

Санкт-Петербургский Государственный Университет
Математико-Механический факультет
Кафедра системного программирования

Магистерская диссертация:
**«Разработка высокочастотных стратегий для финансовых
рынков»**

Работу выполнил: _____ Красноперов
Алексей Александрович,
студент 6 курса группы 661

Научный руководитель: _____ Графеева
Наталья Генриховна,
доцент, канд. физ.-мат. наук

Рецензент: _____ Яхно
Юрий Ларионович,
доцент, канд. физ.-мат. наук

Санкт-Петербург

2012

Содержание

| | |
|--|-----------|
| Введение..... | 3 |
| Глава 1. Теоретические аспекты высокочастотной торговли..... | 7 |
| Фондовый рынок | 7 |
| <i>Понятие фондового рынка и основные его участники</i> | <i>7</i> |
| <i>Инструменты фондового рынка</i> | <i>10</i> |
| Механические торговые системы | 11 |
| <i>Понятие механических торговых систем и их влияние на рынок.....</i> | <i>11</i> |
| <i>Обзор существующих механических торговых систем.....</i> | <i>13</i> |
| Соединение с биржей..... | 16 |
| <i>QUIK.....</i> | <i>16</i> |
| <i>Шлюзы FIX и FAST</i> | <i>19</i> |
| <i>MULTICAST FIX/FAST</i> | <i>20</i> |
| <i>PLAZA II.....</i> | <i>20</i> |
| <i>MICEX BRIDGE</i> | <i>21</i> |
| <i>Размещение.....</i> | <i>23</i> |
| Глава 2. Разработка механической торговой системы..... | 24 |
| Используемые технологии | 24 |
| Используемые алгоритмы | 25 |
| <i>Индикаторы технического анализа.....</i> | <i>25</i> |
| <i>Метод «Гусеница»</i> | <i>30</i> |
| <i>Нейронные сети.....</i> | <i>35</i> |
| Нюансы разработки и моделирования торговой системы | 40 |
| Архитектура разработанной торговой системы..... | 41 |
| Глава 3. Применение разработанной механической торговой системы к реальным данным | 46 |
| Заключение | 49 |
| Список литературы | 51 |

Введение

Актуальность. С развитием фондовой биржи, все больший процент сделок производится с помощью механических торговых систем, а доля высокочастотной торговли среди этих сделок высока и продолжает расти. Высоколиквидные ценные бумаги могут торговаться сто раз в секунду и более, и механические торговые системы отрабатывают каждую из этих сделок, формируя дальнейшее движение рынка. По данным российской статистики, около шестидесяти процентов сделок на российском рынке производится гиперактивными торговыми автоматами, а их доля в обороте на фондовом рынке составляет 11-13%. Сорок пять процентов всех заявок на фондовом рынке занимают заявки механических торговых систем, но исполняется из них менее пяти процентов. По данным РТС, 50% оборота на срочном рынке РТС FORTS составляют роботы, а в определенные моменты 90% всех заявок могут быть отправлены биржевыми роботами¹. Но, при всей, казалось бы, развитости мировой высокочастотной торговли, очень малый объем информации по ней доступен публично: используемые алгоритмы хранятся в тайне, а публикации часто направлены на введение читателя в заблуждение. В России высокочастотная торговля активно набирает обороты и стала особенно популярна последнее время, о чем свидетельствует удвоение количества сделок на бирже ММВБ каждые 18 месяцев, начиная с 2005 года, и рост количества сделок на

¹ ФСФР, официальный сайт, режим доступа:
http://www.fcsr.ru/ru/press/interviews/index.php?id_3=6509&year_3=2010

фондовой бирже ММВБ в 2009 году на 84,8% до 115,8 млн. штук, а к 2011 году превысило 358,5 млн. штук².

При таком объеме сделок, совершаемых высокочастотными роботами, нельзя не отметить их влияние на рынок, а оно положительно и отрицательно одновременно. Из положительных влияний можно выделить сужение спреда между ценой покупки и продажи, увеличение ликвидности рынка, объема торгов и рыночной эффективности. Отрицательными влияниями являются: возможность программного сбоя, способного повлечь крупные убытки; нарушение функций рынка, таких как упорядоченное и справедливое определение цены.

Таким образом, учитывая влияние, относительную новизну, закрытость и современность темы, исследование ее представляется не просто важным, но и необходимым.

Предметом исследования является применимость разработанных в процессе настоящей работы алгоритмов в качестве алгоритмов для высокочастотных роботов, исследование аспектов создания роботов и основных трудностей их реализации.

