

被动型算法交易

——算法交易系列研究之二

相关研究

《算法交易系列研究之一：追求效率
与 Alpha 的算法交易》

发表日期（2009/3/5）

- 被动型算法交易是最基本的算法交易策略，占算法交易市场绝大部分的交易额。这种策略适合流动性较好、交易量较大的股票及对买入速度要求不高的交易。
- 算法交易优化的第一个目标是冲击成本。冲击成本与投资者需要执行的股票数量、市场的总交易量以及股票的波动率相关。冲击成本可以分为永久性冲击成本、暂时性冲击成本。
- 算法交易优化的另一个目标是等待风险。决定等待风险的因子包括价格的波动率、价格的不确定性、流动性风险即成交量的不确定性、市场冲击成本估计的误差等。它还与尚未完成交易的股票数正相关。
- 综合考虑冲击成本与等待风险，选择合适的业绩基准与优化目标，通过最优化方法就可以计算得到适合投资者最优的交易策略。我们提出了一个实用遗传算法寻找最优策略的方法。
- 最后，我们对 VWAP、TWAP、PEG、IS 四种市场上常用的算法交易进行了简要的介绍。其中 VWAP 策略是使用最广泛的算法交易策略，该策略及其变体完成的成交量占国际市场算法交易完成总成交量的一半。

分析师

罗捷

(0755) 8208 0134

luojie@lhq.com

曹传琪

(0755) 8208 0154

caocq@lhq.com

目 录

概述	3
被动型算法交易	3
冲击成本与等待风险之间的权衡	3
报告中的一些符号与约定	3
冲击成本	4
冲击成本构成	4
冲击与价格变动	4
成交量预测	5
模型的实例——I-Star 模型的冲击成本	5
等待风险	6
冲击成本与等待风险的最优化	6
业绩基准	6
交易策略的最优化目标	7
使用遗传算法进行最优化	7
常用被动型交易策略	8
交易量加权平均价格 (VWAP)	8
时间加权平均价格 (TWAP)	8
盯住盘口策略 (PEG)	8
实现差价 (Implementation Shortfall)	9
参考文献	9

概述

被动型算法交易

我们从被动型算法交易开始算法交易的研究。被动型算法交易策略假设市场是有效的。在这一假设下，我们无需关心市场均衡价格如何形成，也不需要不尝试判断交易者的行为或试图主动影响市场，使得算法交易的设计与评价过程被大大简化了。

被动型算法交易在决定如何进行交易时，除估计相关模型参数之外，一般不再利用市场数据。当投资者做出目标价格与交易数量的决定后，交易时机、数量等的选择就由交易算法自动决定好，并按照既定的步骤下达交易指令直至交易全部完成或着时间或价格达到交易停止条件。

尽管交易决策过程被大大简化，市场中大量交易信息并没有被充分利用，不过被动型算法交易仍是最常用的算法交易策略。市场上由算法交易完成的交易额中，绝大部分都是通过以 VWAP 为代表的被动型算法交易进行的。

一般而言，被动型算法交易比较适合流动性较好、交易量较大、波动率较小的交易品种及交易完成率要求高但又对买入速度要求不高的交易。如果交易品种不符合条件或者交易要求迅速完成，作为被动型的算法交易策略，可能无法及时捕捉并利用市场上突然出现的交易机会，这种情况下，较主动的交易策略更符合投资者的要求。

冲击成本与等待风险之间的权衡

当投资者有大量证券资产需要交易时，一般都会把交易拆细，分批执行。但是，这就出现了一个问题：如何安排这些交易对是最有利的？

一般我们都希望交易不要对市场产生太大的冲击，同时也不希望交易拖太久导致市场价格向不利于我们的方向变动。但是，这是一个两难：市场冲击是交易速度的增函数；等待风险则是交易速度的减函数。当交易执行速度较快时，等待风险很小，冲击成本很大；交易执行慢时，冲击成本很小，等待风险很大。算法交易的核心问题是在冲击成本与等待风险之间进行平衡。

报告中的一些符号与约定

为讨论的方便，本文假设需要交易的总量为 X ，分为 n 步进行，那么可以用 $\{x_i, 1 \leq i \leq n, \sum x_i = X\}$ 来描述交易策略，其中 x_i 代表第 i 步交易的数量。在本报告中，未加说明，均以 $\{x_i\}$ 来刻画交易策略。

