

改进型 VWAP 策略及实证

——算法交易系列研究之三

相关研究

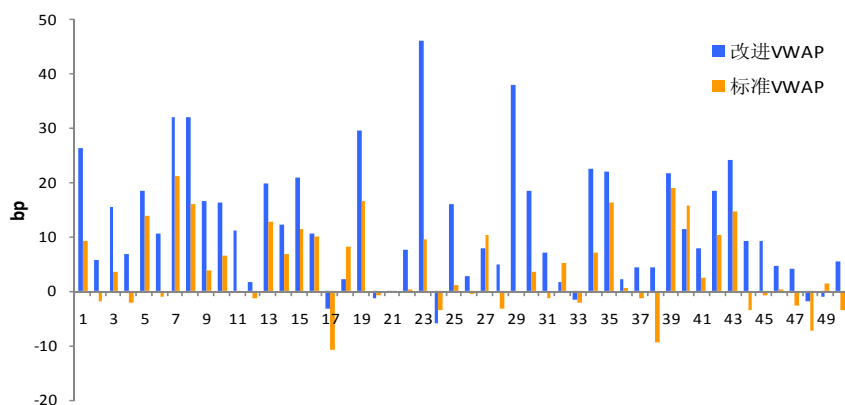
《算法交易系列研究之一：追求效率与 Alpha 的算法交易》

发表日期（2009/3/5）

《算法交易系列研究之二：被动型算法交易》

发表日期（2009/3/17）

- 交易量加权平均价格（VWAP）策略是一种常用的被动型算法交易策略。它通过匹配市场交易量来最小化市场冲击成本，同时使整个交易获得 VWAP 的平均成交价格。VWAP 策略的缺点是完全依赖于基于历史数据所预测的交易量分布，无法利用市场价格变化的信息，它的执行效果可靠性较差。
- 本文利用价格信息提出一种改进型 VWAP 策略，通过分析交易日内各个决策点前的行情，对标准 VWAP 策略的决策进行调整，提高执行效果及稳定性。
- 我们检验了在上涨、下跌和震荡的行情下，标准 VWAP 策略和改进 VWAP 策略在上证 50 的全部成分股上执行效果，肯定了改进策略的优点：通过综合交易决策点之前的交易信息，对 VWAP 策略进行调整，有利于节省交易成本，能够更好地战胜市场均价。



分析师

曹力

(0755) 8208 0141

caoli@lhzq.com

曹传琪

(0755) 8208 0154

caocq@lhzq.com

邵立夫

(0755) 2583 8401

shaolf@lhzq.com

目 录

交易成本与算法交易	3
标准 VWAP 策略.....	3
日内交易量分布及预测模型	4
简单的移动加权平均预测模型	4
标准 VWAP 策略原理	5
执行效果.....	6
策略分析.....	6
改进 VWAP 策略.....	6
策略原理.....	6
策略流程.....	7
提交量处理	7
执行效果.....	8
参数分析.....	9
适用性	10
两种策略在上证 50 成分股的表现比较.....	11
结论	13

交易成本与算法交易

量化投资主要包括三个方面：第一是对阿尔法的预测，需要预知回报，挑选适当的投资品种买进或卖出。第二是风险，在构建投资组合及业绩分析时，需要权衡风险与回报。第三是成本，需要预测交易成本并将其最小化ⁱ。

算法交易就是要解决第三个方面即交易成本的问题。关于交易成本的构成，在之前的系列报告里面已经有了比较详细的介绍。本报告着重介绍一种常用的算法交易策略：VWAP 策略，同时提出一种改进型的 VWAP 策略。

VWAP 策略是最常用的交易策略之一，具有简单易操作等特点，基本思想就是让自己的交易量提交比例与市场成交量比例尽可能的匹配，在减少对市场的冲击的同时，获得市场成交均价的交易价格。因此，VWAP 策略一般不直接对交易的冲击成本建模，而是注重日内交易量分布的预测。但值得注意的是，如果订单的量很大，VWAP 策略的冲击成本仍是不可忽略的。

标准的 VWAP 策略虽然简单易行，但是有两个很明显的缺点：第一是它完全依赖于日内交易量分布预测，如果预测不准确，VWAP 策略的执行效果将非常不确定；第二是它是一种完全静态的策略，也就是说在交易开始之前就完成了决策，在交易时间内执行策略即可，没有将市场的最新信息如价格变化，交易量变化等考虑进去，使得它不能更好的适应市场的变化，从而无法获得更好的交易价格。

Hizuru Konishi (2002)ⁱⁱ和 J Białkowski, S Darolles, G Le Fol (2008)ⁱⁱⁱ都曾对 VWAP 策略进行优化和改进，但是他们提出的方法比较复杂，涉及到高深的数学理论，缺少直观性和操作的简易性。