Объектом исследования выступил фьючерс на индекс РТС, торгующийся на рынке FORTS, как наиболее подходящая для высокочастотной торговли ценная бумага, в среднем имеющая более пятиста тысяч сделок в активные дни.

Целью данной работы является изучение аспектов создания высокочастотных роботов, разработка алгоритмов

² Биржа ММВБ-РТС, официальный сайт, режим доступа: <http://micex.ru/>

торговли на бирже и применение их для высокочастотной торговли.

Поставленные цели определяют следующие *задачи*:

1. изучить теоретические основы построения торговых роботов;
2. изучить существующие решения в области автоматической торговли на финансовых рынках;
3. разработать собственные алгоритмы и реализовать механическую торговую систему на основе данных алгоритмов;
4. смоделировать применение разработанных алгоритмов на реальных данных, произвести сравнение с существующими решениями;
5. выявить трудности реализации и практического применения высокочастотных роботов;
6. произвести тестирование робота, использующего разработанные стратегии, на реальном рынке.

В первой главе настоящей работы рассмотрены теоретические аспекты и основные понятия, касающиеся фондовых рынков и механических торговых систем, влияние высокочастотной торговли на рынок, теоретические аспекты построения торговых роботов и популярные подходы создания стратегий торговли; часто используемые алгоритмы. Во второй главе разрабатываются собственные алгоритмы торговли, торговый робот, использующий разработанные алгоритмы, создается необходимая роботу инфраструктура. Выявляются

трудности реализации и практического применения высокочастотных роботов. В третьей главе происходит тестирование разработанного робота на реальном рынке, производится оценка эффективности созданного торгового робота в сравнении с популярными торговыми системами.

Теоретической и информационной базой настоящей работы являются книги и публикации отечественных и зарубежных авторов в области биржевой торговли, математических и экономических наук. Структура работы состоит из трех глав, введения, заключения и списка литературы.

Глава 1. Теоретические аспекты высокочастотной торговли

Фондовый рынок

Понятие фондового рынка и основные его участники

Финансовый рынок в экономической теории — система отношений, возникающая в процессе обмена экономических благ с использованием денег в качестве актива-посредника.

На финансовом рынке происходит мобилизация капитала, предоставление кредита, осуществление обменных денежных операций и размещение финансовых средств в производстве. А совокупность спроса и предложения на капитал кредиторов и заёмщиков разных стран образует мировой финансовый рынок.

Фондовый рынок или рынок ценных бумаг — составная часть финансового рынка, на котором оборачиваются ценные бумаги.[1]

Ценная бумага — документ, удостоверяющий с соблюдением установленной формы и обязательных реквизитов имущественные права, осуществление или передача которых возможны только при его предъявлении. Гражданский Кодекс РФ также определяет, что с передачей ценной бумаги все указанные ею права переходят в совокупности. В определенных случаях для осуществления и передачи прав, удостоверенных ценной бумагой, достаточно доказательств их закрепления в специальном реестре (обычном или компьютеризованном).

Фондовый рынок состоит из различных организаций, каждая из которых занимается определенным видом деятельности. Все профессиональные участники фондового рынка являются юридическими лицами, имеющими соответствующие законодательству лицензии.

Участники фондового рынка, являющиеся посредниками между инвесторами:

- биржа — организация, осуществляющая проведение сделок по купле-продаже ценных бумаг. На сегодняшний день в России наиболее известны две крупнейшие биржи — РТС и ММВБ;
- брокер — лицо, действующее от имени и за счет клиента на основе договоров поручения или комиссии. За оказанные услуги брокер получает вознаграждение в виде комиссионных. В обязанности брокера входит своевременное и добросовестное выполнение поручений клиента;
- дилер — лицо, осуществляющее сделки купли-продажи на бирже от своего имени и за свой счет на основе публичного объявления котировок на ценные бумаги. В качестве дилера выступает юридическое лицо, являющееся коммерческой организацией.

Остальные участники фондового рынка:

- Инвестиционные фонды и частные инвесторы, осуществляющие инвестирование за свои деньги и на свой страх и риск,

- Долгосрочные инвесторы, спекулянты, арбитражеры и хеджеры. Деление инвесторов условно и носит лишь различие в характере выбираемой стратегии.
- Управляющий активами — лицо, совершающее операции на фондовом рынке в интересах своего клиента. В отличие от брокера, который исполняет заявки, управляющий активами инвесторов самостоятельно принимает торговые решения согласно выбранной изначально стратегии инвестирования.