算法交易的决策分为宏观和微观两个层次：宏观层次包括交易的时间、交易的风格、交易的规则等；微观层次包括限价/市价指令的选择、交易时机的决定、保证宏观决策完成的方法等。本报告主要涉及被动型算法交易的宏观层面；对于微观层面的交易策略将在后续的报告中进行讨论。

本文中提到的交易成本的部分都不包括交易费用等不受交易策略影响的固定交易成本。

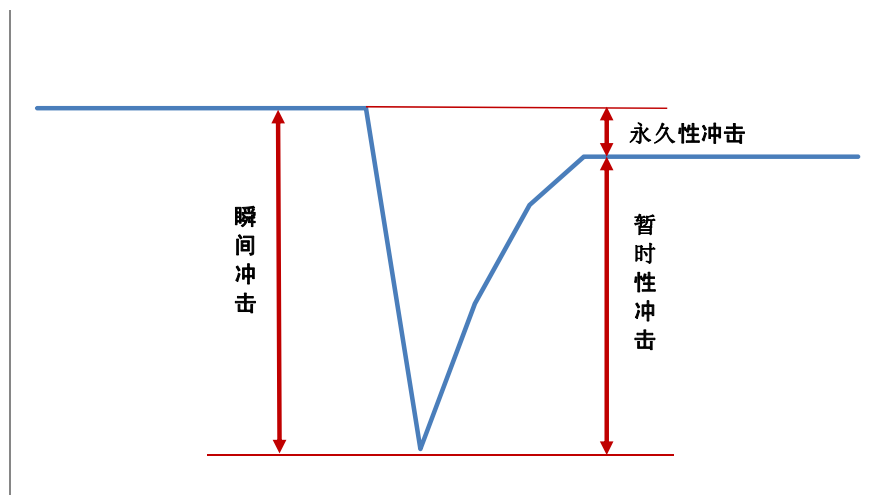
冲击成本

接下来我们介绍一下两难的第一个问题：不同交易方式会对交易的对冲击成本造成什么样的影响。

冲击成本构成

一次较大规模交易对股票价格造成冲击如图一所示。这种波动形式在股票的日内走势图中经常能够见到。

图 1、股票价格变动与冲击成本的构成



数据来源：联合证券研究所。

交易形成的冲击成本可以分为两个部分：永久性冲击成本和暂时性冲击成本。其中，永久性冲击成本是由于交易造成的永久性的不利偏移，可以理解为交易者在交易过程中造成的信息泄露；暂时性冲击成本指由于市场流动性不足造成的市场价格暂时性偏离，在流动性恢复以后价格会回到原来的位置。交易冲击成本的建模也必须针对这两个部分分别进行。

冲击与价格变动

为描述的方便，假设交易过程中的股票价格变动满足下面的式子

$$P_j = P_0 + \sum_{i=1}^j \Delta P_i + \sum_{i=1}^j k(x_i, i) d(j-i) + \sum_{i=1}^j g(x_i, i)$$

其中 P_0 是期初价格， P_j 为 j 时刻的价格， ΔP_j 是 j 时刻不受我们影响的价格变动（即客观价格变动，剔除了交易者参与市场对价格的冲击）； $k(x_i, i)$ 是临时冲击成本函数， x_i 为交易数量， i 为交易的时间。 $d(i, j)$ 是 i 时刻交易发生的临时冲击成本在 j 时刻剩下的比例。 $g(x_i, i)$ 是 i 时刻交易 x_i 的永久性冲击成本，这一冲击一旦形成，将长期保持下去。

可以看到，在对股票价格进行描述的等式中，剔除期初价格与客观价格变动后剩余的部分即冲击成本。在这一框架下，只要确定了 $k(\cdot, \cdot)$ 、 $d(\cdot, \cdot)$ 、 $g(\cdot, \cdot)$

三个函数，我们就能够计算出冲击成本。

冲击成本建模的要确立交易量与瞬间冲击成本的函数关系以及临时冲击成本与长期冲击成本的分配比例。目前从这一领域的研究结果来看，交易量与瞬间冲击成本之间主要采用的是幂次函数描述，也有部分研究者使用线性函数或者平方根函数等。

成交量预测

交易指令对市场冲击的大小最重要的未知因素是市场的流动性。市场的流动性越好，越容易消化掉我们发出的交易指令，使我们对市场交易价格的影响较小。

描述市场流动性的指标很多，与我们的交易指令直接相关的是市场的成交量。当市场本身的成交量越高，我们的交易造成的冲击就越容易被市场吸收而不会对成交价造成太大的影响。在被动型算法交易过程中，由于交易时机和交易量大小预先设定，因此如何安排我们的交易指令将很大程度上依赖交易期内成交量的预测。

