

## 基于交易规则的模糊系统交易策略设计（初步想法）

## 内容摘要

本文采用模糊系统理论利用交易规则将股票的技术分析指标转换为超额需求函数,从而推出动态价格方程,模型构建思路为:定义模糊集来表示技术交易规则中的模糊项,再将每个技术交易启发式转化为一组模糊 IF-THEN 规则,最后将模糊 IF-THEN 规则组合成一个模糊系统进而推导出动态价格方程;本文将介绍由交易规则构建模糊系统的数学特性,例如模型的逼近特性,波动率短期可预性,参数的敏感性分析等。蒙特卡罗模拟结果显示,模糊动态价格模型推导的价格具有与物质世界相似的形态,分别是收敛、混沌、震荡对应着固态、液态、气态。本文根据模型特性提出两种交易策略:1)跟随大买家,买入当大买家开始出现且没有大卖家的迹象时,一直持有知道大买家消失;2)随风骑行,当大买家的力量开始超过大卖家的力量时买入股票,一旦发生相反的情况则卖出股票。香港股票市场历史数据的算例分析说明,如果投资者从买入并持有的被动策略转为跟随大买卖家或随风骑行策略,净利润平均增长约 130%到 148%,风险(以表标准差衡量)将减少约 32%到 34.88%。

**关键词:** 模糊系统 非线性动态 股票市场 交易策略 技术分析 蒙特卡洛模拟

---

# 1 引言

总所周知，了解股票价格动态是人类面临最严峻的挑战之一。投资者的盲目性与宏观经济的不稳定性使得股票价格的运作机制变得十分复杂。目前研究股票价格动态变化主要有三种方法：1、随机游走模型<sup>[1]</sup>，2、基于代理的模型<sup>[2]</sup>，和 3、技术分析<sup>[3]</sup>。随机游走模型是经济金融中股票动态的主流学术研究基点和起点。至少有两个以随机游走模型为起点的研究被授予诺贝尔奖：1997 年 Black 和 Scholes 的期权定价模型<sup>[4]</sup>和 2003 年恩格尔的 ARCH 模型<sup>[5]</sup>。随机游走模型最基本的假设是价格的变化（资产的回报）是随机且独立的，因此过去的价格在预测未来价格变化时是毫无作用的。随机游走模型的优点是它是真实股票市场的一个很好的近似值，为真实的股票市场提供一个简单的模型，基于此模型，关于金融和经济中的其他重要问题，如期权定价<sup>[7]</sup>和波动率建模<sup>[8][9]</sup>，可以在数学上进行严谨的证明。随机游走模型的一个缺点在于它没有提供研究价格形成机制的微观结构的框架。另一方面，基于代理的模型通过采用自下而上的方法直接模拟不同类型的交易者（如原教旨主义者和图表人员）<sup>[10]</sup>的操作来克服这个问题。基于代理的优势在于可以将不同类型的交易者和各种交易细节合并到模型中，并且可以进行拓展模拟以研究由此产生的价格动态。目前基于代理的模型主要问题是参数太多且自由度太大，因此难以确定股票的价格特征。这种复杂性也使得很难对实际股票价格模型进行校准。第三种研究股票价格变化的方法是技术分析，其总结了人类数百年来从股票市场获得的交易经验。技术分析最基本的思想是股票价格具有趋势性，因此过去的价格信息对于预测未来的价值具有重要作用，但主流的学术研究并不认为技术分析是一门严肃的科学学科，并声称该方法只是“图表阅读”<sup>[11]</sup>；虽然学者们坚持有效市场假说<sup>[12]</sup>并且相信股票价格是不可预测的，但在实际的交易中人们利用技术分析去追踪价格趋势从而获得巨额的收益的例子早已屡见不鲜。更深一层地说，技术分析的最具有争议的是大多数的技术交易规则需要人类主观的判断，原因是这些规则都是用自然语言表达的，其中的模糊词和模糊描述无处不在。举个例子，假设有一个交易策略：当股票价格上升的势头过于强劲，那么就会出现“超买”现象，这时候应当在当前价格之下的某处设置跟踪止损点来保证收益，那么有人会提出质疑，价格上升得“强劲”是有多强劲？“某处”是指的是哪里？跟踪止损应该甚至多少百分比或者金额？这就是质疑者留给技术策略交易者们的问题，所以本文使用的模糊系统理论就发挥了重要的作用。

模糊理论是由 Lotfi A. Zadeh 于 1965 年在名为“模糊集合”的开创性文章中建立的<sup>[13]</sup>。在 20 世纪 60 年代初期，他认为经典的控制论过于强调精确性反而无法处理复杂的系统，需要一种彻底不同的数学来解决问题——关于模糊量的数学，该数学不能用概率分布来描述，后来这些思想正式成为“模糊集合”（Fuzzy Sets）。到了 20 世纪

70 年代, 此时归功于 Zadeh 的贡献, 模糊理论形成一个独立的领域, 他在 1965 年提出模糊集合以后, 又在 1968 年提出模糊算法的概念<sup>[14]</sup>, 在 1970 年提出模糊决策 (Bellman 和 Zadeh)<sup>[15]</sup>, 同时在 1973 年 Zadeh 发表一篇开创性的文章《分析复杂系统和决策过程的新方法纲要》, 该文提出了用模糊 IF-THEN 规则来量化人类知识。在 1975 年 Mamdani 和 Assilian 创立了模糊控制器的基本框架, 并将模糊控制器用于控制蒸汽机。他们的研究成果发表在文章《带有模糊逻辑控制器的语言合成实验》中, 他们发现模糊控制器非常易于构造且运作效果较好。20 世纪 80 年代, 日本工程师们迅速发现模糊控制器对许多问题都易于设计, 而且效果很好, 因为模糊控制不需要过程的数学模型, 可以应用到很多因数学模型未知而无法使用传统控制论的系统中去。1980 年, Sugeno 开创了日本首次模糊应用——控制富士电子水净化工厂。1983 年, 他开始研究模糊机器人, 它可以根据呼唤命令来自动控制汽车的停放<sup>[16]</sup>。20 世纪 80 年代初, 来自于日立公司的 Yasunobu 和 Miyamoto 开始给仙台地铁开发模糊系统, 1987 年项目结束创造了世界上最先进的地铁系统。20 年代 90 年代, 日本模糊系统的成功震惊了美国和欧洲主流学者们。1992 年 2 月首届 IEEE 模糊系统国际会议在圣地亚哥召开, 标志着模糊理论被世界上最大的工程师协会——IEEE 所接受。此后, 模糊理论在 20 年代 80 年代到 90 年代发展最为迅猛, 模糊系统与模糊控制的一些问题已经得到可喜的进步, 例如利用神经网络技术系统地确定隶属度函数及严格分析模糊系统的稳定性, 但还有很多方法和分析仍停留在初级阶段, 需要更多的顶尖的研究机构人员将重心放在模糊理论的研究上方可有所突破。目前, 模糊理论的研究主要在于以下方面:

- 1、模糊理论基础方面的研究
- 2、智能化机器研究
- 3、人机工程研究
- 4、人类与社会系统之间的研究

第一部分, 本文的最主要的思想在于使用模糊系统将技术规则的指标转化为超额需求函数, 从而推导出价格动态方程。特别的, 考虑某只股票在  $t$  时刻的价格为  $p_t$ ,  $t=1, 2, 3\cdots$ , 假设有  $M$  组交易者从  $t$  到  $t+1$  交易该股票, 并且一组中的交易者使用相同的技术交易规则。通过将组  $i$  的技术交易规则转换为单个超额需求函数  $ed_i(x_t)$ <sup>[6]</sup>, 我们得到价格动态模型如下:

$$\ln(p_{t+1}) = \ln(p_t) + \sum_{i=1}^M a_i(t) ed_i(x_t) \quad (1)$$

其中系数  $a_i(t)$  表示第  $i$  组中交易者的强度, 其中价格从  $t$  到  $t+1$  的相对变化, 而  $x_t$  表示根据过去的价格和在过去时间  $t$  可获得的其他信息计算的变量。  $a_i(t)$  是时变系数 (代表

---

不断变化的市场状况), 并且 $a_i(t)=0$  意味着在时间  $t$  不存在第  $i$  个超额需求 $ed_i(x_t)$ 。 $a_i(t)$ 可以根据股票价格数据 $\{p_{t+1}, p_t, p_{t-1}, \dots\}$ 确定。为了将技术交易规则转换为超额需求函数, 我们首先定义模糊集来表征技术交易规则中使用的术语, 以便这些技术规则在模糊系统理论框架中成为模糊的 IF-THEN 规则。然后, 采用标准模糊逻辑原理将这些模糊 IF-THEN 规则组合成模糊系统, 模糊系统是价格动态中的超额需求 $ed_i(x_t)$ 。

第二部分, 本文将通过改变不同参数, 分析模型推导的动态价格如何从收敛状态过渡到混沌状态, 再到震荡状态(类比于物理学中物质的固液汽状态)。本文将通过对随机价格模型与模糊系统价格模型相比较, 从而得出模糊系统价格模型具有短期可预测性, 另一方面, 我们将利用 Stone-Weierstrass 定理, 证明带有模糊规则库、乘积推理机和三角模糊器及中心平均解模糊器的模糊系统具有万能逼近特性。

第三部分, 我们根据以上的模糊系统指定相对应的策略, 我们的策略是跟随市场的胜出者, 但谁才是胜出者? 我们专注于一类我们认为很有可能成为赢家的交易员: 大买家和大卖家, 机构投资者(养老基金, 共同基金, 对冲基金, 基金经理, 投资银行等), 管理大笔资金并经常大量购买或出售股票的人。另一方面, 究竟如何检测市场强度并估计出模型参数呢? 我们将使用指数遗忘的递归最小二乘算法来估计模型参数, 并模拟我们的强非线性价格动力学模型的算法, 以获得在不同噪声条件下算法性能的一些感觉。接下来, 论文将介绍 FollowBB 和 RideMood 策略的详细信息, 我们还将介绍基准买入持有(买入和持有)和经典趋势跟踪(TrendFL)策略, 这些策略将用于与我们的比较后续章节中的实际股票应用程序的 FollowBB 和 RideMood 策略。紧接着, 我们根据 2007 年 7 月 3 日至 2014 年 7 月 2 日香港证券交易所的前 20 大银行和房地产股票的每日结算数据对最近七年期间的四个交易策略: FollowBB, RideMood, TrendFL 和 Buy & Hold 进行回测。最后, 我们将展示 FollowBB 和 RideMood 策略的买卖周期的细节。

## 2 技术交易规则以及模糊系统理论分析

### 2.1 移动平均规则

技术交易者最常用的交易规则是基于不同长度的价格移动平均线。这些规则背后的基本理念是，如果较短的移动平均线穿越较长的移动平均线，价格可能会呈现趋势。更具体地说，一种交易启发式可如下表示：

移动平均交易启发式（简称启发式 1）：如果较短的价格移动平均线从下方（上方）穿过较长的价格移动平均线，则产生买入（卖出）信号。通常，两个移动平均线之间的差异越大，买入（卖出）信号越强。但是，如果两个移动平均线之间的差异太大，则股票可能超买（过度卖出）；因此，应该设置一个小卖（买）订单止盈止损以保护投资收益。我们现在利用模糊系统理论将交易启发式转换为超额需求函数。我们定义长度为  $n$  的股票价格  $p_t$  移动平均值为：

$$\bar{p}_{t,n} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} p_{t-i} \quad (2)$$

和

$$x_{1,t}^{(m,n)} = \ln\left(\frac{\bar{p}_{t,m}}{\bar{p}_{t,n}}\right) \quad (3)$$

$x_{1,t}^{(m,n)}$  表示长度为  $m$  的移动平均价格对于长度为  $n$  的移动平均价格的相对变化，其中  $m < n$ ， $(m, n)$  的选择通常为  $(1, 5)$ ， $(1, 10)$ ， $(5, 20)$  等等。正的  $x_{1,t}^{(m,n)}$  意味着价格呈现上涨的趋势，而负的  $x_{1,t}^{(m,n)}$  意味着价格的下跌趋势。接下来我们将移动平均交易启发式转化为模糊系统的语言。

第一步：我们首先按照  $x_{1,t}^{(m,n)}$  变化的百分比幅度大小定义几个模糊集合：“正小(PS)”，“正中等(PM)”，“正大(PL)”，“负小(NS)”，“负中等(NM)”，“负大(NL)”，和“零(AZ)”，其三角隶属函数如图 1 所示。例如，模糊集 PS 的隶属函数为：

$$\mu_{PS}(x_{1,t}^{(m,n)}) = \begin{cases} 1 - |x_{1,t}^{(m,n)} - w| / w, & \text{if } x_{1,t}^{(m,n)} \in [0, 2w] \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

再如，模糊集 PL 的隶属度函数为：

$$\mu_{PL}(x_{1,t}^{(m,n)}) = \begin{cases} 0, & \text{if } x_{1,t}^{(m,n)} < 2w \\ (x_{1,t}^{(m,n)} - 2w) / w, & \text{if } x_{1,t}^{(m,n)} \in [2w, 3w] \\ 1, & \text{if } x_{1,t}^{(m,n)} > 3w \end{cases} \quad (5)$$

其中  $w$  是一个正的常数， $w$  决定着当投资者描述价格变化幅度的时候，“大”有多大，

“中”有多中，“小”有多小。举个例子，当  $w=0.01$  时，意味着投资者在感官上认为  $\bar{p}_{t,n}$  对于  $\bar{p}_{t,m}$  的变化幅度大约在 1% 附近，则认为价格变动是“小”的，变化幅度大约在 2% 附近，则认为价格变动是“中”的，价格变化幅度超过 3% 认为变动是“大”。实际上， $w$  是感官阈值参数，它对于即将讨论的价格动态方程起着重要的作用，相关分析将在第三章讨论。

第二步：我们定义描述买卖信号的模糊集，设  $ed$  是买信号或者卖信号的强弱，其中  $ed$  代表资产的超额需求（需求-供给）， $ed$  的符号可正可负，定义  $ed$  的 7 个模糊集，分别是“买小（BS）”、“买中（BM）”、“买大（BB）”以及“卖小（SS）”、“卖中（SM）”、“卖大（SB）”和“保持（N）”，其各自的隶属度函数由图 2-2 所示。例如，BM 的隶属度函数为：

$$\mu_{BM} = \begin{cases} (ed - 0.1) / 0.1, & \text{if } ed \in [0.1, 0.2] \\ (0.4 - ed) / 0.2, & \text{if } ed \in [0.2, 0.4] \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (6)$$

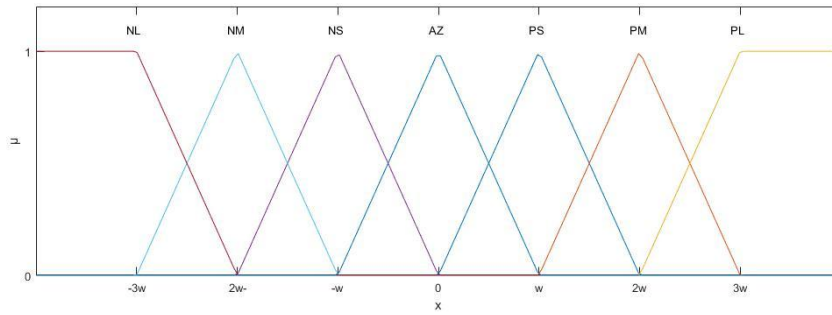


图 1 模糊集 PS, PM, PL, NS, NM, NL 和 AZ Membership functions of fuzzy sets PS, PM, PL, NS, NM, NL,

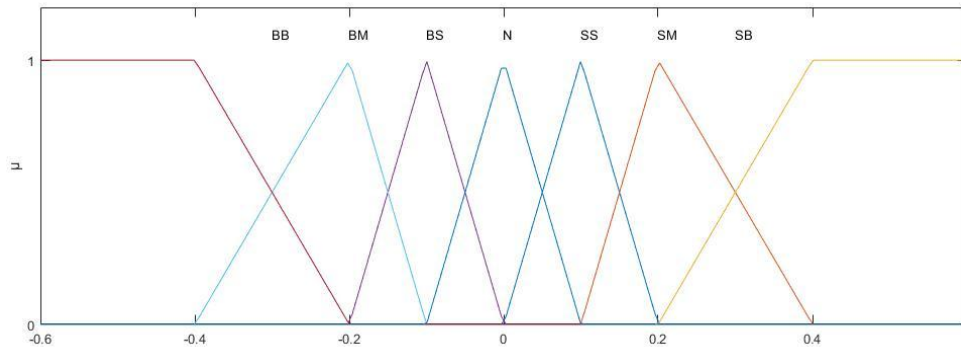


图 2 对于超额需求模糊集 BS, BM, BB, SS, SM, SB 和 N 的隶属函数 Membership functions of fuzzy sets BS,

BM, BB, SS, SM, SB, and N for excess demanded.