本文则从较简单的思路出发对 VWAP 策略进行改进，根据市场价格变化和市价均价偏离度，通过调整提交量的大小来获取更加有利的价格。

需要注意的是，利用历史高频数据的实证都无法包含交易行为可能对市场造成的影响。VWAP 策略因为将交易量尽量分散了，对市场的冲击较小，在很多情况下可以忽略实证策略可能和市场的互动，特别是需要完成的交易量比较小的时候。交易策略和市场互动的建模，我们将在进一步的报告中进行研究。

标准 VWAP 策略

这一部分介绍标准的 VWAP 交易策略。一个交易策略涉及几个要素，如交易期限，交易证券（组合），交易目标等，详情可参见前期报告。为了简单起见，本文仅考虑在一个完整的交易日买入一定数量的某单一股票的 VWAP 策略。

首先介绍日内交易量分布的概念及预测模型。

ⁱ 参见博时基金首席研究顾问李勉群博士在“2009ETF 与量化投资论坛”上的演讲。

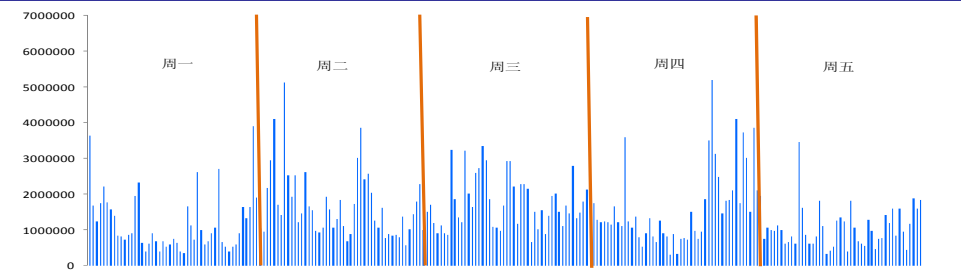
ⁱⁱ Optimal slice of a VWAP trade. H Konishi. Journal of Financial Markets, 2002

ⁱⁱⁱ Improving VWAP strategies: A dynamic volume approach. J Białkowski, S Darolles, G Le Fol. Journal of Banking and Finance, 2008

日内交易量分布及预测模型

日内交易量有两个非常重要的属性，第一个是总交易量，第二个是交易量的分布，其中第二个属性是 VWAP 算法交易策略所着重考虑的。交易量的分布是指某指定时间区间内的交易量占全天交易量的比例。影响交易量分布的因素有很多，包括市场参与者组成，宏观经济因素，投资者信心等。经验研究表明日内交易量一般会呈现 U 形态，也即开盘和收盘时刻交易量要明显高于交易期间的交易量。下图是武钢股份（600005）某一周的 5 分钟交易量图。可以看出，除了周三之外的其余四天交易量都呈现一定的 U 型。

图 1、日内交易量分布的 U 型形状



数据来源：华泰联合证券研究所，天软科技。

在本文中，我们假设交易量分布具有一定的记忆性，也即每日的交易量分布之间存在一定的类似性。交易量所具有的这种“记忆性”是让我们利用历史数据对交易量分布进行预测的基础。

简单的移动加权平均预测模型

该模型的基本思想就是利用交易量分布的记忆性，将每个交易日固定时间段的交易量占全天交易量的比例按照加权平均的方法前推，得到一个新的交易量分布。

我们首先将交易日等分为固定数量的 N 个区间。区间的长度不能太长也不能太短，太长的区间会使模型显得会比较粗糙，而且区间操作的不确定性也会增加；太短的区间又因为噪音等因素而使得预测模型不可靠。基于上述考虑，本文取 $N = 48$ ，每个区间的长度为 5 分钟。

假设我们利用前 L 个交易日的历史数据来预测接下来一天的交易量分布。记需要预测交易量分布的日期为 L ，历史交易日按由远及近的原则分别记为 $t_1, \dots, t_L$ 。对于日期 $T = t_i$ ，日内交易量分布为 $\{u_{ik}\}_{k=1}^N$ ，其中 u_{ik} 表示 t_i 天的第 k 个区间内的交易量占全天交易量的比。

我们采用如下的移动加权平均方法来预测新的交易量分布

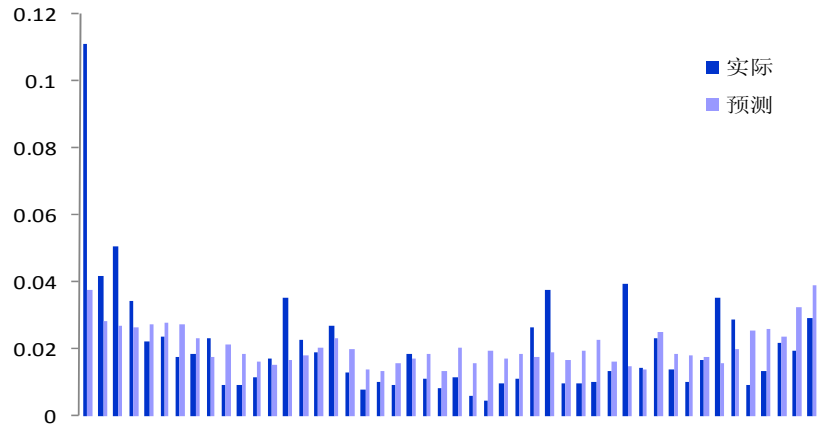
$$u_{L+1,k} = \frac{\sum_{i=1}^L f(i)u_{ik}}{\sum_{i=1}^L f(i)}$$