成交量的变化有很强的自相关性。可以利用加权平均历史成交量来简单预测未来的成交量。在美国市场通常使用 30 日移动平均成交量作为下一交易日成交量的估计，实证显示更长时间的成交量数据对提高预测效果没有作用。

日内每个时间段成交量可以通过使用过去若干交易日同一时段成交量占那一交易日总成交量比例的平均数估计。

$$E\left(\frac{v_i}{V}\right) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{v_{ij}}{V_j}$$

其中 $E\left(\frac{v_i}{V}\right)$ 是下一天的预期收益率， V_{ij} 是之前第 j 天同一时刻的成交量，

V_j 是之前第 j 天的日成交量。

模型的实例——I-Star 模型的冲击成本

市场上存在着一些“经典”的冲击成本模型。如 JP 摩根的 Kissell 提出的 I-Star 模型是其中影响较大的一个。在这一节里，我们简要的介绍一下这一模型的形式。

I-Star 模型假设市场上发生交易的瞬时冲击成本满足

$$I^* = a_1 \cdot \left(\frac{X}{ADV}\right)^{a_2} \cdot \sigma^{a_3} \cdot X \cdot P_0$$

其中 I^* 表示瞬间冲击， X 表示要交易的股票总数， ADV 是平均日成交量， σ 是年化波动率， P_0 是当前价格， a_1 、 a_2 、 a_3 是模型参数。这一模型类似于柯布-道格拉斯生产函数。模型参数 a_1 、 a_2 、 a_3 取决于股票的本身的特性及主要交易参与者的属性等。

接下来，如果假设我们有交易策略 $\{x_i\}$ ，那么 I-Star 模型认为，该策略对市场

产生的总冲击成本为

$$MI = \sum_{j=1}^n \left(\frac{x_j}{X} \cdot \frac{b_1 I^* x_j}{x_j + 0.5 v_j} \right) + (1 - b_1) I^*$$

其中 x_i 为第 i 期交易的股票数, v_i 是第 i 期除我们外其它交易者的总交易量, b_1 是临时冲击占总冲击成本的比例。不难看出, 在 I-Star 模型中, 临时冲击成本与我们提交的成交量成正比, 与市场的总交易量成反比。

等待风险

在进行被动型算法交易过程中, 等待交易的时间风险是另一个重要影响因素。决定时间风险的因子包括: 价格的波动率、价格的不确定性、流动性风险即成交量的不确定性、市场冲击成本估计的误差等。此外, 它还与尚未完成交易的股票数正相关。

价格的不确定性即价格的波动率。关于股票价格波动率的预测市场上已经很成熟的方法, 通常使用 GARCH 类模型进行估计。

当我们决定推迟部分交易的时候, 是因为希望后期的流动性能够吸收掉我们提交的交易指令。但是未来的成交量我们只能预测, 而预测的结果可能与估计的成交量不符。成交量的波动率同样可以使用 GARCH 类模型进行预测。

时间风险可以用公式表示为

$$Risk = \sqrt{\sum r_i Var_i}$$

其中 r_i 为第 i 期剩余的股数, Var_i 是第 i 期股票价格的不确定性 (方差)。 Var_i 中包括股票价格变动的不确定性以及冲击成本受成交量误差等不确定性影响的不确定性。

冲击成本与等待风险的最优化

算法交易的目标就是在冲击成本与时间风险之间进行平衡。通过把两者作为目标进行最优化得到的结果就是的最优策略。

业绩基准

当投资者投资目标不同时, 选择的业绩基准也就不一样, 不同的将会得到不同的策略。例如某些投资者希望尽可能接近以开始交易时的价格成交, 而某些投资者却可能希望以尽量接近收盘价的价格成交。

如果以交易开始时的价格为策略的业绩基准, 那么对应的交易成本表示为

$$Cost = \sum_{j=1}^n x_j \sum_{i=1}^j \Delta P_i + \frac{1}{X} \sum_{j=1}^n \left(\frac{b_1 I_j^* x_j^2}{x_j + 0.5 v_j} + (1 - b_1) x_j I_j^* \right)$$

如果以全部指令完成后 (如收盘时) 的价格为业绩基准。这时不用考虑长期

冲击成本而只考虑暂时性冲击成本。那么交易成本变为

$$Cost = \sum_{j=1}^n x_j \sum_{i=j}^n \Delta P_i + \frac{1}{X} \sum_{j=1}^n \left(\frac{b_1 I_j x_j^2}{x_j + 0.5 v_j} \right)$$

