净值等于调仓前减去交易费用。  
  （4）调仓计算需要解一个方程。假设调仓前后各资产持有数量向量分别为sb、sa，调仓日收盘价向量为pa，调仓目标权重为wa，各资产交易费率向量为f，调仓前后组合净值分别为NAVb、NAVa，注意到sa和NAVa都是未知的。首先，按照个数=总价/价格的定义，sa=wa\*NAVa/pa；其次，调仓前后净值减少幅度等于交易费用，因此sum(|sb-sa|\*f\*pa)=NAVb-NAVa。将sa表达式代入后一个等式，就得到一个关于NAVa的一元方程，因此可以求解出NAVa，再代回sa表达式得到sa。
* **回测函数**  
  backtest(self)
* 实际上，就是在生成了组合净值曲线之后用Single\_Asset对该净值曲线做单资产回测，并在其生成的回测结果表格（参见Single\_Asset.py的backtest函数）基础上多加了记录换手率信息的列。对于某资产，只有在调仓日才产生换手率，当天换手率等于调仓前后资产占组合净值权重差的绝对值，一段时间的换手率则是将其内所有日期的换手率简单相加。各资产各调仓日换手率的计算是在generate\_nav函数中完成的，但按资产分年度和全期汇总是在backtest函数中进行的。
* **结果输出函数**
* output(self, output\_path: str)
* 将self.backtest\_results中存储的回测结果导出到本地的一个Excel中，Excel文件路径为output\_path。

### 更新

V6.1：调整了Portfolio.py输出结果时对分年度资产换手率的计算方式。如果收盘价/净值序列数据第一年只有一个日期，这一年不应被考虑在分年度回测内，而只不过是第一年这一个日期的数据作为第二年的开盘价而已。Single\_Asset.py在分年度计算各种风险收益指标时已考虑了这种情况；但在V6.0中，Portfolio.py分年度计算换手率并不是使用组合净值曲线创建一个Single\_Asset实例并运行有关方法得到（因为单资产回测情况本身就没有换手率可言），而是另外根据收盘价/净值序列对应的详细资产权重序列计算并汇总得到，该计算中并未考虑到上述情况。即，如果收盘价/净值序列数据第一年只有一个日期，例如2018年12月31日至今的日度收盘价数据，V6.0汇总后输出的结果中会多出一行2018年，资产换手率等于2018年12月31日建仓权重，别的指标都为空。V6.1分年度计算换手率时则按照与Single\_Asset.py分年度回测一样的逻辑考虑了这种情况，在上面的例子中，2018年12月31日将被包括在2019年里。

V6.2：调整了Portfolio.py对异常输入结果的反馈方式。（1）如果输入数据的data或weight中存在空值，在调用生成组合净值函数generate\_nav()时，用牛顿法解方程组会出现在规定迭代次数内无法得到解的﻿RuntimeError，为了增加对报错的解释，将报错提示数据中出现了意外情况；而在Single\_Asset.py中，原在调用﻿backtest()时会将数据中的空值进行去除，目前无需改动。（2）增加了对weight数据合法性的检验，目前假设对于每个资产的weight数据，应满足绝对值小于等于1的条件，若出现了异常值，则在调用slice()函数时报错提示weight数据中出现了绝对值大于1的情况。