图 2 中的数字 0.1, 0.2 和 0.4 分别表示使用移动平均启发式作为交易策略的交易者 10%, 20% 和 40% 的买入或卖出力。因此，“BS”，“BM” 和 “BB” 分别意味着投资者使用大约 10%, 20% 和 40% 的购买力。卖方只是买方的镜子，当然可以选择其他数字来反映不同交易者的偏好。

第三步：我们将启发式 1 按照以下模糊 IF-THEN 规则转化为自然语言：

规则 1：如果  $x_{1,t}^{(m,n)}$  是正小 (PS)，则 ed 为买小 (BS)

规则 2：如果  $x_{1,t}^{(m,n)}$  是正中等 (PM)，则 ed 为买大 (BB)

规则 3：如果  $x_{1,t}^{(m,n)}$  是正大 (PL)，则 ed 为卖中等 (SM)

规则 4：如果  $x_{1,t}^{(m,n)}$  是负小 (NS)，则 ed 为卖小 (SS)

规则 5：如果  $x_{1,t}^{(m,n)}$  是负中等 (NM)，则 ed 为卖大 (SB)

规则 6：如果  $x_{1,t}^{(m,n)}$  是负大 (NL)，则 ed 为买中 (BM)

规则 7：如果  $x_{1,t}^{(m,n)}$  是零 (AZ)，则 ed 为保持 (N) (7)

这些规则的解释含义如下：规则 1, 2 (4, 5) 遵循着价格上升趋势 (下降趋势) 的趋势跟踪策略，而规则 3 (5) 则是当出现超买 (超卖) 时的逆向交易策略，如果价格水平震荡，规则 7 不采取行动。这样的规则明显符合均线策略交易者所遵循的投资逻辑。

最后一步：我们将启发式 1 转换成模糊 IF-THEN 规则以后，我们的工作是利用模糊逻辑推理原则<sup>[17]</sup>与上述模糊规则 (7) 结合形成一个模糊系统，并将模糊系统导入动态价格方程 (1) 形成模糊动态价格模型。

定理 1：假设规则 (7) 中的模糊集  $ed$  的中心为  $c_i$ ，则带有模糊规则库 (7)、乘积推理机 (Product Inference Engine)<sup>[17]</sup> 和三角模糊器 (Fuzzifier triangular) 及中心平均解模糊器 (Center Average Defuzzifier) 的模糊系统形式为：

$$ed(x) = \frac{\sum_{i=1}^M c_i \mu_{A_i}(x)}{\sum_{i=1}^M \mu_{A_i}(x)} \quad (8)$$

其中  $x \in U \subset R^n$  是模糊系统的输入， $ed(x) \in V \subset R^n$  是模糊系统的输出； $A_1=PS$ ， $A_2=PM$ ， $A_3=PL$ ， $A_4=NS$ ， $A_5=NM$ ， $A_6=NL$ ， $A_7=AZ$  为如图 2-1 所示  $x_{1,t}^{(m,n)}$  的模糊集合，如图 2-2 所示， $c_i$  为 BS, BB, SM, SS, SB, BM, N 模糊集中心。

证明：假设推理机采用如下 Mamdani 含义的乘积推理机：



$$\mu_B(ed) = \max_{l=1}^M \left[ \sup_{x \in U} (\mu_A(x) \prod_{i=1}^n \mu_{A_i^l}(x_i) \mu_B(ed)) \right]^1 \quad (9)$$

其中  $M$  为模糊规则库 (7) 的规则数目,  $N$  模糊系统输入的维度。

因为输入的模糊器采用三角模糊器, 因此式 (9) 可简化为:

$$\mu_B(ed) = \max_{l=1}^M \left[ \prod_{i=1}^n \mu_{A_i^l}(x_i^*) \mu_{B^l}(ed) \right] \quad (10)$$

其中  $x_i^*$  为给定的输入参数,  $B^l$  为第  $l$  个模糊集的模糊中心。

另一方面, 定义中心平均解模糊器为:

$$y^* = \frac{\sum_{l=1}^M B^l w_l}{\sum_{l=1}^M w_l} \quad (11)$$

其中  $y^*$  为模糊系统的输出,  $B^l$  为第  $l$  条规则的  $ed$  模糊集中心,  $w_l$  为对应的模糊集高度。因为对于给定的输入  $x_i^*$ , 且式 (10) 中第  $l$  个模糊集的中心是  $B^l$ , 所以式 (11)

中的  $B^l$  和本例中的  $B^l$  是相同的, 而且式 (10) 中第  $l$  个模糊集的高度为

$\prod_{i=1}^n \mu_{A_i^l}(x_i^*) \mu_{B^l}(B^l) = \prod_{i=1}^n \mu_{A_i^l}(x_i^*)$ 。因此, 将式 (10) 带入中心平均解模糊器式 (11) 可

得:

$$y^* = \frac{\sum_{l=1}^M B^l (\prod_{i=1}^n \mu_{A_i^l}(x_i^*))}{\sum_{l=1}^M (\prod_{i=1}^n \mu_{A_i^l}(x_i^*))} \quad (12)$$

采用本例中的符号, 令  $x^* = x$ ,  $y^* = ed(x)$ ,  $B^l = c_i$ , 本例系统输入为一维, 因此  $n=1$ , 于是式 (12) 变为式 (8)。因此, 根据以上的模糊规则 (7), 将规则转换为超额需求函数, 从而构建一个模糊系统:

$$ed_1(x_{1,t}^{(m,n)}) = \frac{\sum_{i=1}^7 c_i \mu_{A_i}(x_{1,t}^{(m,n)})}{\sum_{i=1}^7 \mu_{A_i}(x_{1,t}^{(m,n)})} \quad (13)$$

<sup>1</sup> 推理机的含义代表给定  $U$  上一个模糊集合  $A$ , 推理机可由式 (9) 给出  $V$  上的模糊集  $ed$

其中  $A_1=PS$  ,  $A_2=PM$  ,  $A_3=PL$  ,  $A_4=NS$  ,  $A_5=NM$  ,  $A_6=NL$  ,  $A_7=AZ$  是图 1 所示的模糊集, 且如图 2-2 所示  $c_1=0.1$  ,  $c_2=0.4$  ,  $c_3=-0.2$  ,  $c_4=-0.1$  ,  $c_5=-0.4$  ,  $c_6=0.2$  ,  $c_7=0$  是模糊集 BS, BB, SM, SS, SB, BM 和 N 的中心, 接下来我们将带有交易启发式 1 的模糊系统式 (8) 代入式 (1), 我们得到模糊价格动态方程:

$$\ln(p_{t+1}) = \ln(p_t) + a_1(t)ed_1(x_{1,t}^{(m,n)}) \quad (14)$$

此价格方程描述了如果只考虑采用交易启发 1 作为交易策略的交易者是如何使价格发生演变的, 为了进一步说明, 我们现在根据式 (14) 设置参数  $(m,n)=(1,5)$  ,  $w=0.01$  ,  $a_1(t)=0.3$  来模拟 4 次动态价格, 图 2-3 展示模拟结果。

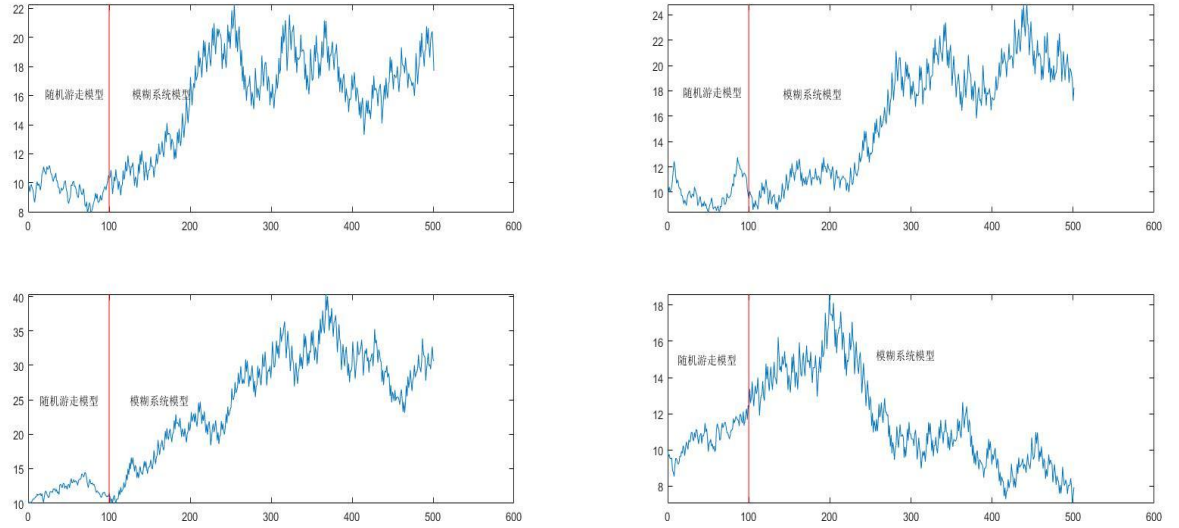


图 3 由随机模型 ( $\sigma=0.037$ ,  $t \in [1,100]$ ) 以及带有交易启发式 1 的模糊价格模型

( $(m,n)=(1,5)$ ,  $w=0.01$ ,  $a(t)=0.3$ ,  $t \in [101,500]$ ) 所产生的 4 条价格模拟轨迹

其中, 前 100 个价格模拟是由以下传统的随机游走模型所产生:

$$\ln(p_{t+1}) = \ln(p_t) + \sigma \varepsilon(t) \quad (15)$$

参数  $\varepsilon(t)$  是均值为 0, 方差为 1 的独立高斯随机变量, 标准差  $\sigma=0.037$ , 初始价格  $P_0=10$ ;

后 400 个价格模拟则由带有交易启发式 1 的模糊系统模型生成。由图 2-3 可以看出, 尽管只有一组交易者使用相同的交易策略 (7), 但是所产生的价格充满着复杂与混沌,

---

随机游走模型与带有交易规则的模糊系统模型相比较，两个完全不同的模型，所产生价格轨迹从大体上却十分相似，有一点需要明确的是，一个（15）是随机的，而另一个（14）是确定的。另一方面，为什么技术分析如此受交易者欢迎？一个很好的解释是：人类拥有非常好的视觉系统，价格曲线为我们的视觉系统提供一个非常便捷框架，让我们不需了解事物的运行机制而对事物的变化产生认知，俗话说“一张图片胜过千言万语”，本文提出的由技术交易启发式驱动的动态价格模型正是从人类的特性进行构建，包括人的视觉系统，以及思考逻辑，认知等等；而动态模型之所以产生复杂的价格路径是因为当我们随机选择初始条件进行价格模拟的时候，会得到完全不同的价格序列，这与不断变化的金融市场相一致。模型主要揭示的并不是价格模拟序列的模式特性，更不是试图准确预测未来资产价格变化，而是尝试给读者一个关于模型能产生什么价格序列的“宏观感觉”。

## 2.1 大买卖家规则

大买家和大卖家是管理大笔资金并且通常想要买入或卖出大量股票的机构交易者。由于显示交易市场上存在着流动性限制，符合预期交易价格的可交易股票数量通常非常小，因此大的买入或卖出订单必须分成小块并在很长一段时间内逐步实施。对于大买家（卖方）而言，合理的策略是在价格下降（增加）时买入（卖出）；这给了我们以下启发式：大卖家的启发式 2 和大买家的启发式 3；

交易启发式 2：对于大卖家，如果股票的价格在增加，则卖出；涨幅越大，卖出订单越大。如果价格正在下降或横向移动，则不作操作。

交易启发式 3：对于大买家，如果股票价格下降则买入：下跌越大，买单越大。如果价格上涨或水平移动，则不作操作。

根据（3）中定义的  $x_{1,t}^{(m,n)}$  和图 2-1 和 2-2 中的模糊集。我们将交易启发式 2 转换为以下 4 组规则：

规则 1：如果  $x_{1,t}^{(m,n)}$  是正小（PS），则  $ed$  为卖小（SS）

规则 2：如果  $x_{1,t}^{(m,n)}$  是正中等（PM），则  $ed$  为卖中等（SM）

规则 3：如果  $x_{1,t}^{(m,n)}$  是正中等（PL），则  $ed$  为卖中等（SL）

规则 4：如果  $x_{1,t}^{(m,n)}$  是零（AZ），则  $ed$  为保持（N）（16）

\*大卖家越涨越卖

同理，交易启发式 3：

规则 1：如果  $x_{1,t}^{(m,n)}$  是负小（NS），则  $ed$  为买小（BS）

规则 2：如果  $x_{1,t}^{(m,n)}$  是负中等（NM），则  $ed$  为买中等（BM）

规则 3：如果  $x_{1,t}^{(m,n)}$  是负中等（NL），则  $ed$  为买大（BB）

规则 4：如果  $x_{1,t}^{(m,n)}$  是零（AZ），则  $ed$  为保持（N） (17)