其中 $f(i)$ 表示对应于 t_i 的加权系数。

不同的加权系数体现了对历史数据的不同看法。简单移动平均平等对待所有的历史数据，而线性加权平均则将更多的权重放在了最近的历史数据上。

下图是利用 20 个交易日历史数据，线性加权平均得到的 2010 年 1 月 11 日的武钢股份（SH600005）的交易量分布与实际交易量分布的对比。

图 2、移动平均预测的交易量分布与实际分布的对比



数据来源：华泰联合证券研究所，天软科技。

计算可得二者的线性相关系数为 0.52，意味着预测结果和实际结果之间的具有较强的相关性，即预测有一定的作用。对别的数据进行分析可以得到类似的结果，但是相关性波动较大。这是由于影响日内交易量分布的因素太多，突然的大宗成交等无规律的行为导致了分布的异常，而这也直接会影响到标准 VWAP 策略的执行效果。

标准 VWAP 策略原理

标准的 VWAP 策略是一种静态策略，也即在交易开始之前，利用已有信息确定提交策略，交易开始之后按照此策略进行交易，而不考虑交易期间的信息。

记需要买入的股票数量为 V ，区间的划分和预测交易量分布时一样，并假设我们已经通过预测技术获得了当天的交易量分布预测值 $\{u_k\}_{k=1}^N$ 。我们以 1 分钟为单位，按照预测的成交比例分配每个区间内的交易量，在区间内再平均分配。

设 $\{p_j\}_{j=1}^{5N}$ 为各分钟的成交价格，市场最终的成交量分布为 $\{\hat{u}_k\}_{k=1}^N$ ，则

执行差额^{iv}定义为决策者的交易均价与市场成交均价的差，由上式得

$$IS = \frac{\sum_{j=1}^{5N} p_j \{\hat{u}_{[(j-1)/5]+1} - u_{[(j-1)/5]+1}\}}{5}$$

由上式可以看出 VWAP 策略的好坏直接受交易量分布预测质量的影响。预测越准确，比较误差越小。但正如我们已经看到的那样，交易量分布预测很难做到

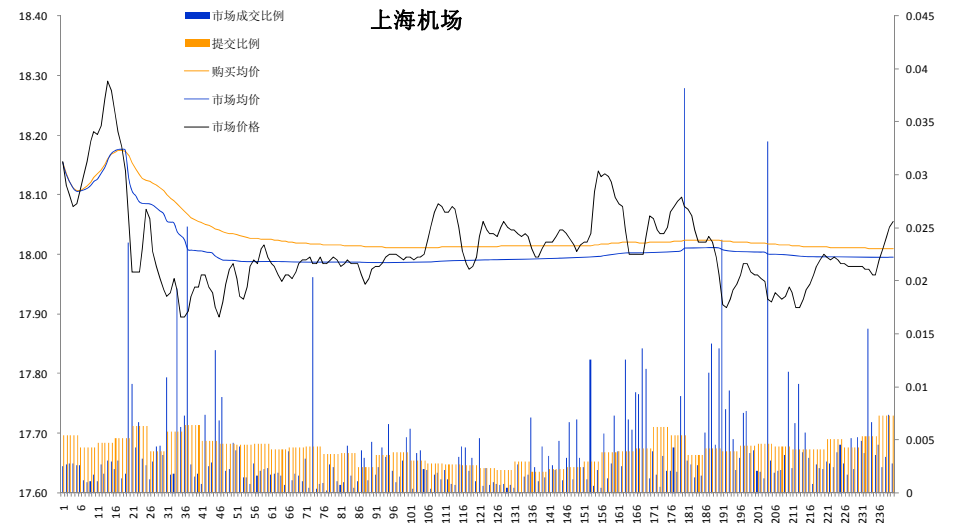
^{iv} 英文为 Implementation Shortfall

十分精确，从而普通的 VWAP 策略的执行效果将很难保证。

执行效果

下图是上港集团 2010 年 1 月 12 日的标准 VWAP 策略执行效果图。从图上可以看出标准 VWAP 策略基本上跟随了市场交易量加权均价，但明显的比市场均价要差。