Торговые площадки могут быть биржевыми и внебиржевыми, а организации, входящие в инфраструктуру фондового рынка, могут быть:

- депозитарий — оказывает услуги по хранению сертификатов ценных бумаг и/или учету и переходу прав на ценные бумаги,
- реестродержатель — собирает, учитывает, обрабатывает и хранит данные по владельцам ценных бумаг,
- клиринговая палата — осуществляет учет сделок с ценными бумагами между участниками фондового рынка. Совершает сбор, сверку, корректировку информации по сделкам с ценными бумагами и готовит по ним бухгалтерские документы.

Все виды профессиональной деятельности на рынке ценных бумаг могут производиться только при наличии лицензии, выдаваемой ФСФР РФ.

Инструменты фондового рынка

Для осуществления операций на финансовом рынке, его участниками выбираются соответствующие инструменты их проведения. Это разнообразные обращающиеся финансовые документы, которые имеют денежную стоимость и с помощью которых осуществляются операции на финансовом рынке.

Обращающиеся на финансовом рынке инструменты, обслуживающие операции на различных его видах и сегментах, характеризуются на современном этапе большим разнообразием.

По характеру финансовых обязательств финансовые инструменты подразделяются на следующие виды:

- Инструменты, последующие финансовые обязательства по которым не возникают (инструменты без последующих финансовых обязательств). Они являются, как правило, предметом осуществления самой финансовой операции и при их передаче покупателю не несут дополнительных финансовых обязательств со стороны продавца (например, валютные ценности, золото и т.п.)
- Долговые финансовые инструменты. Эти инструменты характеризуют кредитные отношения между их покупателем и продавцом и обязывают должника погасить в предусмотренные сроки их номинальную стоимость и заплатить дополнительное вознаграждение в форме процента (если оно не входит в состав погашаемой номинальной стоимости долгового финансового инструмента). Примером долговых финансовых инструментов выступают облигации, векселя, чеки и т.п.

- Долевые финансовые инструменты. Такие финансовые инструменты подтверждают право их владельца на долю в уставном фонде их эмитента и на получение соответствующего дохода (в форме дивиденда, процента и т.п.). Долевыми финансовыми инструментами являются, как правило, ценные бумаги соответствующих видов (акции, инвестиционные сертификаты и т.п.).[2]

Основной ценной бумагой фондового рынка является акция. Производный финансовый инструмент — контракт, предусматривающий в соответствии с его условиями для сторон по договору реализацию прав и/или исполнение обязательств, связанных с изменением цены базового актива, лежащего в основе данного финансового инструмента, и ведущих к положительному или отрицательному финансовому результату для каждой стороны. К производным ценным бумагам относят депозитарные расписки, опционы, варранты и фьючерсы.

Ценной бумагой, имеющей максимальное количество сделок в период времени, является фьючерс РТС, торгующийся на рынке FORTS. Исходя из этого, выберем данную бумагу объектом настоящей работы.

Механические торговые системы

Понятие механических торговых систем и их влияние на рынок

Механическая торговая система, также автоматическая торговая система (МТС, АТС) — это программа, предназначенная для полной или частичной автоматизации торговых процессов. Уровень автоматизации может быть

разным — от помощи трейдеру в принятии решений, до автономного выставления и снятия заявок на бирже. Также, возможно выполнение программой дополнительных функций — контроль выставленных заявок, мониторинг сделок, анализ торговли с предоставлением графиков и отчетов.

По данным российской статистики, около шестидесяти процентов сделок на российском рынке производится гиперактивными торговыми автоматами, а их доля в обороте на фондовом рынке составляет 11-13%. Сорок пять процентов всех заявок на фондовом рынке занимают заявки механических торговых систем, но исполняется из них менее пяти процентов. По данным РТС, 50% оборота на срочном рынке РТС FORTS составляют роботы, а в определенные моменты 90% всех заявок могут быть отправлены биржевыми роботами. Но, при всей, казалось бы, развитости мировой высокочастотной торговли, очень малый объем информации по ней доступен публично: используемые алгоритмы хранятся в тайне, а публикации часто направлены на введение читателя в заблуждение. В России высокочастотная торговля активно набирает обороты и стала особенно популярна последнее время, о чем свидетельствует удвоение количества сделок на бирже ММВБ каждые 18 месяцев, начиная с 2005 года, и рост количества сделок на фондовой бирже ММВБ в 2009 году на 84,8% до 115,8 млн. штук, а к 2011 году превысило 358,5 млн. штук.