\*大买家越跌越买

因此，根据模糊系统理论，启发式 2 和启发式 3 的超额函数分别为：

$$ed_2(x_{1,t}^{(m,n)}) = \frac{-0.1\mu_{PS}(x_{1,t}^{(m,n)}) - 0.2\mu_{PM}(x_{1,t}^{(m,n)}) - 0.4\mu_{PL}(x_{1,t}^{(m,n)})}{\mu_{PS}(x_{1,t}^{(m,n)}) + \mu_{PM}(x_{1,t}^{(m,n)}) + \mu_{PL}(x_{1,t}^{(m,n)}) + \mu_{AZ}(x_{1,t}^{(m,n)})}, \quad x_{1,t}^{(m,n)} > 0 \quad (18)$$

$$ed_3(x_{1,t}^{(m,n)}) = \frac{0.1\mu_{NS}(x_{1,t}^{(m,n)}) + 0.2\mu_{NM}(x_{1,t}^{(m,n)}) + 0.4\mu_{NL}(x_{1,t}^{(m,n)})}{\mu_{NS}(x_{1,t}^{(m,n)}) + \mu_{NM}(x_{1,t}^{(m,n)}) + \mu_{NL}(x_{1,t}^{(m,n)}) + \mu_{AZ}(x_{1,t}^{(m,n)})}, \quad x_{1,t}^{(m,n)} < 0 \quad (19)$$

图 2-3 与图 2-4 分别展示了移动平均规则+大卖家规则（简称交易启发式 1+2）与移动平均规则+大卖家规则（简称交易启发式 1+3）的 4 次价格仿真模拟。其中参数设置  $(m,n)=(1,5)$ ， $w=0.01$ ， $a_2(t)=a_3(t)=0.03$ ， $\sigma=0.037$ ， $P_0=10$ ， $\varepsilon \sim N(0,1)$ ；前 100 次模拟有随机游走模型（15）生成，后 400 次由交易启发式 1 和大买卖家交易启发式进行模拟。

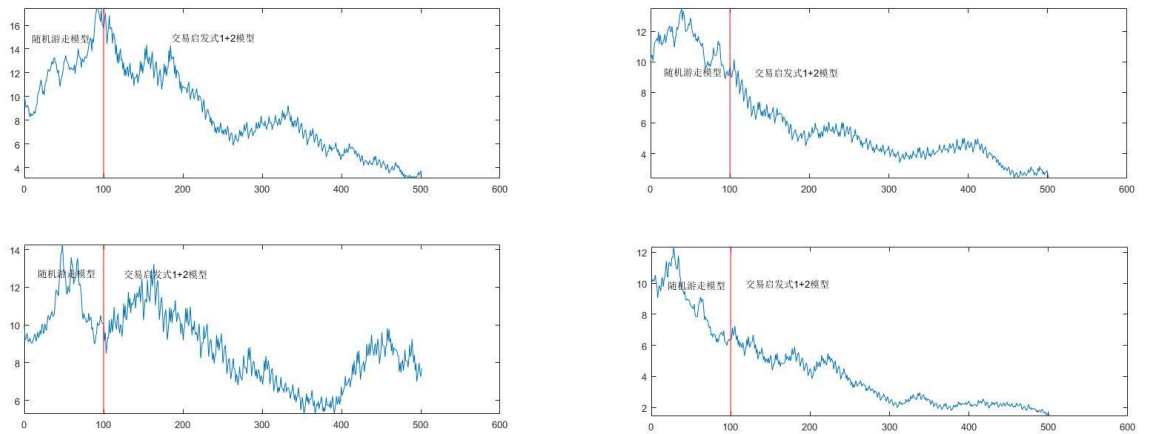


图 4 由随机模型（ $\sigma=0.037$ ， $t \in [1,100]$ ）以及带有交易启发式 1+2 的模糊价格模型

（ $(m,n)=(1,5)$ ， $w=0.01$ ， $a(t)=0.3$ ， $a_2(t)=a_3(t)=0.03$ ， $t \in [101,500]$ ）所产生的 4 条价格模拟

轨迹

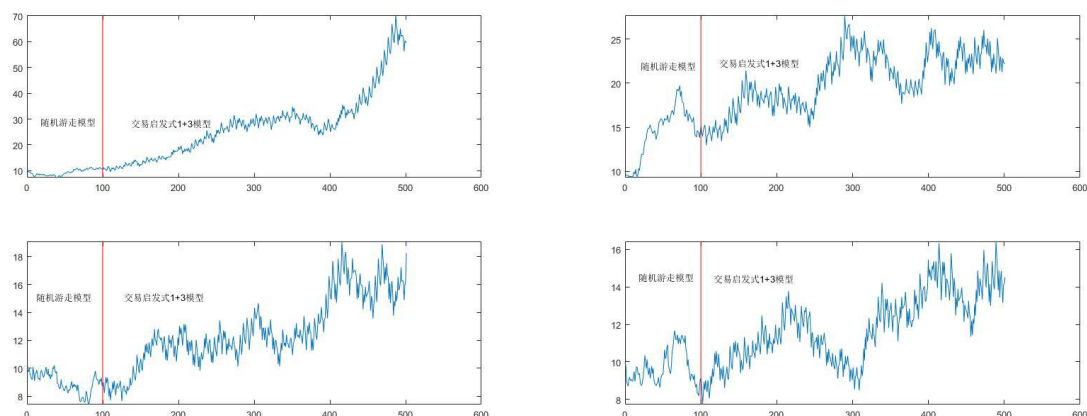


图 5 由随机模型 ( $\sigma=0.037$ ,  $t \in [1,100]$ ) 以及带有交易启发式 1+3 的模糊价格模型

( $(m,n)=(1,5)$ ,  $w=0.01$ ,  $a_1(t)=0.3$ ,  $a_2(t)=a_3(t)=0.03$ ,  $t \in [101,500]$ ) 所产生的 4 条价格模拟轨迹

由图 2-4 (图 2-5) 可以看出, 当大卖 (买) 家出现时, 价格呈现一个普遍下跌 (上涨) 的模式。

在研究交易者行为的时候, 一个重要的不可忽视的市场因素是: 垄断者。垄断者拥有庞大的资金量, 是影响市场的一股巨大力量, 他们会利用自身的优势, 采用欺骗、分层、操纵价格等其他交易策略, 来使资产价格快速上调或下调, 以营造一种乐观或悲观的市场情绪来迷惑其他交易者, 图廉价的股票; 在阶段 2, 垄断者利用庞大的资金快速退高股票价格以吸引趋势跟踪交易者的注意; 在阶段 3, 垄断者像大卖家一样使用交易启发式 3 在新的相对较高的价格出售在阶段 1 买来的股票以获取利润。尽管在所有的市场中, 操纵价格是违法的<sup>[18]</sup>, 但这种现象在现实交易市场中是普遍存在的。

因此垄断者的交易启发式 4 为: 在阶段 1, 以大卖家的策略进行交易购买大量价格相对低的股票, 在阶段 2, 利用资金优势快速拉升价格, 在阶段 3, 成为大卖家, 出售阶段 1 的股票。

我们将启发式 4 按照模糊 IF-THEN 规则转化为自然语言:

规则 4: 无论  $x_{1,t}^{(m,n)}$  是多少,  $ed$  为买大 (BB)

将这 3 个阶段结合模糊 IF-THEN 规则以及模糊系统(13), 可得垄断者超额需求函数为:

$$ed_4(x_{1,t}^{(m,n)}) = \begin{cases} \frac{0.1\mu_{NS}(x_{1,t}^{(m,n)}) + 0.2\mu_{NM}(x_{1,t}^{(m,n)}) + 0.4\mu_{NL}(x_{1,t}^{(m,n)})}{\mu_{NS}(x_{1,t}^{(m,n)}) + \mu_{NM}(x_{1,t}^{(m,n)}) + \mu_{NL}(x_{1,t}^{(m,n)}) + \mu_{AZ}(x_{1,t}^{(m,n)})}, & \text{阶段1} \\ 0.4, & \text{阶段2} \\ \frac{-0.1\mu_{PS}(x_{1,t}^{(m,n)}) - 0.2\mu_{PM}(x_{1,t}^{(m,n)}) - 0.4\mu_{PL}(x_{1,t}^{(m,n)})}{\mu_{PS}(x_{1,t}^{(m,n)}) + \mu_{PM}(x_{1,t}^{(m,n)}) + \mu_{PL}(x_{1,t}^{(m,n)}) + \mu_{AZ}(x_{1,t}^{(m,n)})}, & \text{阶段3} \end{cases}$$

其中本例中阶段 2 的时间为从  $t=200$  到  $t=230$ ; 阶段 1 中  $x_{1,t}^{(m,n)} < 0$ , 阶段 3 中  $x_{1,t}^{(m,n)} > 0$ 。

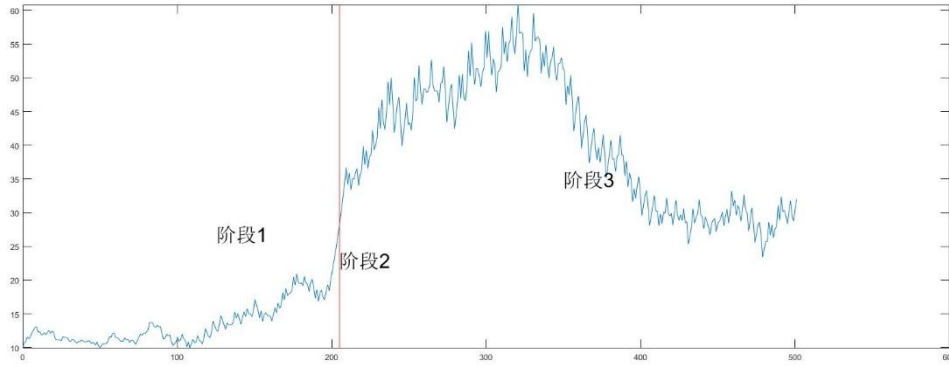


图 6 由随机模型 ( $\sigma=0.037$ ,  $t \in [1,100]$ ) 以及带有交易启发式 1+4 的模糊价格模型

( $(m,n)=(1,5)$ ,  $w=0.01$ ,  $a_1(t)=0.3$ ,  $a_2(t)=a_3(t)=0.03$ ,  $t \in [101,500]$ ) 所产生的垄断者价格

模拟轨迹

由图 2-5 可以看出, 大型交易者的加入使得价格产生剧烈的波动, 甚至对金融市场的稳定性产生巨大的影响, 从带有垄断者的动态价格模型中, 在一定程度上可以解释金融市场上存在的价格跳跃的现象, 因此, 相比于传统的随机模型, 模糊系统更能直观地解释资产价格变化, 而没有像随机模型严格的假设, 带有模糊交易规则的价格模型为我们在对金融市场分析的时候提供一个新颖的框架, 能更直接更快速地找到影响资产价格的关键因子。

### 3 模型定量分析

#### 3.1 参数敏感性分析

上一节，我们得到了带有交易启发式 1 的超额需求函数 (13)，在本节，我们对  $ed_1(x_{1,t}^{(m,n)})$  进一步地分析。根据式 (13) 和对应模糊集的隶属度函数，可得：

$$ed_1(x_{1,t}^{(m,n)}) = \begin{cases} 0.2, & x_{1,t}^{(m,n)} \leq -3w \\ -\frac{0.6x_{1,t}^{(m,n)}}{w} - 1.6, & -3w \leq x_{1,t}^{(m,n)} < -2w \\ \frac{0.3x_{1,t}^{(m,n)}}{w} + 0.2, & -2w \leq x_{1,t}^{(m,n)} < -w \\ \frac{0.1x_{1,t}^{(m,n)}}{w}, & -w \leq x_{1,t}^{(m,n)} < w \\ \frac{0.3x_{1,t}^{(m,n)}}{w} - 0.2, & w \leq x_{1,t}^{(m,n)} < 2w \\ -\frac{0.6x_{1,t}^{(m,n)}}{w} + 1.6, & 2w \leq x_{1,t}^{(m,n)} < 3w \\ -0.2, & x_{1,t}^{(m,n)} \geq 3w \end{cases} \quad (20)$$

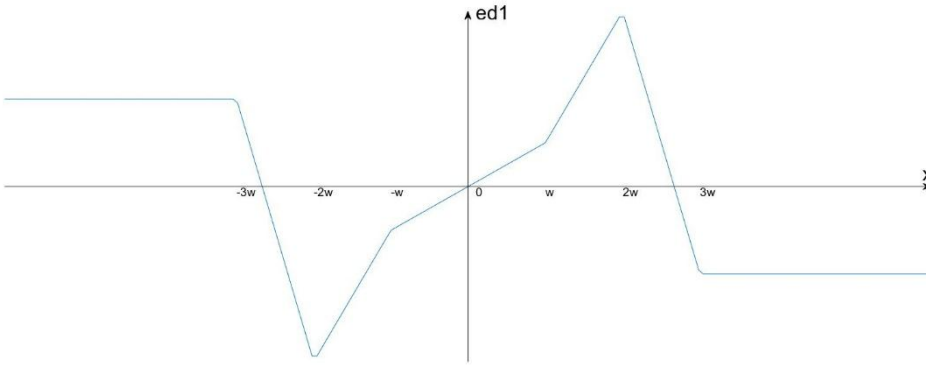


图 7 带有交易启发式 1 的超额需求函数  $ed_1(x_{1,t}^{(m,n)})$  图像

从图 7 中，通过计算，我们发现超额需求函数  $ed_1(x_{1,t}^{(m,n)})$  与横坐标轴相交于点  $(-2.66, 0)$  与点  $(2.66, 0)$ ，经过分析，当  $x_{1,t}^{(m,n)}$  落入  $[-2.66w, 2.66w]$  区间时， $x_{1,t}^{(m,n)}$  与  $ed_1(x_{1,t}^{(m,n)})$  的符号是相同，也就是说，在这种情况下，资产价格呈现持续上涨或下跌的趋势，市场上趋势交易者占主导地位；相反，当  $x_{1,t}^{(m,n)}$  小于  $-2.66w$  或者大于  $2.66w$  时， $x_{1,t}^{(m,n)}$  与  $ed_1(x_{1,t}^{(m,n)})$  的符号是相反的，也意味着，价格由上升或下降趋势开始复归，此时逆向交易开始占据主导地位。因此，价格不断地从趋势交易者与逆向交易者的相互作用产生复杂混沌的时间序列，接下来展示不同的模型参数如何产生不同的价格序列。

从带有交易启发式的动态价格模型式 (14)，我们可以发现，影响价格变化的参数有： $m, n, w, a$ 。 $m, n$  的含义代表着移动平均的窗口长度； $w$  参数反映了交易者判断价格变化的心理参考值，如交易者觉得变化“小”，则变化大约在  $w$  附近，觉得变化“中等”，则变化在  $2w$  附近，觉得变化“大”则变化应该大于  $3w$ ；对于参数  $a$ ，从动态方程 (14) 可以看出， $a$  的大小决定着某类交易者对价格的变化大小，反映了交易者对市场的影响力度，因此参数  $a$  代表着使用某种交易策略交易者的相对市场强度，换句话说， $m, n, w$  决定着哪一类交易者，而  $a$  则代表这类交易者在市场上实施交易行为时对市场能产生多大的影响。另一面， $w$  也是一个反映交易频率的参数， $w$  越小，代表交易者更容易从趋势交易者变成逆向交易，因此，交易频率越高，反之则亦然。在本小节分析中，将固定  $m, n, w$  的值，探究市场强度参数  $a$  的变化对价格序列产生怎样的影响。