图 3、标准 VWAP 策略的执行效果



说明：黑线表示市场价格走势，紫线表示市场均价，紫柱表示市场成交比例，黄线表示平均买价，黄柱表示提交比例，下同。

数据来源：华泰联合证券研究所，天软科技。

策略分析

标准 VWAP 策略是一种非常简单的静态策略。它涉及的变量较少，执行比较容易，在正常情况下能够较好的跟随市场成交价格。

但它也有两个非常明显的缺点。第一是直接依赖于交易量分布的预测，第二是没有考虑进最新的行情信息如价格涨跌幅，交易量成交变化等。

改进 VWAP 策略

这一部分将基于标准的 VWAP 交易策略发展一种新的交易策略，综合考虑历史数据，实时市场行情等，从而尽可能的获取等于或优于市场 VWAP 的成交均价。

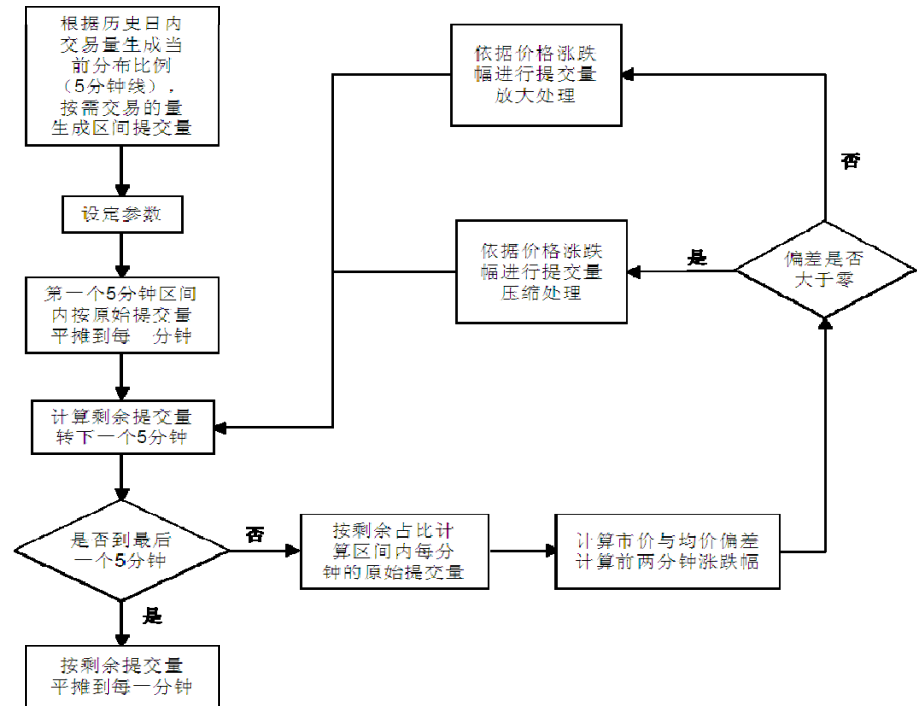
策略原理

此改进策略的基本原理是：在市场价格高于市场均价的时候，根据市场价格的走势不同程度的减少提交量，在保证高价位的低提交量的同时，能够防止出现价格的持续上涨而提交量过度的向后聚集；在市场价格低于市场均价的时候，根据市场价格走势不同策划那个度的增加提交量，在保证低价位的高提交量的同时，能够防止价格的持续走低而提交量过度的提前完成。

策略流程

整个策略的流程如下

图 4、改进 VWAP 策略流程图

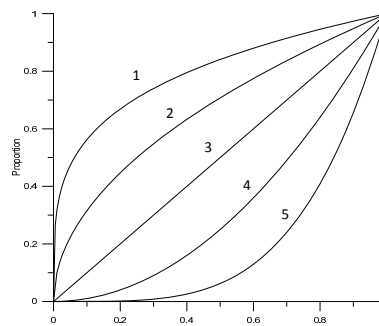


提交量处理

在说明如何进行提交量处理之前，我们先引入几个概念。

首先是偏差调整比例函数 $f(\beta)$ ，表示市场价格和市场均价的偏差 β 导致的调整比例。为了更加全面的描述不同决策者对待这种偏差的态度以及相应的决策，我们提出了容忍系数 ρ 的概念。具体而言，我们设定了五个 ρ 值：1, 2, 3, 4, 5，每个值对应一个不同的偏差调整比例函数 $f(\beta)$ 。

这五个调整函数的不同可以用下图说明。横轴是偏差绝对值固定倍数，纵轴是对应的提交量调整比例。显然，容忍系数为 1 的调整函数说明了决策者对小幅偏差的低容忍度，在偏差较小时就进行较大调整，而容忍系数为 5 的调整函数说明了决策者对于小幅偏差有着较高容忍度，只在偏差较大时才进行较大调整。