При таком объеме сделок, совершаемых высокочастотными роботами, нельзя не отметить их влияние на рынок, а оно положительно и отрицательно одновременно. Из положительных влияний можно выделить сужение спреда

между ценой покупки и продажи, увеличение ликвидности рынка, объема торгов и рыночной эффективности. Отрицательными влияниями являются: возможность программного сбоя, способного повлечь крупные убытки; нарушение функций рынка, таких как упорядоченное и справедливое определение цены.

Обзор существующих механических торговых систем

Алгоритм действительно работающих торговых роботов никогда не передается огласке. Поэтому о существующих на рынке торговых системах можно судить только по различным публичным конкурсам, подобным конкурсу «Лучший Частный Инвестор»[12], организованному фондовой биржей ММВБ-РТС[9]. В 2011 году конкурс проводился в период с 1 октября по 15 декабря включительно, в его рамках за счет участника могут заключаться договоры, являющиеся производными финансовыми инструментами, а также сделки купли-продажи ценных бумаг, ограниченных заранее обговоренным перечнем. Все сделки, совершаемые участниками в рамках конкурса, публикуются. Эти сделки и сводная статистика послужат нам информацией для анализа существующих торговых систем.

| Позиция по доходу в % | Позиция по доходу в рублях | Участник | Брокер | Дата регистрации | Стартовая сумма | Текущий день | | | Доход % | Доход руб | |
|-----------------------|----------------------------|-------------------|-----------------------------------|------------------|-----------------|---------------------|---------|--------------|-----------|---------------|--|
| | | | | | | Активность (сделок) | Доход % | Доход руб | | | |
| - | - | PFP-invest | ОАО "Брокерский дом "ОТКРЫТИЕ" | 03.10.2011 | 19 548 757,64 | 877 | 15,94 | 3 116 124,83 | 66,42 | 12 983 870,27 | |
| 2 | 1 | UnitedTraders.com | ОАО ИК "ЦЕРИХ Капитал Менеджмент" | 05.10.2011 | 154 743,43 | 25134 | 148,36 | 229 580,38 | 7 832,58 | 12 120 406,27 | |
| + 59 | 2 | robot_Brochet | ОАО "Брокерский дом "ОТКРЫТИЕ" | 04.10.2011 | 8 541 054,51 | 1024 | -1,27 | -108 177,71 | 95,02 | 8 115 782,48 | |
| + 78 | 3 | Arsen | ООО "Компания БКС" | 10.10.2011 | 8 414 762,59 | 187 | -0,24 | -20 315,95 | 76,45 | 6 433 035,41 | |
| 1 | 4 | robot_PRADA | ОАО "ИК "Ай Ти Инвест" | 03.10.2011 | 50 948,70 | 761 | -4,15 | -2 111,58 | 11 402,17 | 5 809 256,15 | |
| 89 | 5 | Mister Twister | ОАО "Брокерский дом "ОТКРЫТИЕ" | 03.10.2011 | 5 248 799,37 | 43 | 0,15 | 7 838,12 | 66,64 | 3 497 797,84 | |
| 3 | + 6 | robot_aspirant | ОАО "ИК "Ай Ти Инвест" | 03.10.2011 | 50 274,71 | 7607 | 48,40 | 24 334,01 | 6 320,27 | 3 177 495,24 | |
| + 99 | + 7 | lek79 | ООО "Компания БКС" | 03.10.2011 | 5 120 400,04 | 0 | - | - | 61,91 | 3 169 776,01 | |
| + 52 | + 8 | AI_server | ООО "АТОН" | 03.10.2011 | 2 647 695,99 | 36 | 3,44 | 90 960,83 | 99,67 | 2 638 945,01 | |
| + 152 | + 9 | Jim Raynor | ОАО "Брокерский дом "ОТКРЫТИЕ" | 03.10.2011 | 6 591 011,26 | 2503 | -7,28 | -479 985,77 | 39,22 | 2 584 761,25 | |
| + 163 | + 10 | LBM-MC | ОАО ИК "ЦЕРИХ Капитал Менеджмент" | 26.10.2011 | 6 928 947,25 | 41 | 0,48 | 32 926,30 | 35,45 | 2 456 035,88 | |

Рис. 1. Список участников ЛЧИ-2011, отсортированный по доходу за конкурсный период.