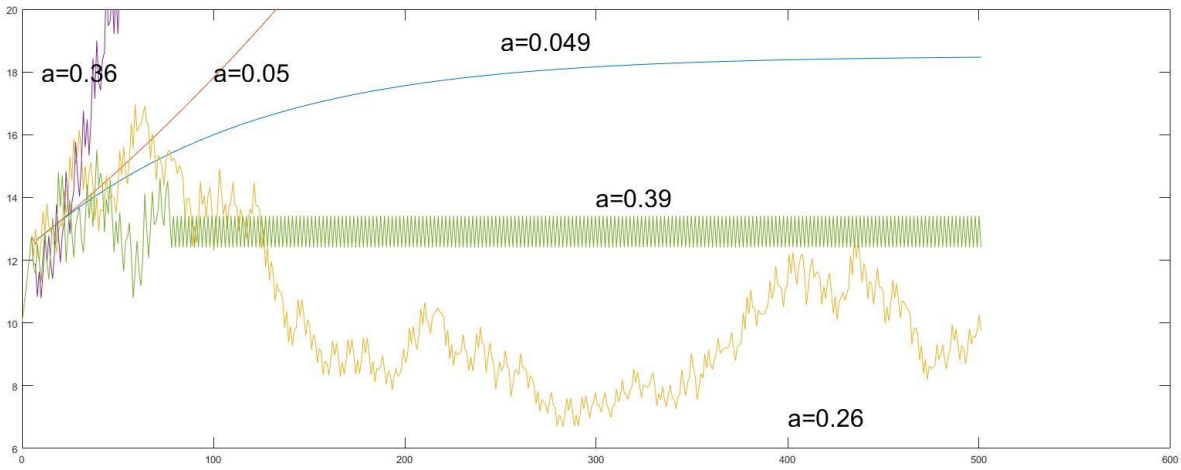


图 8 参数设置分别为  $a = 0.049$ ,  $a = 0.50$ ,  $a = 0.26$ ,  $a = 0.36$ ,  $a = 0.39$  的 5 条模拟价格轨迹，初试价格  $p_{-1}=10$ ,  $r_0 = 0.05$ ,  $w = 0.01$ ,  $m=1$ ,  $n = 5$

假设价格序列  $p_t$  起始于一个固定值  $p_{-1}$ ，当  $t=0$  时，价格会出现一个幅度为  $r_0$  跳跃，即  $p_0 = p_{-1}(1+r_0)$ ，同时假设  $r_0$  不是一个很大的值，因此， $x_{1,t}^{(m,n)}$  会落入趋势交易区间  $[-2.66w, 2.66w]$ 。如果  $a$  很小，那么价格的变化  $\ln(p_{t+1}/p_t) = a_1 e d_1(x_{1,t}^{(m,n)})$  将会很小，这就会使得价格一直处于趋势交易区间，因此，价格会持续进入趋势状态，最终收敛于某一个值；随着  $a$  不断增大，但没有特别大，价格变化  $\ln(p_{t+1}/p_t) = a_1 e d_1(x_{1,t}^{(m,n)})$  也会不断增大， $x_{1,t}^{(m,n)}$  开始进入逆向交易区间  $[2.66w, \infty]$  或  $[-\infty, -2.66w]$ ，此时，逆向交易的订单会使价格会进入一个回调状态，将  $x_{1,t}^{(m,n)}$  从逆向交易区间推回到趋势交易区间，同时趋势交易者的力量又会将  $x_{1,t}^{(m,n)}$  推到逆向交易区间，价格以这种“前推后挤”的方式不断更替变化模式，从此使得价格序列产生混沌；如果当  $a$  很大， $\ln(p_{t+1}/p_t) = a_1 e d_1(x_{1,t}^{(m,n)})$  会十分得大，这个时候  $x_{1,t}^{(m,n)}$  在趋势与逆趋势两股力量的相互作用下， $x_{1,t}^{(m,n)}$  会快速地在逆向交易区间  $[2.66w, \infty]$  和  $[-\infty, -2.66w]$  之间来回变动，因此，价格序列呈现一种震荡状态。有趣的是，在进行分析的时候，当  $a \approx 0.05$  或  $a \approx 0.05$  的时候，价格呈现一种与其



余 3 种状态不一样的状态，此时价格呈现一种发散的状态，图 2-8 展示了 4 种情况的模拟结果显示：收敛（ $a=0.049$ ）、发散（ $a=0.05$ ， $a=0.36$ ）、混沌（ $a=0.26$ ）、震荡（ $a=0.39$ ）。带有人类交易启发式的动态价格模型与物质状态的模型很相似，如果我们将价格的收敛、混沌、震荡，类比成物质的固态、液态、气态，结果会变得十分有意思，这就能解释奇怪的发散状态（ $a=0.05$ ， $a=0.05$ ）相当于价格的“固液共存”的状态，同时仿真结果也说明了当参数  $a$  发生变化，价格序列在不同状态之间进行转变的时候会发生显著的形态变化。

### 3.2 模型的波动率分析

为了价格研究模型的其他特性，本节采用蒙特卡洛模拟，模拟模型面对不同的初始条件时，价格序列的波动率会发生怎么样的变化。我们选择高斯随机变量  $r_0$  作为初始价格的跳跃幅度，即  $r_0=v_0\varepsilon$ ，其中  $v_0$  是一个正的常数， $\varepsilon$  是均值为 0，方差为 1 的随机数，我们将采用不同的  $r_0$ （ $r_0=10^{-3}\varepsilon$ ， $r_0=10^{-4}\varepsilon$ ， $r_0=10^{-5}\varepsilon$ ），在动态价格模型（14）上分别模拟 100 条价格轨迹，同时绘制随机游走模型（15）100 次模拟价格轨迹（作为对照组），初始参数设置为： $p_{-1}=10$ ， $w=0.01$ ， $m=1$ ， $n=5$ ， $a=0.17$ ， $\sigma=0.037$ ，随机游走模型中  $v_0=10^{-5}$ 。

定义  $t$  时刻的价格波动率为：

$$v(t) = \left( \frac{\sum_{j=1}^S \left( \ln \frac{p_t^j}{p_{t-1}^j} \right)^2}{S} \right)^{1/2} \quad (21)$$

其中  $p_t^j$  表示  $t$  时刻第  $j$  条模拟路径， $S$  代表蒙特卡洛模拟的次数。注意的是  $v(t)$  是对于  $t$  时刻收益率（ $R_t = \ln p_t - \ln p_{t-1}$ ）的样本估计。

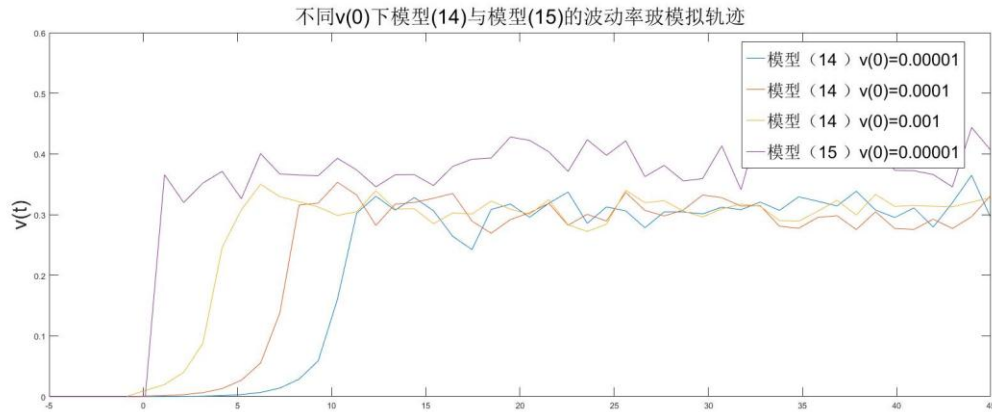


图 9 参数设置分别为  $v(0)=10^{-5}$ ， $v(0)=10^{-4}$ ， $v(0)=10^{-3}$  的 3 条模型(14)模拟价格轨迹，以及  $v(0)=10^{-5}$  的随机游走模型（15）模拟价格轨迹，初试价格  $p_{-1}=10$ ， $r_0=0.05$ ， $w=0.01$ ， $m=1$ ， $n=5$

图 2-9 展示了 4 条波动率模拟路径，可以看出进入混沌状态的模糊系统模型（14）的波动率从初试状态  $v(0)=10^{-5}$ ,  $v(0)=10^{-4}$ ,  $v(0)=10^{-3}$  经过 5 到 15 步才缓慢收敛于某一值（大约在 0.1 附近）；而随机游走模型（15）在初试状态为  $v(0)=10^{-5}$  迅速收敛于稳定值（0.4 附近），因此，我们发现随机模型模型与模糊系统模型有着本质的区别：随机游走价格模型的波动率是无法预测的，而模糊系统价格模型对价格的波动率具有短期可预性。模型（14）不同初试状态的价格轨迹表明：模型处于混沌状态（ $a \in (0.05, 0.36)$ ）时，当波动率瞬间扩大 10 倍，模型需要 2 到 5 步的调整才能适应新的变化。换句话说，当某一时期，市场交易强度参数  $a$  突然增大，例如大买卖家出现产生剧烈的交易行为，市场需要 2 到 5 个单位时间的滞后才能消化交易者的交易行为所产生的波动。

### 3.3 带有交易规则的模糊系统作为万能逼近器

经过以上讨论，可以看出，模糊系统是非线性系统的特殊类型，因此，从函数逼近的角度去了解模糊系统的能力是十分有意义的。如，模糊系统能代表或逼近什么类型的非线性函数？精度如何？如何能找到方法证明带有交易规则的模糊系统能以任意精度逼近任意非线性函数，便为本文对复杂、高度非线性的金融市场进行建模时，提供坚实的理论基础，理论可行性便可大大提高。

**定理 2**（万能逼近定理）：假定输入论域  $U$  是  $R^n$  上的一个紧集，则对于任意定义在  $U$  上的实连续函数  $g(x)$  和任意的  $\varepsilon > 0$ ，一定存在如式（8）的模糊系统使下式成立：

$$\sup_{x \in U} |f(x) - g(x)| < \varepsilon \quad (22)$$

即，带有乘积推理机，三角模糊器、中心平均解模糊器和三角隶属度函数的模糊系统是万能逼近器。（其中，紧集的含义代表拓扑空间内的一类特殊点集，它们的任何开覆盖都有有限子覆盖。从某种意义上，紧集类似于闭集。从某种意义上，紧集类似于有限集。）

证明：证明的方法是根据下面的众所周知的 Stone-Weierstrass 定理进行证明。

**Stone-Weierstrass 定理<sup>[20]</sup>**：令  $Z$  为紧集  $U$  上的一个连续函数的集合，如果（1） $Z$  是代数，即集合  $Z$  在加、乘积和标量积下是闭集合；（2） $Z$  分离了  $U$  上的点，即对任意  $x, y \in U, x \neq y$ ，存在  $f \in Z$  使  $f(x) \neq f(y)$  成立；（3） $Z$  使  $U$  中的点不为零，即对于任意  $x \in U$ ，存在  $f \in Z$  使  $f(x) \neq 0$ ，则对  $U$  上的任意实连续函数  $g(x)$  和任意  $\varepsilon > 0$ ，都存在  $f \in Z$  使  $\sup_{x \in U} |f(x) - g(x)| < \varepsilon$  成立。

令  $Y$  为模糊系统（8）集合。现在要证明  $Y$  是代数， $Y$  分离了  $U$  上的点， $Y$  使得  $U$

中的点不为零。

令  $f_1, f_2 \in Y$ ，于是可将  $f_1, f_2$  写成

$$f_1(x) = \frac{\sum_{i=1}^{M1} c_i^1 \mu_{A_i}^1(x)}{\sum_{i=1}^{M1} \mu_{A_i}^1(x)} \quad (23)$$

$$f_2(x) = \frac{\sum_{i=1}^{M2} c_i^2 \mu_{A_i}^2(x)}{\sum_{i=1}^{M2} \mu_{A_i}^2(x)} \quad (24)$$

由此可得：

$$f_1(x)f_2(x) = \frac{\sum_{i_1=1}^{M1} \sum_{i_2=1}^{M2} c_{i_1}^1 c_{i_2}^2 \mu_{A_{i_1}}^1 \mu_{A_{i_2}}^2}{\sum_{i_1=1}^{M1} \sum_{i_2=1}^{M2} \mu_{A_{i_1}}^1 \mu_{A_{i_2}}^2} \quad (25)$$

因为  $\mu_{A_i}^1 \mu_{A_i}^2$  可以作为新的隶属度函数  $\mu_{A_i}'$ ， $c_{i_1}^1 c_{i_2}^2$  也可看做对应的模糊集中心，所以 (24)

也可表示为形如 (8) 的形式，即  $f_1 f_2 \in Y$ 。同理可得：

$$f_1(x) + f_2(x) = \frac{\sum_{i_1=1}^{M1} \sum_{i_2=1}^{M2} (c_{i_1}^1 + c_{i_2}^2) \mu_{A_{i_1}}^1 \mu_{A_{i_2}}^2}{\sum_{i_1=1}^{M1} \sum_{i_2=1}^{M2} \mu_{A_{i_1}}^1 \mu_{A_{i_2}}^2} \quad (26)$$

$f_1 + f_2$  也可表示为形如 (8) 的形式， $\mu_{A_i}^1 \mu_{A_i}^2$  可以作为新的隶属度函数  $\mu_{A_i}'$ ， $c_{i_1}^1 + c_{i_2}^2$  也可看

做对应的模糊集中心，即  $f_1 + f_2 \in Y$ ，最后，对于任意  $k \in R$ ，有

$$kf_1(x) = \frac{\sum_{i=1}^{M1} k c_i^1 \mu_{A_i}^1}{\sum_{i=1}^{M1} \mu_{A_i}^1} \quad (27)$$

上式也可表示为 (8) 的形式，即  $cf_1 \in Y$ ，因此  $Y$  是代数。

下面通过构造一个特定的模糊系统  $f(x)$  来证明， $Y$  分离了  $U$  上的点。令  $x^0, z^0 \in U$

为两个任意点且  $x^0 \neq z^0$ 。选择形如 (8) 的  $f(x)$  的参数为：

$$M=2, \bar{y}^{-1}=0, \bar{y}^{-2}=1, b_i=1, x_1^*=x^0, x_2^*=z^0。$$

$$\text{假设, } \mu_{A_i} = \begin{cases} 1 - \frac{|x_i - x_i^*|}{b_i} & , \quad |x_i - x_i^*| \leq b_i \\ 0, & else \end{cases} \quad (28)$$