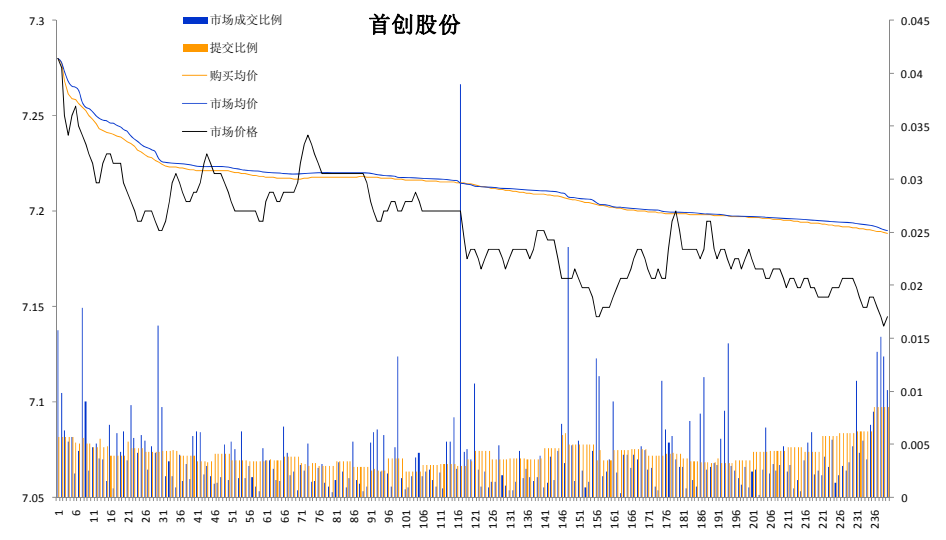
执行效果

现在来看上述策略在几种典型的价格走势情形下的执行效果。默认的参数设置为（容忍系数 $\rho=3$ ，激进系数 $\lambda=3$ 和调整阈值 $\sigma=0.002$ ）。