Торговой системой, занявшей первое место по доходу в рублях, является система компании UnitedTraders. При стартовой сумме чуть более 150 тысяч рублей, этот робот за время проведения конкурса показал доход в размере 12.120.406,27 рублей (7832,58%). Первое место по доходу в процентах за конкурсный период завоевал robot_PRADA от компании Ай-Ти-Инвест, заработавший 11402,17%. Роботы, участвовавшие в конкурсе, сильно отличаются по своим стратегиям. Так, например, робот UnitedTraders совершал более 20 тысяч сделок в день, в то время как суточное количество сделок robot_PRADA колебалось в районе тысячи. Таким образом, высоких результатов можно достичь с различной интенсивностью и излишне высокочастотная торговля не является залогом успеха.

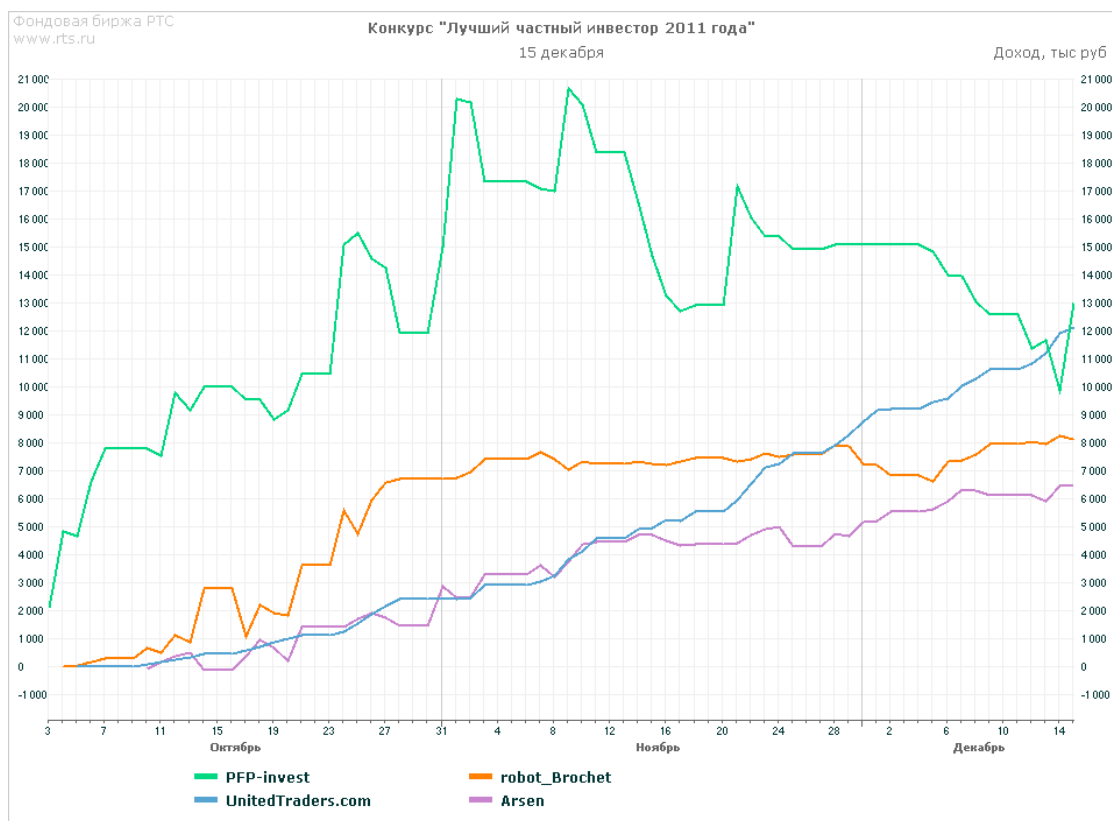


Рис. 2. График изменение денежных средств на счетах роботов-участников ЛЧИ-2011

Стратегии сделок также различаются: одни роботы стараются совершать меньше сделок, но крупными лотами, другие нацелены на покупку минимальными лотами, но с наибольшей частотой. Только 596 роботов, участвующих в конкурсе, показали положительную динамику, в то время как общее количество участников равнялось 1454 роботам. Из 596 «положительных» торговых систем, 509 превысили ставку рефинансирования за период конкурса. Таким образом, только 35% торговых роботов, участвующих в конкурсе ЛЧИ 2011, показали положительные результаты. Именно с этими роботами будет проводиться сравнение разработанной автором торговой системы.