这一特定的模糊系统：

$$f(x) = \frac{1 - |x_i - z^0|}{1 - |x_i - x^0| + 1 - |x_i - z^0|} \quad (29)$$

所以

$$f(x^0) = \frac{1 - |x^0 - z^0|}{2 - |x^0 - z^0|} \quad (30)$$

$$f(z^0) = \frac{1}{2 - |z^0 - x^0| + 1} \quad (31)$$

因为  $x^0 \neq z^0$ ，所以  $f(x^0) \neq f(z^0)$ ，因此  $Y$  分离了  $U$  上的点。

下面证明,  $Y$  使得  $U$  中的点不为零。显然, 由图 3-1 可得, 模糊系统  $ed_1(x_{1,t}^{(m,n)})$  在参数设

置为  $w=0.01$ ,  $m=1$ ,  $n=5$  时, 存在着  $ed_1(x_{1,t}^{(m,n)}) > 0$  ( $\forall x \in U$ ) 这一性质, 故  $Y$  使  $U$  中的点不为零。

综上所述, 模糊系统 (8) 满足 Stone-Weierstrass 定理, 故模型具有万能逼近器特性。

## 4 实证分析

### 4.1 价格动态模型与交易策略

根据第二章，利用大买卖家的交易启发式，推导出如下新的价格动态方程：

$$\ln(p_{t+1}) = \ln(p_t) + a_2(t)ed_2(x_{1,t}^{(m,n)}) + a_3(t)ed_3(x_{1,t}^{(m,n)}) + \varepsilon(t) \quad (32)$$

其中  $p_t$  是股票在  $t$  时间的价格， $ed_2$  ( $ed_3$ ) 是大卖家 (大买家) 的超额需求， $a_2$  ( $a_3$ ) 为大卖家 (大买家) 的市场交易强度参数， $\varepsilon(t)$  代表除这两种交易者外其他交易者对价格的影响。

接下来，根据式(18)、(19)，并利用对应的隶属度函数将  $ed_2(x_{1,t}^{(m,n)})$ ，以及  $ed_3(x_{1,t}^{(m,n)})$  进一步具体化：

$$ed_2(x_{1,t}^{(m,n)}) = \begin{cases} 0, & x_{1,t}^{(m,n)} \leq 0 \\ -\frac{0.1x_{1,t}^{(m,n)}}{w}, & 0 \leq x_{1,t}^{(m,n)} < 2w \\ -\frac{0.2x_{1,t}^{(m,n)}}{w} + 0.2, & 2w \leq x_{1,t}^{(m,n)} < 3w \\ -0.4, & x_{1,t}^{(m,n)} \geq 3w \end{cases} \quad (33)$$

$$ed_3(x_{1,t}^{(m,n)}) = \begin{cases} 0.4, & x_{1,t}^{(m,n)} \leq -3w \\ -\frac{0.2x_{1,t}^{(m,n)}}{w} - 0.2, & -3w \leq x_{1,t}^{(m,n)} < -2w \\ -\frac{0.1x_{1,t}^{(m,n)}}{w}, & -2w \leq x_{1,t}^{(m,n)} < 0 \\ 0, & x_{1,t}^{(m,n)} \geq 0 \end{cases} \quad (34)$$

因此，我们指定交易策略的第一步，就是要估计  $a_2(t)$  与  $a_3(t)$ ，(在下一小节提到) 假设

我们已经得知两参数，然后，我们根据  $a_2(t)$  与  $a_3(t)$  的相对大小制定以下两种策略：

1) 跟踪大买卖家 (FollowBB)，如果  $a_2(t)$  是负的， $a_3(t)$  是正的 (此时暗示着大买家出现，而大卖家消失)，就买入股票；只要  $a_3(t)$  仍然为正，就一直持有股票 (这意味着只要大买家仍然在购买，无论价格发生什么变化或是否有大卖家，都不卖出股票，与大买家一直跟注)；一旦  $a_3(t)$  变为负数就卖出股票 (如果您的大买家停止购买则退出市场)；此时，一个交易周期已完成，并根据以上交易逻辑进入下一个交易周期。

- 2) 骑风而行 (Ride-Mood), 一旦  $a_3(t)-a_2(t)$  变为正数, 买入股票 (这意味着大买家正在获得大卖家的持有量); 只要  $a_3(t)-a_2(t)$  仍为正数就一直持有股票; 一旦  $a_3(t)-a_2(t)$  变为负数 (这意味着大卖家变得比大买家强), 卖出股票; 此时交易周期已完成, 进入下一交易周期, 此外还有另外两种基本策略作为对照组:
- 3) 买入和持有 (Buy & Hold): 在投资区间的第一天购买股票, 并将所有现金分配给该股票, 持有股票直到投资区间的最后一天, 卖出所有持有的股票。
- 4) 趋势跟踪 (TrendFL): 当较短的移动平均线从较低移动平均线 (上升模式开始) 购买股票; 一旦较短的移动平均线回落并低于长的移动平均线 (上升模式结束) 时卖出股票。

## 4.2 模型参数的估计

给定价格数据为  $\{p_0, p_1, p_2, \dots, p_t, p_{t+1}\}$ , 我们的目标是基于次信息集估计模型 (1) 中的市场交易强度参数  $a_2(t)$  和  $a_3(t)$ 。令  $r_{t+1} = \ln(p_{t+1}/p_t)$  为收益并给出以下定义:

$$\begin{aligned} a_t &= (a_2(t), a_3(t))^T \\ ed_t &= (ed_2(x_{1,t}^{(m,n)}), ed_3(x_{1,t}^{(m,n)}))^T \end{aligned} \quad (35)$$

根据式 (32) 定义  $r_t$ :

$$r_{t+1} = ed_t^T a_t + \varepsilon(t) \quad (36)$$

我们可以合理大胆地猜测, 因为现实市场上存在着流动性限制, 大型的买卖家在市场完成交易目标时, 必须将大的买卖订单分割成若干小的订单进行交易, 所以衡量大买卖家的交易强度系数  $a(t)$  会在一段时间内随时间缓慢变化, 而估计这种缓慢的时变参数的一个很好的办法是带有指数遗忘的递归最小二乘算法, 该算法目标是最小化误差的加权平均和:

$$E_{t+1}(a) = \sum_{i=1}^t \lambda^{t-i} (r_{i+1} - ed_i^T a)^2 \quad (37)$$

经过复杂的推导, 具有指数遗忘的标准递归最小二乘算法进行模型参数估计:

$$\begin{aligned} \overline{a_t} &= \overline{a_{t-1}} + K_t (r_{t+1} - ed_t^T \overline{a_{t-1}}) \\ K_t &= \frac{P_{t-1} ed_t}{(ed_t^T P_{t-1} ed_t + \lambda)} \\ P_t &= (I - K_t ed_t^T) P_{t-1} / \lambda \end{aligned} \quad (38)$$

其中  $\bar{a}_t$  为待估参数,  $\bar{a}_0=0$ ,  $P_0=\gamma I$ ,  $\gamma$  是一个较大的常数,  $\lambda \in (0,1)$  作为遗忘因子给予最近的数据更大的权重; 而其他参数则为用于估计  $\bar{a}_t$  过程中的过渡参数。

### 4.3 香港市场的应用

我们现在将四种交易策略跟踪大买家策略, 骑风而行策略, 趋势跟踪策略和买入持有策略, 应用于香港证券交易所上市的前 20 大银行和房地产股票的每日收盘价 (见表一)。我们选择这些龙头银行和房地产股票, 因为它们通常是“热钱”的目标, 它们代表了香港和中国的经济条件。在 2007 年 7 月 3 日至 2019 年 9 月 18 日的最近 12 年期间, 我们将使用这 20 种股票中的每日收盘价数据来测试交易策略。由于市场情况在此期间发生了巨大变化 (图 10 显示了恒生指数 (HSI) 在此期间的每日交割指数, 其中包括 1) 2007 年末的强劲上涨, 2) 2008 年的金融危机, 3) 恐慌之后的恢复, 4) 2010 年至 2014 年以后的“普通”年份, 5) 2016 年的强劲反弹, 6) 2019 年震荡回调, 它给了我们一个很好的机会来测试不同市场条件下的交易策略。

我们选择两年作为绩效评估的长度, 并对不同的交易策略在这 12 年中均匀分割的多个区间进行回测。具体的方案为: 每个测试间隔具有 492 个交易日 (大约两年), 第一个测试间隔从 2007 年 7 月 3 日开始, 第二个测试从间隔 5 个交易日开始, 第三个测试从另外间隔五个交易日后开始, 以此类推, 第 502 个测试间隔在 2019 年 9 月 18 日结束, 以便涵盖从 2007 年到 2019 年整个 12 年。对于每个测试间隔, 我们运用的跟踪大买卖家、骑风而行, 买入并持有, 以及趋势追随, 计算 20 只股票的年化收益率以及其方差和夏普比率以及最大回撤率。其中模型参数  $a(t)$  是使用他们的每日收盘价进行估计的, 以及  $\lambda = 0.95$ ,  $\gamma = 10$ ,  $n = 3$ ,  $w = 0.01$  确定的。<sup>2</sup>

设  $p_{i,j,k}^{buy}$  ( $p_{i,j,k}^{sell}$ ) 为第  $i$  只股票的第  $j$  个测试区间的第  $k$  个买卖周期的买入 (卖出) 价格,  $N_{i,j}$  为第  $i$  只股票第  $j$  个测试区间的交易周期数, 那么考虑交易费用, 股票  $i$  的交易策略在第  $j$  个测试区间内的年化收益率为:

$$ar(i, j) = \frac{1}{2} \left( \prod_{k=1}^{N_{i,j}} \frac{p_{i,j,k}^{sell}}{p_{i,j,k}^{buy}} \right) (1 - 0.316\%)^{N_{i,j}} \quad (39)$$

年平均收益率为:

$$\bar{ar}(i) = \frac{1}{502} \sum_{j=1}^{502} ar(i, j) \quad (40)$$

其标准差为:

<sup>2</sup> 此参数并非是对所有的股票都是最优的, 在本论文中对所有的股票设置相同参数, 以此表明即使使用非最优参数设置, 跟踪大买卖家策略以及骑风而行策略都能胜过买入持有被动策略和传统的趋势跟踪策略。

<sup>3</sup>  $(0.1\% + 0.1\% \times 2 + 0.003\% \times 2 + 0.005\% \times 2) = 0.316\%$ .

$$std(i) = \sqrt{\frac{1}{502} \sum_{j=1}^{502} (ar(i, j) - \overline{ar(i)})^2} \quad (41)$$

表 1 给出了 20 只股票四种策略(分别为跟踪大买家策略, 骑风而行策略, 买入持有策略, 趋势跟踪策略)的  $\overline{ar(i)}$ 、 $std(i)$  以及最大回撤率, 其中夏普比率为  $\overline{ar(i)} / std(i)$ <sup>4</sup>, 表 1 的最后一项展示了恒生指数在 502 个测试区间内的年化收益率, 标准差以及夏普比率, 和最大回撤率。图 11 到图 14 绘制了 20 只股票利用四种策略在 502 个测试区间内的年化收益率变化图: 红色线代表跟踪大卖家策略, 绿色线代表骑风而行策略, 蓝色线代表买入持有策略, 黄色线代表趋势跟踪策略。从图 11 到图 14 可以看出每一种策略在不同股票中都呈现不同的“风格”, 在某一个测试区间内, 本文设计模糊系统的两种交易策略(跟踪大买家策略、骑风而行策略)并不总是优于被动的基准策略(买入持有策略)和传统的交易策略(趋势跟踪策略), 因此, 这就验证了在变化莫测的交易市场中, 没有永远优胜的交易策略, 一个好的交易策略是要不断更新参数、调整模型结构以及构建良好的投资组合来适应市场的变化。为了进一步验证策略的性能, 我们将 20 只股票构建一个投资组合来测试策略的性能。