典型的价格走势有：震荡下行，震荡上行，水平震荡型等。我们选择 2009 年 12 月 31 日的不同走势的股票来测试改进型 VWAP 策略。

● 震荡下行

图 5、震荡下行时的策略执行效果

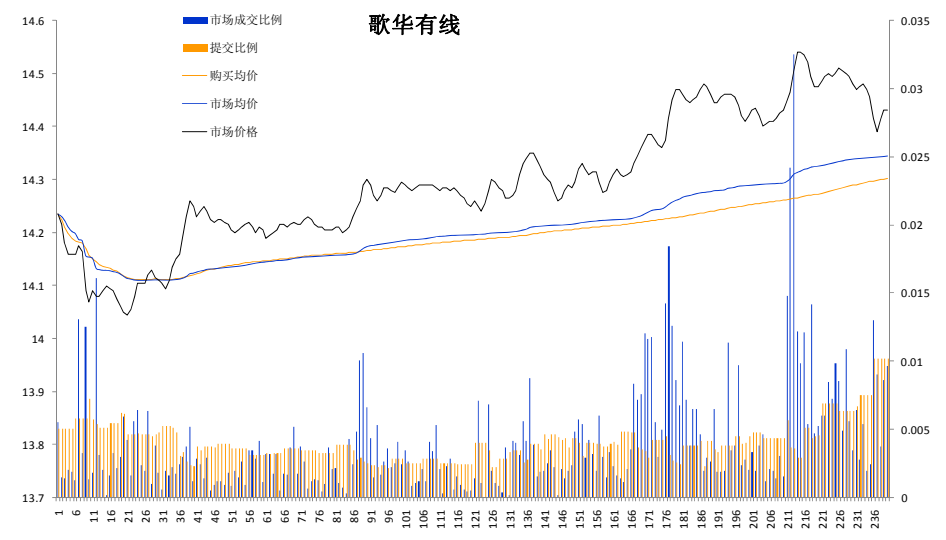


数据来源：华泰联合证券研究所，天软科技。

从上图可以看出，该策略能稍微的战胜市场均价（胜出 0.001278 元）。

● 震荡上行

图 6、震荡上行时的策略执行效果

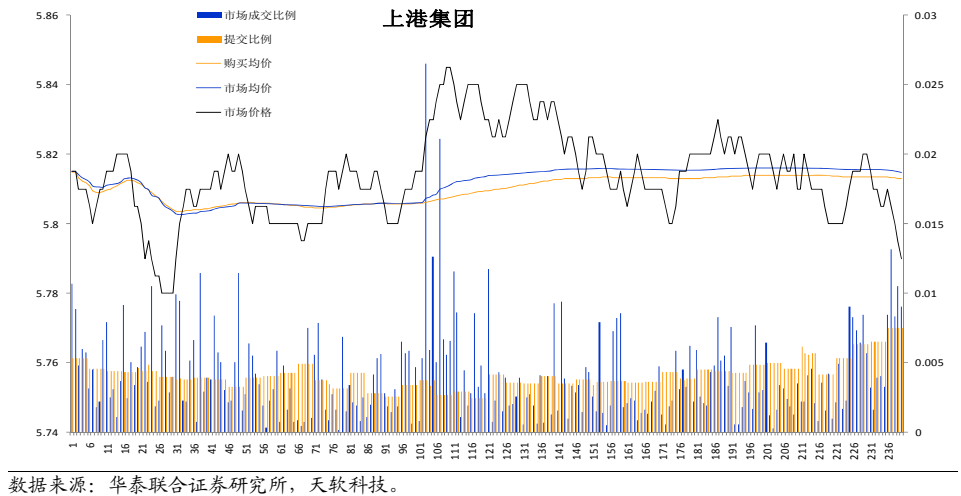


数据来源：华泰联合证券研究所，天软科技。

从上图可以看出，该策略能稍微的战胜市场均价（胜出 0.039988 元）。

● 水平震荡

图 7、水平震荡时的策略执行效果



从上图可以看出，该策略能稍微的战胜市场均价（胜出 0.001995 元）。对比标准的 VWAP 策略可以发现此策略效果更好。

参数分析

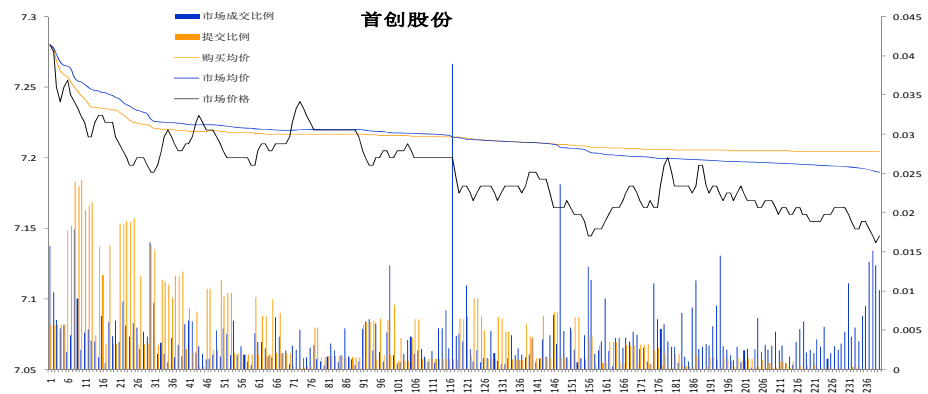
容忍系数，激进系数和调整阈值对策略的效果有很大的影响。如果决策者对市场有一定的看法，并根据看法对策略参数做一定的调整，该策略将能够取得更好的结果。

从策略的设计上可以看出各个参数的大致影响。容忍系数越大，对小幅价格偏差的反应越小，交易量也越偏向交易时间的尾部；激进系数越大，在发生因价格的调整时候的反应程度越大，对应的就是黄色峰值越高，而交易量也越偏向交易时间的头部；调整阈值越大，因价格涨跌幅所导致的调整次数越少，从而黄色峰值的个数也越少。

值得注意的是，如果将调整阈值设置到足够大，则从策略的设计可以看出此时的改进策略等同于标准的 VWAP 策略。这从另外一个侧面说明了改进型的 VWAP 策略比标准的 VWAP 策略拥有更大的灵活性，因此也能够处理更多类型的市场行情。