根据交易的不同需要以及交易者的不同偏好，可以选择必要的业绩基准来计算成本函数。

交易策略的最优化目标

对交易策略进行最优化时，最直观的方法是有约束条件的最优化。在限定风险上限的情况下最小化冲击成本，优化目标为

$$\text{Min Cost, s.t. Risk} \leq R$$

或者在限定冲击成本上限的情况下最小化风险，优化目标为

$$\text{Min Risk, s.t. Cost} \leq C$$

理论上最合理的方法是把效用函数作为最大化的目标。这种方法难度在于选择什么样的效用函数，并且在使用效用函数的情况下将使最优化的过程变得较为复杂。一个具有可操作性的策略是给风险和冲击成本分别赋予一定的权重后相加。实其结果最小化。

$$\text{Min Cost} + \lambda \text{ Risk}$$

价格改善目标是另一个比较常用的算法交易目标。该方法假设一个成本边界 C^* ，希望冲击成本小于目标成本的概率最大。该目标的目标函数可简化为

$$\max \frac{C^* - \text{Cost}}{\text{Risk}}$$

通过对设定的目标函数进行最优化，就能得到对应的最优交易策略。不过交易方式的最优化过程一般比较复杂，使用的常规规划方法需要对模型进行大量的简化。一般目标函数可以用来检验根据经验设计的交易方法。此外，也可以用一些非常规的方法寻找最优交易策略。

使用遗传算法进行最优化

对于求解最优参数，我们建议使用遗传算法。这是一种随机化的最优化方法。使用这种方法寻找最优策略的大致思路是：

1. 随机生成或人工设定一组策略，作为寻找最优策略的起点；
2. 把选择部分策略，将其两两进行组合（如两种不同策略的线性组合），作为“遗传”得到的新策略；
3. 选择一部分老的策略以及新生成的策略，随机改变这些策略的一些成分，作为“变异”得到的新策略；

4. 把所有策略的结果排序, 选择最好的策略构成新的策略组合;
5. 在新策略组合的基础上开始重复第二步, 直到满足某些条件。

这一方法不一定能得到最优解,但是能够在时间与效果之间取得很好的平衡。

常用被动型交易策略

最后, 我们简单的介绍一下在市场上比较常见的被动型交易策略。

交易量加权平均价格 (VWAP)

交易量加权平均价格 (VWAP) 是使用最广泛的算法交易策略。根据英国信息服务商 THE TRADE 统计, 2005 年国际证券市场使用算法交易完成的成交量中, 27%使用的是 VWAP 算法交易, 在此之外还有 24%使用的是为客户特制的 VWAP 算法交易变种, 也就是说市场上超过一半的算法交易是使用 VWAP 及其衍生算法交易完成的。

VWAP 算法交易的原则是每一段时间完成交易的总量占这段时间内市场总交易的比例恒定。理想的情况下, 这一算法交易实现的成交价格等于一段时间内的市场成交均价。

VWAP 算法交易的目的是最小化冲击成本, 并不寻求最小化所有成本。理论上, 在没有额外的信息, 也没有针对股票价格趋势的预测的情况下, VWAP 是最优的算法交易策略。

VWAP 微观上最好的下单策略是市价单与限价单的组合。通常 VWAP 交易可分为四个步骤:

1. 把一个交易日分为若干时间片, 按预测每个时间片交易量占整个计划交易期总预测交易量的比例分配交易指令给每个时间片;
2. 在每个时间片的期初下达一个指定数量的限价单;
3. 如果在一段时间内交易没有被执行而且成交价在远离我们的限价指令的计划价格, 则调整价格重下限价单;
4. 时间片到期仍未完成交易的, 使用市价交易指令完成全部交易。

为了提高算法的效率以及隐藏交易行为的效果, VWAP 可以适当加入一些交易机会的判断以及加入随机决定下单时间和数量的成分。

时间加权平均价格 (TWAP)

时间加权平均价格 (TWAP) 策略与 VWAP 策略非常类似, 不同的是这一方法并不预测交易期内成交量的分布。TWAP 算法交易把交易期划分为若干时间片以后, 按每个时间片的长度权重分配该时间段内需完成的交易量。该策略其他交易程序与 VWAP 相同。

盯住盘口策略 (PEG)

盯住盘口策略 (PEG) 每时每刻都根据市场盘口的现状下达交易指令并只下

限价单。一般按照以下的步骤进行:

1. 买入时按照当前最高的买价、卖出时按照当前最低的卖价发出一定数量的限价交易指令,并等待结果;
2. 如果交易指令未完成且市场成交价格逐渐远离我们下达的指令,则撤销指令重新按现有市场情况执行第一步;
3. 如果所有限价交易指令交易完成,重复第一步,直至所有计划交易完成或到达交易执行的最后期限。

当指令执行的需求比较迫切时,可以不在现有的盘口,而是选择市场的买卖中间价下达交易指令,以使我们的指令能够尽早执行。

实现差价 (Implementation Shortfall)

这种交易按照当前价格与容忍价格(可以接受的最差的价格,由投资者提出)选择交易的时机进行交易。一般步骤为:

1. 记录下算法交易开始执行时的价格(或指定其他价格),称为到达价格,作为交易基准;
2. 当价格优于到达价格时,适时选择限价交易指令成交,如每格一段时间下特定数量的限价交易指令或每次等待随机的一段时间下随机数量的限价交易指令或根据特定的判别算法下达限价交易指令;
3. 当价格比既定的容忍价格差时,不进行交易;
4. 当价格介于到达价格与容忍价格之间时,按特定策略成交:这一特定策略可以是消极的不交易,或者是积极的,直接按容忍价格下限价单争取迅速成交,也可以是介于两者之间按一定的策略选择合适的价格成交。
5. 该算法在所有交易完成或到达交易的最后期限时结束。

这种算法交易是之前最优化目标中提到的价格改善目标的一个具体算法交易实现。

参考文献

在市场微观结构的基础参考资料方面, Maureen O'Hara 教授于 1998 年出版的《Market Microstructure Theory》一书以及 Ananth Madhavan 在 2000 年发表的文献综述《Market Microstructure: A Survey》是经典的综合性材料。两者都偏向于报价驱动型市场(由做市商负责报价),不过很多基本结论在中国这种指令驱动型市场也能直接使用。由于指令驱动型市场不存在单一决定报价的做市商,建模难度较大,相关研究较少。对此类市场建模有兴趣可以进一步参考 Ioanid Rosu 的论文《A Dynamic Model of the Limit Order Book》。

I-Star 模型是由 JP 摩根的 Robert Kissell 开发的模型。完整的描述可以在他的《Optimal Trading Strategies》一书中找到。

联合证券股票评级标准

增 持	未来 6 个月内股价超越大盘 10%以上
中 性	未来 6 个月内股价相对大盘波动在-10% 至 10%间
减 持	未来 6 个月内股价相对大盘下跌 10%以上

联合证券行业评级标准

增 持	行业股票指数超越大盘
中 性	行业股票指数基本与大盘持平
减 持	行业股票指数明显弱于大盘

深 圳

深圳罗湖深南东路 5047 号深圳发展银行大厦 10 层
邮政编码: 518001
TEL: (86-755) 8249 2944 FAX: (86-755) 8249 2062
E-MAIL: lzrd@lhzq.com

上 海

上海浦东银城中路 68 号时代金融中心 17 层
邮政编码: 200120
TEL: (86-21) 5010 6028 FAX: (86-21) 6849 8501
E-MAIL: lzrd@lhzq.com

免责声明

本研究报告仅供联合证券有限责任公司（以下简称“联合证券”）客户内部交流使用。本报告是基于我们认为可靠且已公开的信息，我们力求但不保证这些信息的准确性和完整性，也不保证文中观点或陈述不会发生任何变更。我们会适时更新我们的研究，但可能会因某些规定而无法做到。

本报告所载信息均为个人观点，并不构成所涉及证券的个人投资建议，也未考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需求。客户应考虑本报告中的任何意见或建议是否符合其特定状况。本文中提及的投资价格和价值以及这些投资带来的收入可能会波动。某些交易，包括牵涉期货、期权及其它衍生工具的交易，有很大的风险，可能并不适合所有投资者。

联合证券是一家覆盖证券经纪、投资银行、投资管理和证券咨询等多项业务的全国性综合类证券公司。我公司可能会持有报告中提及公司所发行的证券头寸并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行、财务顾问或金融产品等相关服务。

我们的研究报告主要以电子版形式分发，间或也会辅以印刷品形式分发。我们向所有客户同时分发电子版研究报告。

©版权所有 2009 年 联合证券有限责任公司研究所

未经授权，本研究报告的任何部分均不得以任何形式复制、转发或公开传播。如欲引用或转载本文内容，务必联络联合证券研究所客户服务部，并需注明出处为联合证券研究所，且不得对本文进行有悖原意的引用和删改。