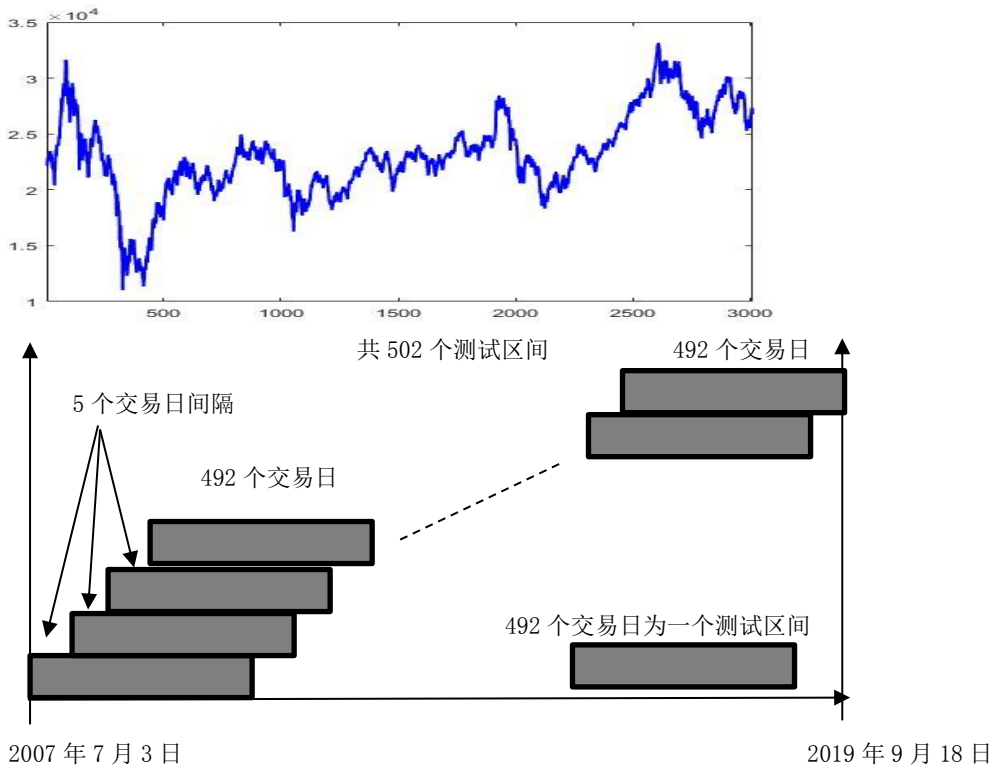


图 10 上方子图为恒生指数 2007 年到 2019 年的走势图。下方子图为交易策略的回测流程图

<sup>4</sup> 这里我们假设无风险利率为零, 低利率环境对于股票策略影响较小, 暂且忽略不计, 不影响分析结果



表 1 在四种策略下，20 只股票在 502 个测试区间内的年化收益率、标准差、夏普比率以及最大回撤率

股票（1-3）	交易策略	年化收益率 （%）± 标准差 （%）;夏普比 率; 最大回撤率 （%）	股票（4-6）	交易策略	年化收益率（%） ± 标准差（%）; 夏普比率; 最大 回撤率（%）	股票（7-9）	交易策略	年化收益率 （%）± 标准差 （%）;夏普比 率; 最大回撤率 （%）
HK00001 长和	跟踪大买家	0.04 ± 29.03; 0.0013; 19.8	HK00011 恒生银行	跟踪大买家	0.36 ± 15.18; 0.02;10.73	HK00017 新世界发展	跟踪大买家	22.77 ± 29.10; 0.78;15.37
	随风骑行	-1.17 ± 30.77; -0.031; 28.74		随风骑行	0.32 ± 13.63; 0.02;12.41		随风骑行	19.90 ± 29.85; 0.67;17.76
	买入持有	0.21 ± 28.07; 0.00253; 9.07		买入持有	11.08 ± 20.70; 0.54;11.08		买入持有	2.68 ± 40.85; 0.07;2.68
	趋势跟踪	-1.13 ± 20.1; -0.066; 17.03		趋势跟踪	9.15 ± 11.73; 0.78;10.35		趋势跟踪	13.31 ± 27.85; 0.48;18.36;
HK00004 九龙仓集团	跟踪大买家	16.02 ± 0.37; 0.43; 20.78	HK00012 恒基地产	跟踪大买家	10.26 ± 13.18; 0.78;11.28	HK00023 东亚银行	跟踪大买家	3.71 ± 28.58; 0.13;15.27
	随风骑行	14.15 ± 0.40; 0.36; 22.14		随风骑行	13.43 ± 16.97; 0.79;15.74;		随风骑行	11.30 ± 32.43; 0.34;14.42
	买入持有	11.15 ± 60.54; 0.18;11.15		买入持有	2.54 ± 25.60; 0.10;2.54		买入持有	2.81 ± 32.42; 0.09;2.81
	趋势跟踪	11.59 ± 53.58; 0.21;25.01		趋势跟踪	11.38 ± 24.01; 0.47;14.51		趋势跟踪	2.66 ± 21.78; 0.12;13.64
HK00005 汇丰控股	跟踪大买家	7.14 ± 32.18; 0.22;17.50	HK00016 新鸿基地产	跟踪大买家	10.88 ± 20.95; 0.52;11.59	HK00066 港铁公司	跟踪大买家	14.70 ± 24.08; 0.61;6.38
	随风骑行	6.94 ± 29.34; 0.24;18.66		随风骑行	7.40 ± 21.35; 0.35;17.64		随风骑行	9.49 ± 15.81; 0.60;12.65
	买入持有	-2.66 ± 29.27; -0.09;2.66		买入持有	7.31 ± 28.85; 0.25;7.31		买入持有	15.41 ± 17.72; 0.87;22.92
	趋势跟踪	3.43 ± 19.81; 0.17;16.64		趋势跟踪	7.67 ± 20.13; 0.38;16.40		趋势跟踪	8.59 ± 13.85; 0.62;11.27

股票（10-12）	交易策略	年化收益率 （%）± 标准差 （%）; 夏普比 率; 最大回撤率 （%）	股票（13-15）	交易策略	年化收益率 （%）± 标准差 （%）; 夏普比 率; 最大回撤率 （%）	股票（7-9）	交易策略	年化收益率 （%）± 标准差 （%）; 夏普比 率; 最大回撤率 （%）
HK00083 信和置业	跟踪大买家	-2.74 ± 12.39; -0.22; 17.12	HK00291 华润创业	跟踪大买家	5.01 ± 36.24; 0.14; 21.75	HK01398 工商银行	跟踪大买家	9.77 ± 20.78; 0.47; 11.44
	随风骑行	-6.03 ± 23.36; -0.27; 23.29		随风骑行	3.62 ± 52.02; 0.07; 33.53		随风骑行	4.64 ± 23.37; 0.20; 16.03
	买入持有	3.50 ± 33.31; 0.11; 47.22		买入持有	19.67 ± 57.62; 0.34; 50.40		买入持有	6.90 ± 26.11; 0.26; 36.23
	趋势跟踪	-1.47 ± 22.29; -0.07; 19.56		趋势跟踪	10.18 ± 49.00; 0.21; 26.01		趋势跟踪	-2.38 ± 11.67; -0.20; 18.38
HK00101 恒隆地产	跟踪大买家	-9.94 ± 18.90; -0.47; 22.17	HK00388 香港交易所	跟踪大买家	17.62 ± 38.96; 0.45; 11.32	HK02388 中银香港	跟踪大买家	30.08 ± 49.03; 0.61; 11.23
	随风骑行	2.46 ± 21.86; 0.11; 22.19.22		随风骑行	15.67 ± 23.89; 0.66; 15.55		随风骑行	31.75 ± 34.69; 0.92; 9.88
	买入持有	-1.99 ± 34.05; -0.06; 41.35		买入持有	23.35 ± 46.02; 0.48; 46.82		买入持有	24.99 ± 50.3; 0.50; 32.37
	趋势跟踪	-10.88 ± 12.53; -0.87; 21.24;		趋势跟踪	19.6 ± 22.85; 0.86; 17.25		趋势跟踪	31.95 ± 47.24 0.68; 10.56
HK00267 中信股份	跟踪大买家	20.15 ± 35.60; 0.57; 13.14	HK00939 建设银行	跟踪大买家	8.79 ± 12.6; 0.70; 10.51	HK02628 中国人寿	跟踪大买家	-12.71 ± 18.29; -0.69; 25.68
	随风骑行	9.87 ± 35.80; 0.28; 20.11		随风骑行	9.08 ± 18.26; 0.50; 12.39		随风骑行	-6.49 ± 22.40; -0.29; 25.12
	买入持有	-3.31 ± 51.69; -0.06; 63.17		买入持有	7.42 ± 26.93; 0.28; 28.13		买入持有	-2.55 ± 29.64; -0.09; 50.54
	趋势跟踪	1.75 ± 31.85; 0.45; 22.96		趋势跟踪	-0.46 ± 10.55; -0.04; 16.41		趋势跟踪	-1.25 ± 23.35; -0.05; 20.76

股票（10-12）	交易策略	年化收益率 （%）± 标准差 （%）; 夏普比 率; 最大回撤率 （%）	股票（13-15）	交易策略	年化收益率 （%）± 标准差 （%）; 夏普比 率; 最大回撤率 （%）	股票（7-9）	交易策略	年化收益率 （%）± 标准差 （%）; 夏普比 率; 最大回撤率 （%）
HK03328 交通银行	跟踪大买家	9.53 ± 36.98; 0.26; 15.59						
	随风骑行	2.59 ± 23.14; 0.11; 19.40						
	买入持有	-2.01 ± 25.77; -0.08; 55.65						
	趋势跟踪	3.86 ± 16.90; 0.23; 16.30						
HK03988 中国银行	跟踪大买家	12.73 ± 33.25; 0.38; 14.83						
	随风骑行	21.73 ± 28.58; 0.76; 11.53						
	买入持有	6.41 ± 29.90; 0.21; 41.62						
	趋势跟踪	21.92 ± 34.45; 0.64; 9.63						
	HIS 恒生指数	4.94 ± 35.80; 0.14; 20.11						

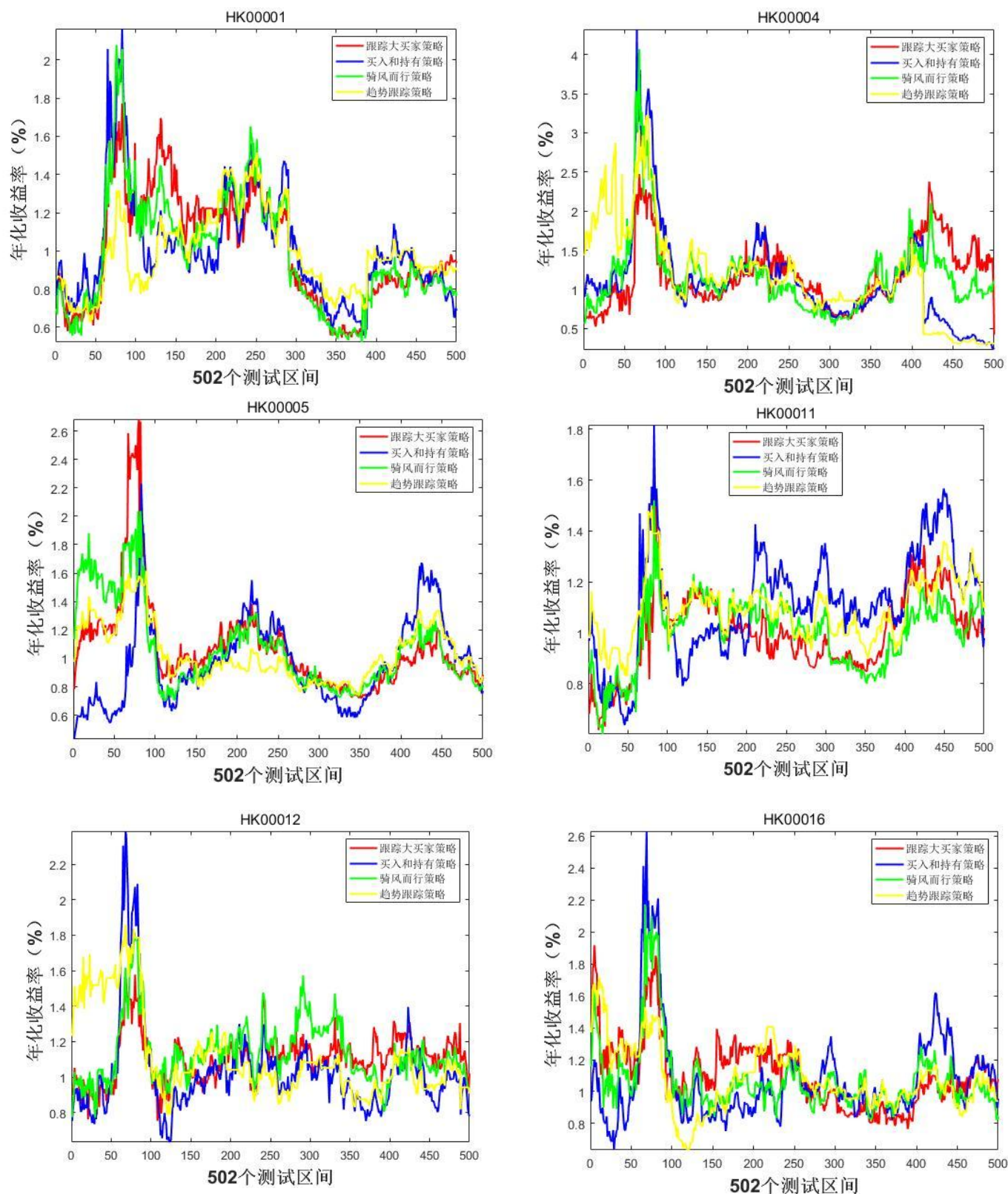


图 11 在四种策略下, 长和 (HK0001)、九龙仓集团 (HK0004)、汇丰控股 (HK0006)、恒生银行 (HK0011)、恒基地产 (HK0012)、新鸿基地产 (HK0016) 在 502 个测试区间内的年化收益率对比图, 绿色代表骑风而行, 红色代表跟踪大买家, 黄色代表趋势跟踪, 蓝色代表买入持有

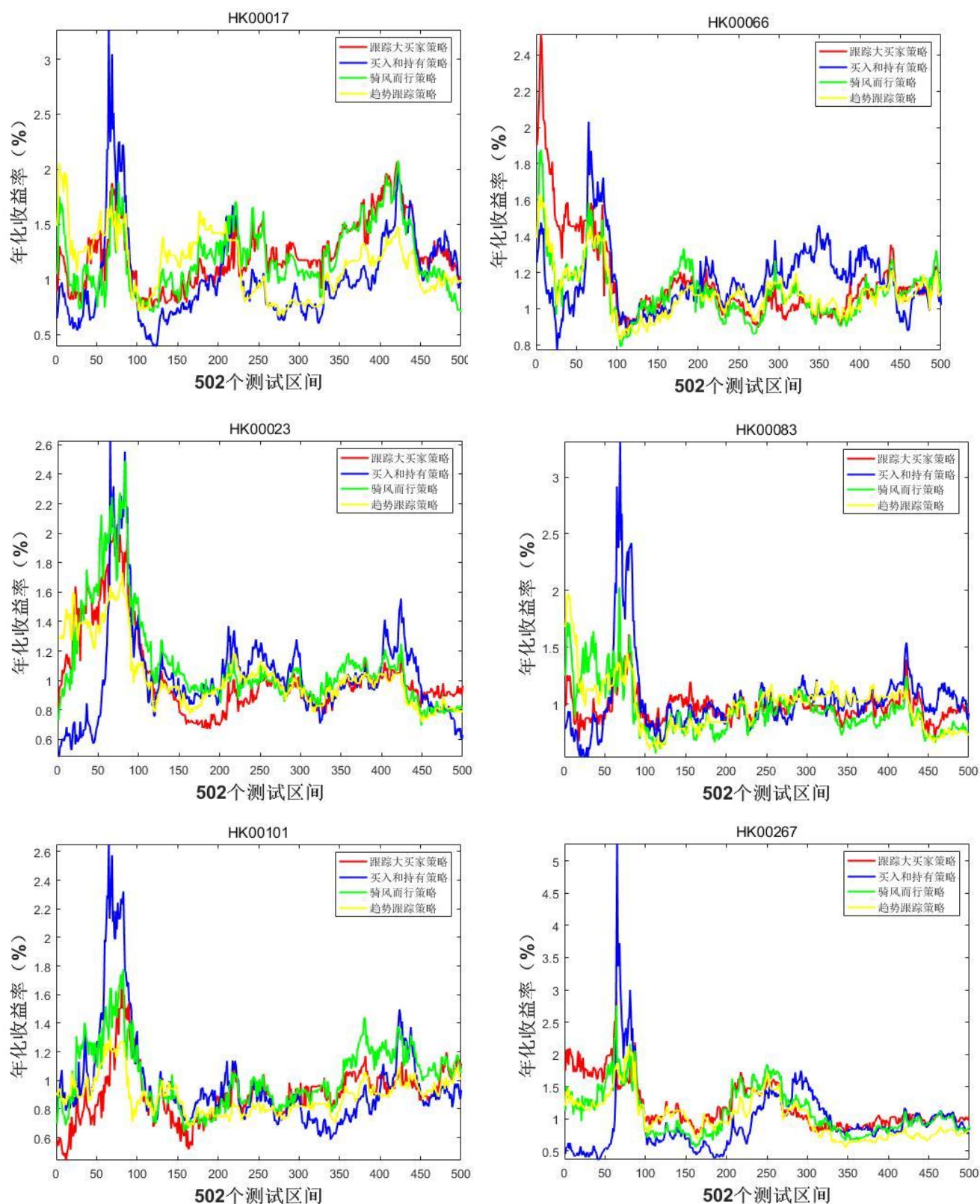


图 12 在四种策略下，信和置业（HK00083）、恒隆地产（HK00101）、中信股份（HK00267）、新世界发展（HK00017）、东亚银行（HK00023）、中国人寿（HK00066）在 502 个测试区间内的年化收益率对比图，绿色代表骑风而行，红色代表跟踪大买家，黄色代表趋势跟踪，蓝色代表买入持有