现在来比较不同的参数设置下的结果。我们选择首创股份作为分析对象，日期仍为 2009 年 12 月 31 日。

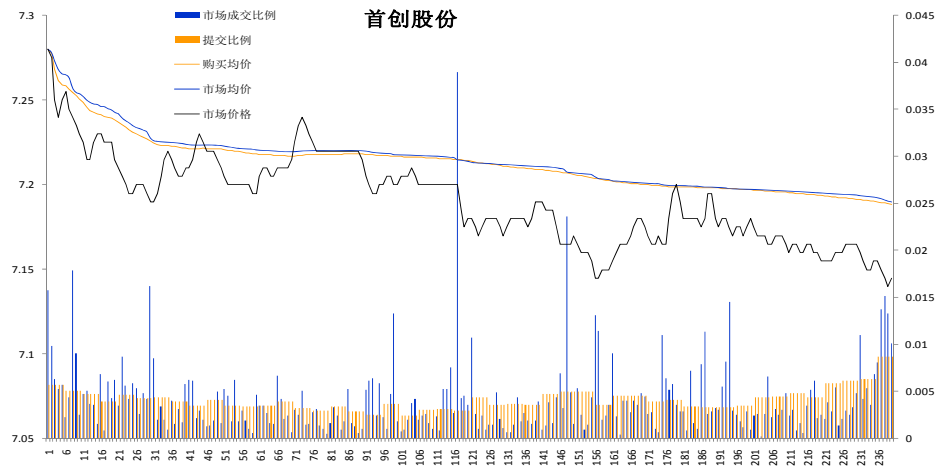
图 8、低容忍系数 1，高激进系数 3，低调整阈值 0.001



数据来源：华泰联合证券研究所，天软科技。

该策略稍微的输给市场均价（-0.01467 元）。此时，黄色峰值数量较多，幅度也较高，交易量偏向交易时间的头部。

图 9、高容忍系数 5，低激进系数 1，高调整阈值 0.003



数据来源：华泰联合证券研究所，天软科技。

该策略能稍微的战胜市场均价（胜出 0.001348 元）。此时，黄色峰值数量较少，幅度也较低，交易量偏向交易时间的尾部。

可见不同参数设置可能导致完全不同的结果。如果对市场没有准确的判断，最好采用默认的参数设置，这样虽然不能明显的战胜市场，但与市场均价的偏离也不会太大。

适用性

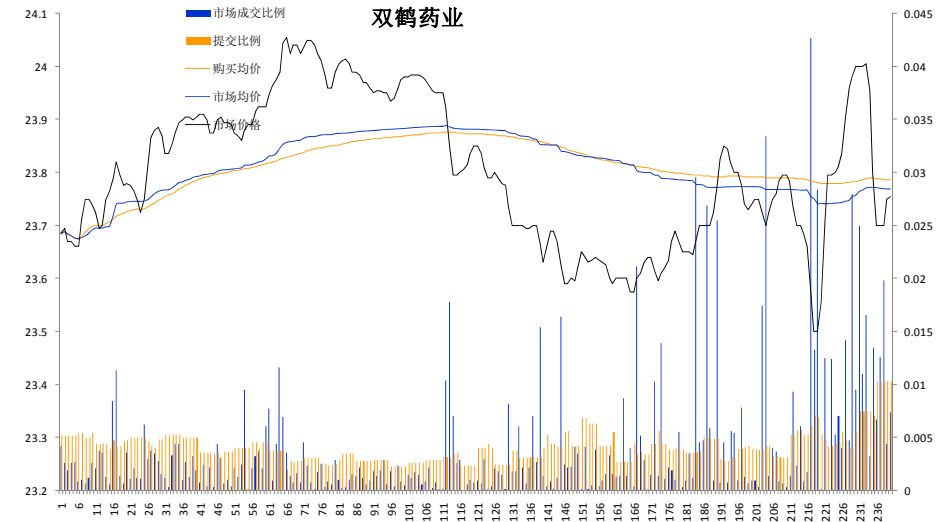
改进型的策略因为没有考虑进盘口实时信息，同时由于没有仔细考虑 1 分钟内的决策问题，因此比较适用于流动性较好，波动不太剧烈的股票。

该策略在应用时还需要考虑一个问题，即放大的交易量所产生的额外冲击成本。如果所需交易的量不大，那个放大的交易量冲击成本也不大，但是如果交易量非常大，那么该策略造成的冲击成本可能会高于标准 VWAP 策略的冲击成本，而这也是获得优于市场均价的交易价格所承担的额外风险。

另外，在市场交易量分布严重不平衡的情况下，该策略的执行效果难以确定。

下图是双鹤药业在默认参数下的执行效果，可以发现执行均价高于市场均价 0.01724 元

图 10、异常交易量分布下的执行效果



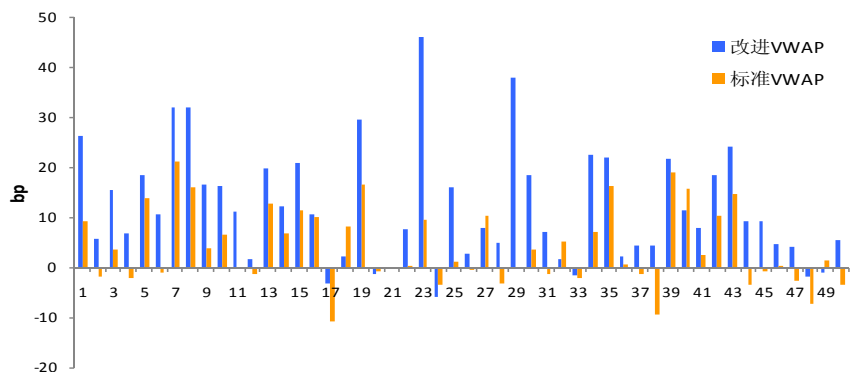
数据来源：华泰联合证券研究所，天软科技。

两种策略在上证 50 成分股的表现比较

为了比较改进的策略与标准的 VWAP 策略之间的不同效果，我们对上证 50 的 50 只成分股在两种策略下的效果展示如下：其中纵坐标表示策略所得均价相对于市场成交均价的差额基点数，即为 $10000 * (\text{市场均价} - \text{购买均价}) / \text{市场均价}$ 。

● 震荡行情（2010 年 1 月 15 日）

图 11、两种策略相对于市场均价的表现（震荡行情）



数据来源：华泰联合证券研究所，天软科技。

统计结果对比：

表 1、两种策略相对于市场均价的表现比较（震荡行情）

策略	均值 ^v	标准差	最小值	最大值
----	-----------------	-----	-----	-----

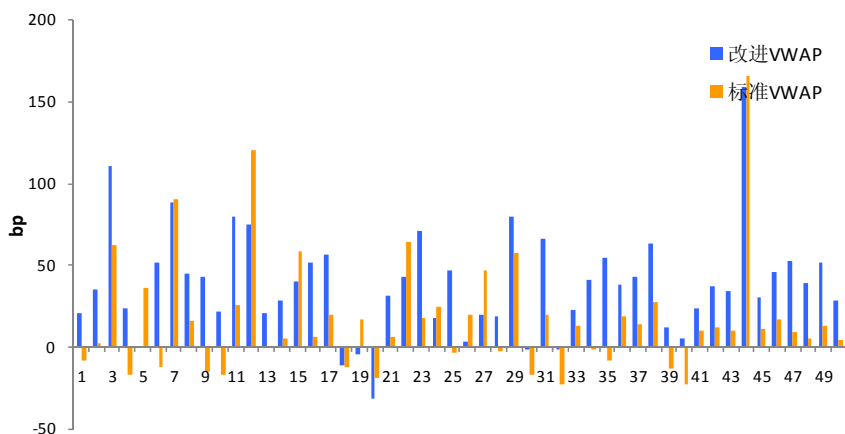
^v 在买入策略中，均值越大，策略的平均买入价格越优。

改进VWAP	11.99	11.41	-6.00	46.25
标准VWAP	4.07	7.66	-10.74	21.34

数据来源：华泰联合证券研究所，天软科技。

● 上涨行情（2010 年 1 月 12 日）

图 12、两种策略相对于市场均价的表现（上涨行情）



数据来源：华泰联合证券研究所，天软科技。

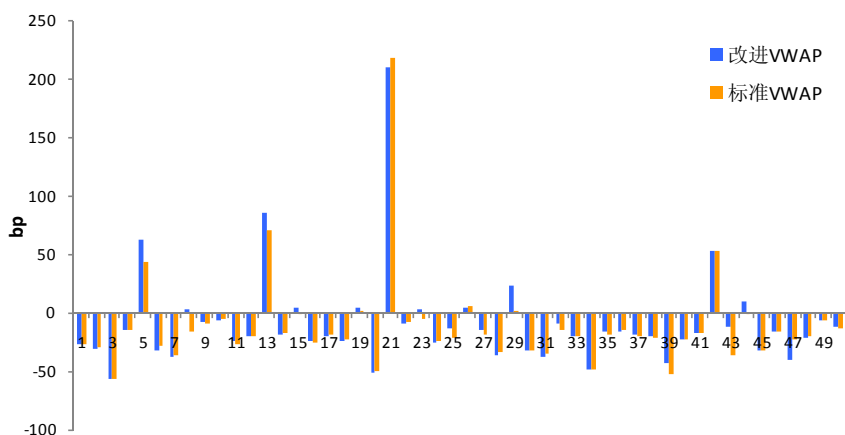
表 2、两种策略相对于市场均价的表现比较（上涨行情）

策略	均值	标准差	最小值	最大值
改进VWAP	38.48	32.37	-31.34	159.73
标准VWAP	17.11	35.84	-22.91	166.05

数据来源：华泰联合证券研究所，天软科技。

● 下跌行情（2010 年 1 月 20 日）

图 12、两种策略相对于市场均价的表现（下跌行情）



数据来源：华泰联合证券研究所，天软科技。

表 3、两种策略相对于市场均价的表现比较（下跌行情）

策略	均值	标准差	最小值	最大值
----	----	-----	-----	-----

改进VWAP	-9.36	41.12	-56.23	209.98
标准VWAP	-11.51	40.49	-56.06	219.18

数据来源：华泰联合证券研究所，天软科技。

上述结果是改进 VWAP 在统一的参数设定下求出来的。数据表明，改进 VWAP 策略在震荡行情和上涨行情时，执行效果要明显好于标准 VWAP 策略。从均值的角度来看，震荡行情下，改进 VWAP 战胜市场均价 11.99 个基点，并战胜标准 VWAP 近 8 个基点；上涨行情下，战胜市场均价 38.48 个基点，并战胜标准 VWAP 策略 20 个基点以上；只有下跌行情下，为了保证交易的完成，改进 VWAP 策略效果不甚明显，输给市场均价 9.36 个基点，但仍然战胜标准 VWAP 策略近 2 个基点。基金公司支付给证券公司的交易佣金一般为 8 个基点，相对于此数值，改进型策略在震荡行情和上涨行情下的成本节省就非常显著了。另外，由于改进算法更加灵活，如果根据对于市场的不同看法以及各自得历史数据来设置个股参数，改进 VWAP 策略能够取得比上述结果更好的表现。

结论

本文提出了对通常 VWAP 算法交易策略的一种改进，通过综合考虑历史数据，实时行情来进行交易决策。从历史高频数据的实证结果可以看出，适当的参数选择可以获得优于市场的交易均价。

该策略有两个可以扩展的地方：第一是可以加入量价关系，通过整合进当前市场成交量的信息，分析交易量和价格变化的关系来改进决策；第二是可以加入日交易量的预测，从而在任何一个决策点都能够估计市场已完成交易量占全天的比例，从而能够有效的解决市场交易量分布不平衡导致的不稳定性。

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 3932 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 2010 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。