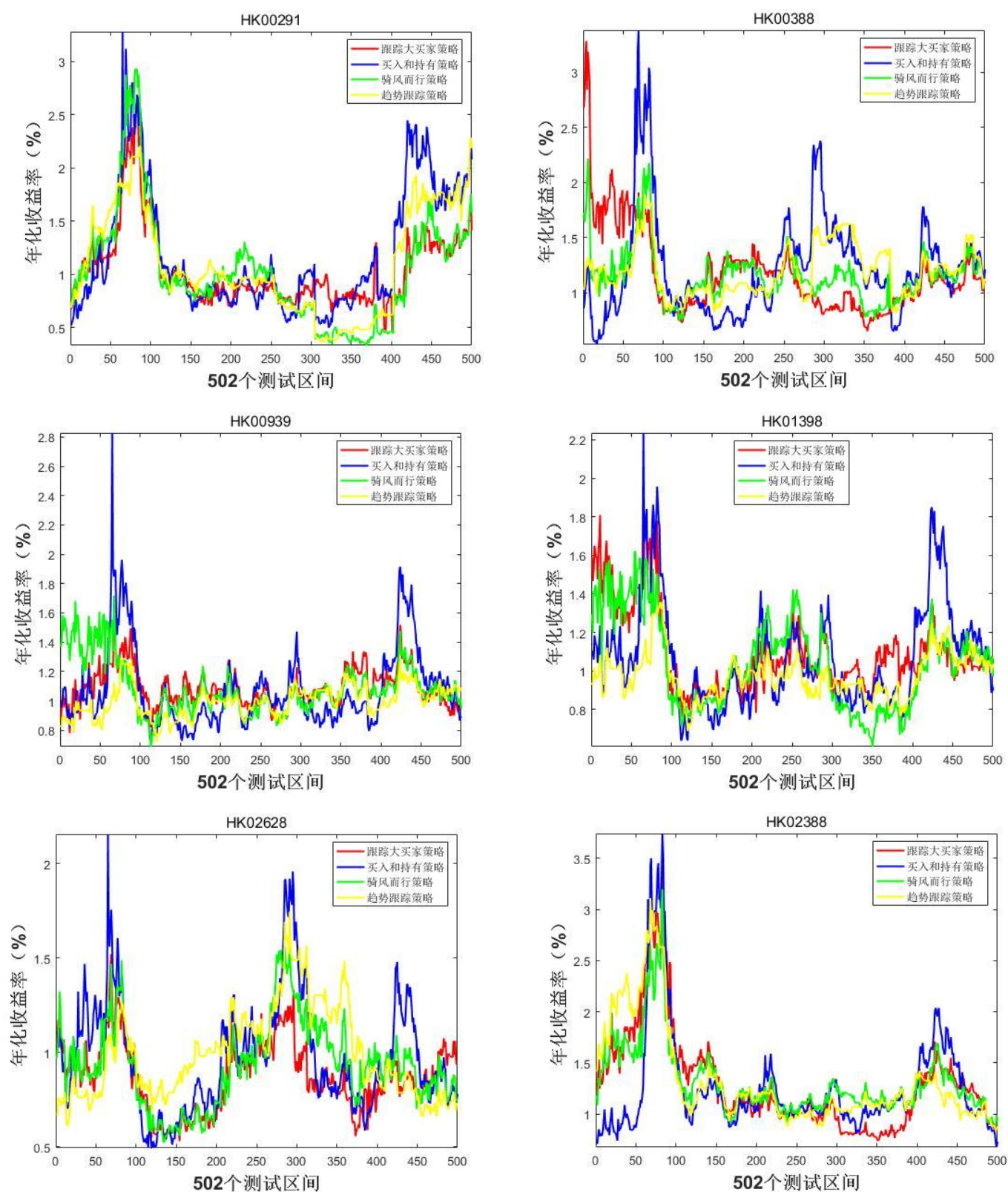


图 13 在四种策略下，华润创业（HK00291）、香港交易所（HK00388）、建设银行（HK00267）、工商银行

（HK00939）、中银香港（HK02628）、中国人寿（HK02388）在 502 个测试区间内的年化收益率对比图，绿色代表骑

风而行，红色代表跟踪大买家，黄色代表趋势跟踪，蓝色代表买入持有

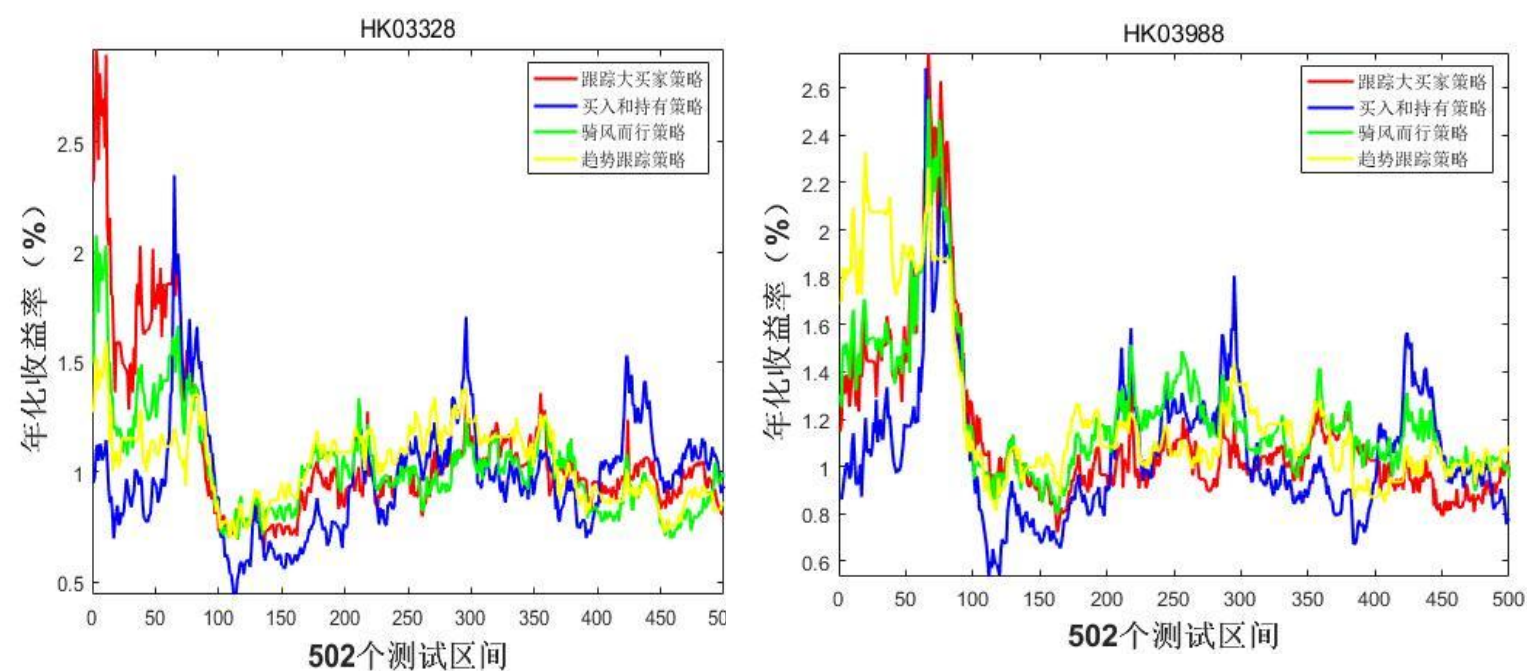


图 14 在四种策略下，交通银行（HK03328）、中国银行（HK03988）在 502 个测试区间内的年化收益率对比图对比

图，绿色代表骑风而行，红色代表跟踪大买家，黄色代表趋势跟踪，蓝色代表买入持有

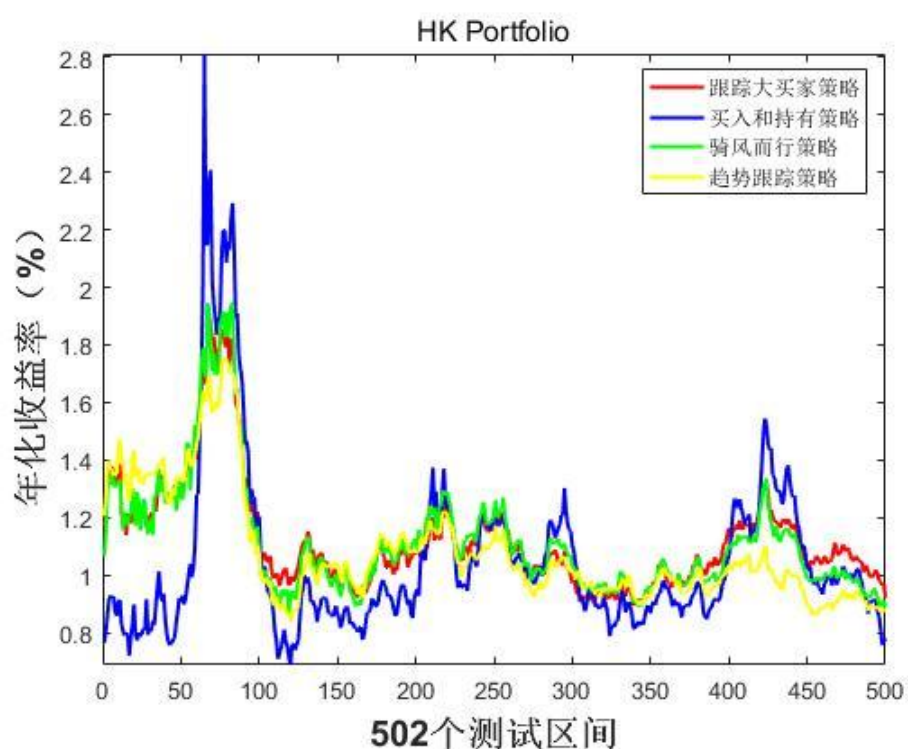


图 15 运用 4 种不同策略的香港股票组合的年化收益率对比图，绿色代表骑风而行，红色代表跟踪大买家，黄色代

表趋势跟踪，蓝色代表买入持有

本文提出一个非常简单的投资组合方案：将初始资金平均分配到 20 只风险资产（20 只香港股票），并针对每只股票独立运行四种交易策略（跟踪大买家策略，骑风而行策略，买入持有策略，趋势跟踪策略），这就是 DeMiguel 和 Uppal（2009）提出的 1/N 组合策略，该组合的样本外分析说明简单的 1/N 组合策略在夏普比率、收益、换手率上都比多种均值-方差最优化组合策略表现更加优秀，因此，本文选取 1/N 组合策略来构建资产组合进行回测分析策略的性能。图 15 展示了投资组合利用四种策略在 502 个测试区间的年化收益率表现：红色线代表组合的跟踪大卖家策略，绿色线代表组合的骑风而行策略，蓝色线代表组合的买入持有策略，黄色线代表组合的趋势跟踪策略。更详细地说，图 15 中组合在第  $j$  个区间内的收益率  $port(j)$  由式（42）定义：

$$port(j) = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} ar(i, j) \quad (42)$$

同理，组合的年化收益率为：

$$\overline{port} = \frac{1}{502} \sum_{j=1}^{502} port(j) \quad (43)$$

其标准差为：

$$std(port) = \sqrt{\frac{1}{502} \sum_{j=1}^{502} (port(j) - \overline{port(j)})^2} \quad (44)$$

表 2 给出四种策略的了  $port(j)$ 、 $\overline{port(j)}$ 、 $std(port)$ 、组合的夏普比率以及最大回撤率。

表 2 在四种策略下，投资组合在 502 个测试区间内的年化收益率、准备差、夏普比率以及最大回撤率

	年化收益率 (%) ± 标准差 (%) ; 夏普比率; 最大回撤率 (%)
跟踪大买家	12.45 ± 19.25; 0.65; 14.49
随风骑行	11.68 ± 20.10; 0.58; 16.88
买入持有	5.02 ± 29.56; 0.17; 14.96
趋势跟踪	8.12 ± 19.32; 0.42; 16.61
恒生指数	4.94 ± 35.80; 0.14; 20.11

从表 2 可以看出在五种策略中，恒生指数（指数基金）的收益率是表现最差的，其扣除成本以后的年化收益率为 4.94%，以收益率的标准差作为衡量标准的风险 35.8%，夏普



---

比率为 0.14, 最大回撤率 20.11%, 这体现了香港市场在 2007 年到 2019 年表现非常差; 其次, 表现最差的是买入持有策略, 年化收益率为 5.02%, 标准差为 29.56%, 夏普比率 0.17, 最大回撤率为 14.96%, 紧接着表现最差的是趋势跟踪策略, 年化收益率为 8.12%, 标准差为 19.32, 夏普比率为 0.42, 最大回撤率为 16.61%。随风骑行策略的年化收益率为 11.68%, 标准差为 20.1%, 夏普比率为 0.58, 最大回撤率为 16.88%, 表现最好的跟踪大买家策略, 年化收益率为 12.45%, 标准差为 19.25%, 夏普比率为 0.65, 最大回撤率为 14.49。这些数字意味这, 采用跟踪大买家策略和随风骑行策略的投资组合与香港市场投资组合 (恒生指数) 相比较, 其收益率约为市场组合收益率的 2.36 (11.68%/4.94%) 到 2.51 (12.45%/4.96%) 倍, 夏普比率约为市场组合夏普比率的 4.14 (0.58/0.14) 到 4.64 倍; 另一方面, 如果基金经理从“买入持有”策略转换为“跟踪大买家”或“随风骑行”策略, 投资组合的年化收益率将增加  $(11.68-5.02)/5.02 \approx 130\%$  到  $(12.45-5.02)/5.02 \approx 148\%$ , 以标准差衡量的风险将降低  $(29.56-19.25)/29.56 \approx 34.88\%$  到  $29.56-20.1/29.56 \approx 32\%$ , 最大回撤率将降低  $20.11-16.61/20.11=19\%$  到  $20.11-14.49/20.11=27\%$ 。虽然在 2017 年牛市中, 买入持有策略有异常高收益率, 但是策略一旦错过卖点, 则收益率会快速下降。因此, 骑风而行策略和跟踪大买家策略平均而言都比被动型策略买入持有和趋势策略都有更高的年化收益率以及更低的方差, 意味着拥有更高的夏普比率。

对于策略的买卖周期回测结果如下: 拿 20 只股票的其中一只 HK00005 (汇丰控股) 作为例子说明, 股票在 2016 年 1 月 4 日到 2019 年 09 月 18 日测试区间内, 骑风而行策略的买卖周期回测结果如图 16 所示。图 16 中上方中, 蓝线为中信股份在区间内的收盘价走势图, 其中绿色线为买点, 红线为卖点, 下方子图对应这上方子图的时间横轴, 而下方子图中绿线为  $\overline{a_3(t)} - \overline{a_2(t)}$  大于 0 的部分, 反映了大买家的力量强于大买家的力量, 红线则为小于 0 的部分, 表明了大卖家的力量强于大买家的力量, 策略开仓 18 次, 期间收益率为 9.7% 远远大于买入持有策略-3% 的期间收益率。另一方面, 图 17 展现了在了与图 16 相同的时间区间内, 中信股份应用跟踪大买家策略的买卖周期回测结果, 图 17 上方子图说明与图 16 相同, 而下方子图中, 绿线为  $\overline{a_3(t)}$  为正的部分, 意味着大买家出现, 红线代表  $-\overline{a_2(t)}$  为负的部分, 意味着大买家的出现, 而黄线代表  $\overline{a_3(t)}$  非正或  $-\overline{a_2(t)}$  为非负, 暗示着在黄线期间大买家或大买家消失, 趋势跟踪交易者占市场

主导地位,策略开仓 8 次,期间收益率为 21%远远大于买入持有策略-3%的期间收益率。通过图 16 与图 17 对比可以发现,利用模糊系统构建的骑风而行和跟踪大买家的交易具有一下特点: 1、在价格趋势上升阶段,策略能发现并识别主要的上涨波段,并自动建仓获利; 2、在下跌阶段,能摆脱主要的下跌趋势,避免了重大损失。换句话说,策略获利的次数少,但很大,损失的次数多,但很小,在一定程度上说明了策略具有巨大的盈利可能以及一定的抗风险(止损)能力,考虑到策略运用在不同的股票表现出来的结果有所差异,但无论如何策略的表现平均而言都优于被动的买入持有策略以及恒生指数收益率。



图 16 上方子图绿色线为买点,红线为卖点,蓝线为汇丰控股(HK00005)在 2016 年 1 月 4 日到 2019 年 9 月 18 日的日收盘价,下方子图中,绿线代表大买家交易强度大于大卖家交易强度的市场强度曲 ( $\overline{a_3}(t,5) - \overline{a_2}(t,5) > 0$ ), 红色代表大卖家交易强度大于大买家交易强度的市场强度曲 ( $\overline{a_3}(t,5) - \overline{a_2}(t,5) \leq 0$ )

## 5 结语

论文的主要贡献在于在技术分析模糊语言世界与非线性动力学世界之间架起桥梁,并且利用各种技术交易规则转化为动态方程来阐述股票复杂的价格模式,蒙特卡

罗模拟结果显示，模糊动态价格模型推导的价格具有与物质世界相似的形态，分别是收敛、混沌、震荡对应着固态、液态、气态，同时系统对波动率具有短期可预测性，以及系统作为万能逼近器能捕捉金融市场价格的非线性特性，因此，以模糊系统构建交易策略为交易者提供理论支撑。另一方面，模型的建立为我们提供了一个检测市场

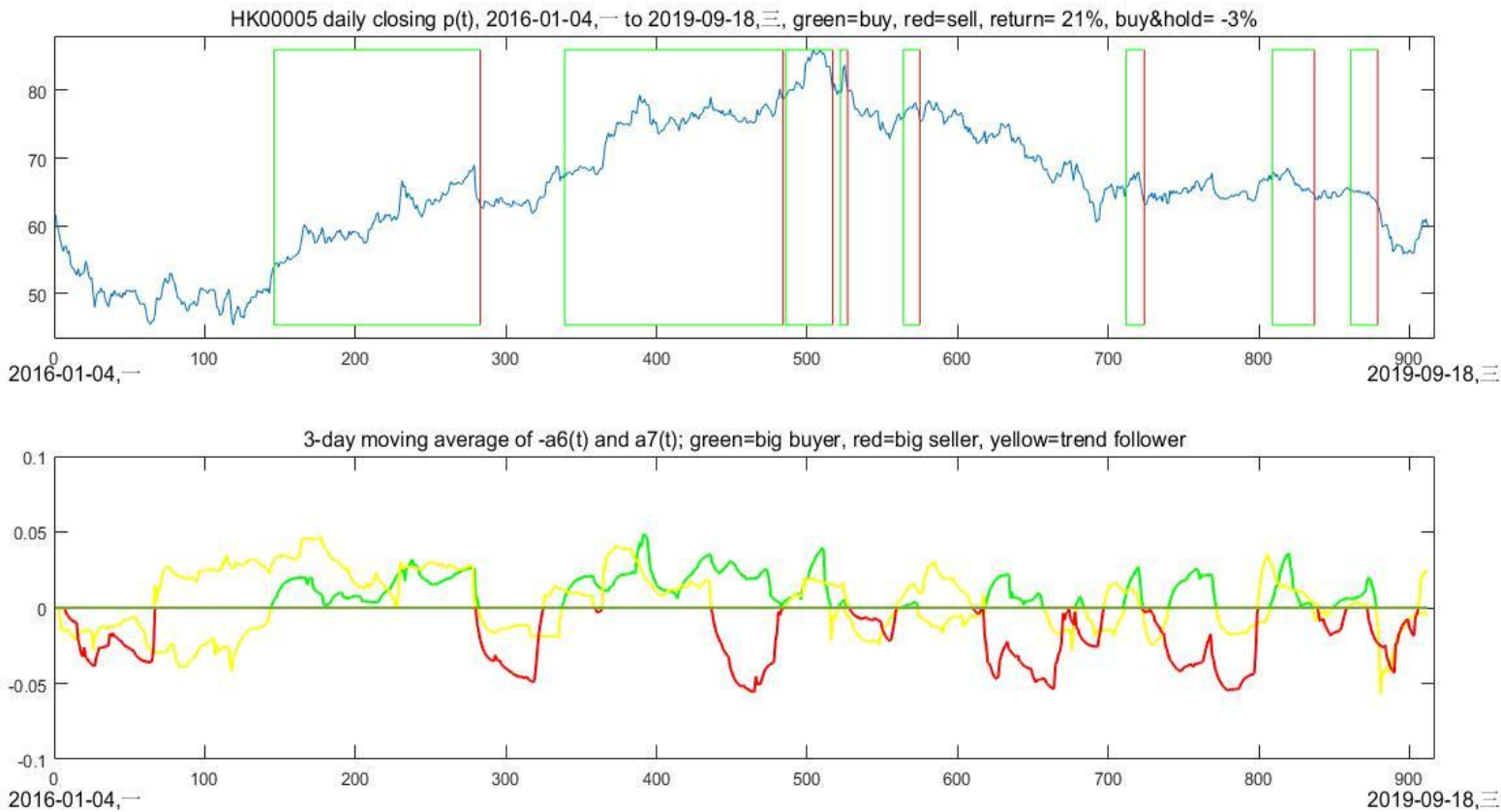


图 17 上方子图绿色线为买点，红线为卖点，蓝线为汇丰控股（HK00005）在 2016 年 1 月 4 日到 2019 年 9 月

18 日的日收盘价，下方子图中，绿线代表大买家的市场强度曲线（ $\overline{a_3}(t,3) > 0$ ），红色代表大卖家市场强度曲线

（ $\overline{a_2}(t,3) > 0$ ），黄线代表趋势交易者的是市场强度曲线（ $\overline{a_2}(t,3) \leq 0$  或  $\overline{a_3}(t,3) \leq 0$ ）

检测市场隐藏操作的框架，从而我们可以制定相关的策略以获得超出被动策略（买入持有策略）的超额收益。根据对 2007 年 7 月 3 日至 2019 年 9 月 18 日 12 年间的 504 个两年测试间隔内香港联交所上市的 20 只大银行和房地产股票进行测试，在扣除交易成本后，跟踪大买家策略，骑风而行策略和买入并持有策略的平均年回报率（±标准偏差）分别为 12.45%（±19.25%），11.68%（±20.1%）和 5.02%（±29.56%），最大回撤率分别为，16.88%，11.68%，14.96%，这意味着如果基金经理在此期间从买入和持有策略转为跟踪大买家策略或骑风而行策略，平均净利润将增加  $(12.45 - 5.02) / 5.02 \approx 148\%$  或  $(11.68 - 5.02) / 5.02 \approx 130\%$ ，风险（由标准差衡量）会减少  $(29.56 - 19.25) / 29.56 \approx 34.88\%$  或  $(29.56 - 20.1) / 29.56 \approx 32\%$ 。对于资金较多的基金，这些利润的提升和风险降低效果更显著。

---

关于论文提到的跟踪大买卖家策略与骑风而行策略具有以下优点：1、模型一般化，能使用多种市场情况，唯一输入的信息就是价格信息，而对象可以是不同的股票，商品，外汇，衍生品等等，随着技术分析的普及，只要大部分交易者使用技术分析规则来进行交易，论文的策略就可以尝试。2、策略容易实现，你只需要将价格序列输入进算法（38），通过迭代就能求出模型参数，这样的步骤只需要 matlab 上写上几行代码便可实现。3、策略的回测效果好，是因为模型事实上并没有预测股价，它仅仅只是跟随大买家的步伐，如果大买家成功，模型便成功，如果大买家失败，模型便失败。只要你坚信供给需求决定价格，那么他们的的投资理念便会很好的调整市场。

论文的不足之处在于 1、模糊系统的参数是事先按照多次实验的平均效果确定的，例如交易策略中假设交易者的感官阈值参数  $w=0.01$ ，以及交易者 10%、20%、40%的购买力等，实际上，交易者感官参数可能受到当时做决策时的情绪，以及同行的意见所发生改变，交易者的实际购买力也因不同的交易习惯而有不同的比率。但本文认为即使策略是非最优参数设置，由模糊系统设计的交易策略都优胜于被动的买入持有策略和传统的趋势跟踪策略。2、策略没有考虑仓位管理，本文策略假设当模糊系统检测到买入或卖出信号时，是采用全仓购入或卖出以及账户内拥有足够多的资金，在实际中当策略策略大幅度的亏损就容易发生账户的资金不足从而退出市场，导致无法在下次以低价位买入，但根据凯利（1952）公式，为了寻求长期资本增长率的最大化，每次交易需要投注一定比例的资金才是最优选择（ $f^*=(bp-q)/b$ ，其中  $f^*$  为最优赌注比例， $b$  为赔率， $p$  为策略的胜率， $q$  为策略的落败率），因此，如果考虑最优的投注比例，将会使策略进一步优化。3、模型的参数估计仅仅使用带有指数遗忘的标准递归最小二乘算法去估计大买卖家的市场交易强度参数  $a(t)$ ，总所周知，面对变化莫测的金融市场，快速的估计方法和估计的准确性是策略成功的关键，由此，寻找一个更快速，误差更小的参数估计方法成为提高策略回报率的关键因素。论文的进一步研究有：加入更多的技术规则完善模糊系统的转换效率，例如输入的指标  $x$  不仅仅是移动均线，而且考虑交易者通过识别价格形态进行交易，如三角形形态，锥型，头肩型，十字星，鲸吞以及乌云覆盖等等，其次，增加跨市场维度的比较。以上不足之处也将是本文未来继续研究的方向。

## 参考文献

- [1] L. Bachelier, "Theorie de la speculation," Annales Scientifiques del' Ecole Normale Superieure, vol. 17, pp. 21 - 86, 1900. [Translated by Cootner, Ed., as "Random character of Stock Market Prices." (Mass. Inst. Technol., 1964: 17 - 78)].
- [2] B. LeBaron, S. H. Chen, and S. Sunder, "The future of agent-based research in economics: A panel discussion," East. Econ. J., vol. 34, pp. 550 - 565, 2008.
- [3] C. D. Kirkpatrick and J. Dahlquist, Technical Analysis: The Complete Resource for Financial Market Technicians, 2nd ed. Upper Saddle River,

---

NJ, USA: Pearson, 2011.

[4] F. Black and M. Scholes, "The pricing of options and corporate liabilities," J. Political Economy, vol. 81, pp. 637 - 659, 1973.

[5] R. F. Engle, "Autoregressive conditional heteroskedasticity with estimates of the variance of U.K. inflation," Econometrica, vol. 50, pp. 987 - 1008, 1982.

[6] Li-Xin Wang, "Dynamical Models of Stock Prices Based on Technical Trading Rules" IEEE TRANSACTIONS ON FUZZY SYSTEMS, VOL. 23, NO. 4, AUGUST 2015

[7] J. C. Hull, Options, Futures, and Other Derivatives, 7th ed. Singapore: Pearson, 2009.

[8] T. Bollerslev, R. Y. Chou, and K. F. Kroner, "ARCH modeling in finance: A review of the theory and empirical evidence," J. Econometr., vol. 52, pp. 5 - 59, 1992.

[9] J. P. Fouque, G. Papanicolaou, and K. R. Sircar, Derivatives in Financial Markets with Stochastic Volatility, Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2000.

[10] C. H. Hommes, "Heterogeneous agent models in economics and finance," in Handbook of Computational Economics: Agent-Based Computational Economics, vol. 2, L. Tesfatsion and K. L. Judd, Eds. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 2006, pp. 1109 - 1186.

[11] B. G. Malkiel, A Random Walk Down Wall Street, 10th ed. New York, NY, USA: Norton, 2012.

[12] E. Fama, "Efficient capital markets: A review of theory and empirical work," J. Finance, vol. 25, pp. 383 - 417, 1970.

[13] Zadeh, L. A., "Fuzzy sets" Informat. Control, 8, pp. 338-353

[14] Zadeh, L. A., "Fuzzy algorithms" Information and Control, 12, no. 2, pp. 94-102

[15] Bellman, R. E., and L. A. Zadeh, "Decision-making in a fuzzy environment," Management Science, 17, no. 4, pp. 141-164.

[16] Sugeno, M., and M. Nishida, "Fuzzy control of model car," Fuzzy Sets and Systems, pp. 103-113

[17] L. A. Zadeh, "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes," IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., vol. SMC-3, no. 1, pp. 28 - 44, Jan. 1973.

[18] A. S. Kyle and S. Viswanathan, "Price manipulation in financial markets: How to define illegal price manipulation," Amer. Econ. Rev., vol. 98, no. 2, pp. 274 - 279, 2008.

[19] L. X. Wang, A Course in Fuzzy Systems and Control. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall, 1997.

[20] Rudin, W. [1976], *Principles of Mathematical Analysis*, McGraw-Hill, Inc., New York

[21] John L. Kelly, Jr. A New Interpretation of Information Rate [J]. Bell System Technical Journal, 1956

[22] 张喆 . 股票价格的模糊预测方法 [J]. 现代经济信息 . 2008(10)

[23] 李太华 马燕 邱玉辉 . 基于模糊逻辑的智能 Agent 情感建模 [J]. 计算机科学 . 2007(11)

[24] 王迎军 王立新. 《模糊系统与模糊控制教程》[M] 清华大学出版社 2003 年