Соединение с биржей

Для соединения механических торговых систем с биржей существует множество решений: от использования открытого программного интерфейса торгового терминала до аренды собственного шлюза и работы с биржей в обход стороннего ПО. Ниже рассмотрим подробнее возможные варианты соединения торгового робота с биржей и сопутствующие соединению нюансы.

QUIK

QUIK — это программный комплекс для организации доступа к биржевым и внебиржевым торговым системам в режиме реального времени. Программный комплекс состоит из серверной части и рабочих мест (терминалов) пользователей, взаимодействующих между собой через интернет. QUIK — это аббревиатура от *Quickly Updatable Information Kit*. Изначально QUIK являлся информационной системой, отличавшейся высокой скоростью доставки данных, что и отразилось в названии программы. Сейчас QUIK представляет собой многофункциональную фронт-офисную систему прямого доступа к торгам для организации собственных операций, а также брокерского обслуживания клиентов на финансовых рынках (интернет-трейдинг). QUIK сегодня — это наиболее популярная торговая платформа с доступом на все биржи России, Украины, а также на зарубежные торговые площадки через единый торговый терминал. QUIK применяется более чем 250 финансовыми организациями для обслуживания десятков тысяч клиентов.

Доступные биржевые рынки и режимы торгов:

- Московская межбанковская валютная биржа;

- Рынок государственных ценных бумаг и денежный рынок, Секция срочного рынка (стандартные контракты), Операции РЕПО с государственными ценными бумагами, в том числе прямое РЕПО с Банком России, и междилерское РЕПО, Валютный рынок, Секция стандартных контрактов НТБ;
- Фондовая биржа ММВБ;
- Фондовый рынок, Режим переговорных сделок (РПС), Операции РЕПО, Режимы торгов с Центральным контрагентом (ММВБ+);
- Фондовая биржа РТС;
- Биржевой рынок акций, включая операции РЕПО, Срочный рынок FORTS, Классический рынок акций РТС, рынок RTS Standard, включая РЕПО с Центральным Контрагентом, рынок RTS-Money;
- Фондовая биржа «Санкт-Петербург»;
- Секция фондового рынка;
- Биржа «Санкт-Петербург»;
- Срочный рынок;
- Санкт-Петербургская Международная Товарно-сырьевая биржа;
- Секция срочного рынка;
- Московская энергетическая биржа;
- Срочный рынок;
- Зарубежные биржи;
- ПФТС, Украинская биржа, Срочный рынок Украинской биржи, KASE, Срочный рынок ETS, AMEX, BOVESPA, CBOT, CME, Chi-X Europe, EDX, EUREX,

EURONEXT (AEX, Paris, Brussels, Lisbon, Luxembourg),
HESE, HKEx, ICE, LIFFE, LSE, NASDAQ, NYSE, OSE, SGX,
TSX, WSE, XETRA.

Программный комплекс QUIK позволяет пользователю создавать автоматические торговые системы внутри рабочего места QUIK на специальном интерпретируемом языке QPILE (QUIK Programmable Interface and Logic Environment).

Областью применения QPILE является создание новых таблиц для расчета в режиме реального времени собственных показателей на основе информации из других таблиц. Применение встроенного языка позволяет реализовать практически любой алгоритм. Язык QPILE можно применять для создания заявок по заданному алгоритму и отправки их в торговую систему. Для удобства написания торговых стратегий на языке QPILE в нем реализованы специальные функции обращения к данным о текущей стоимости портфеля, размеру доступных средств для открытия позиции, дате, времени и прочих полезных значений.

Рабочее место QUIK позволяет выставять заявки с использованием интерфейса программирования приложений (API). Существуют различные обертки для QUIK API, например, обертка для языка программирования C# «Trans2Quik C# API Wrapper». Экспорт данных из QUIK осуществляется с помощью программного интерфейса ODBC, позволяющего в режиме реального времени выводить данные в пользовательскую базу данных.

Шлюзы FIX и FAST

FIX- и FAST-шлюзы обеспечивают прямой доступ ко всем региональным и мировым рынкам, который необходим для эффективной торговой и брокерской деятельности. Шлюзы гарантируют бесперебойное распространение и обмен рыночных данных в режиме реального времени с минимальными задержками.

Преимущества FIX-/FAST-шлюзов:

- Сокращение издержек на подключение к новым торговым площадкам. Подключение к источникам данных по протоколу FIX/FAST может быть реализовано однажды, и использовано для подключения к множеству бирж и информационных агентств по всему миру. Таким образом, система биржевых шлюзов позволяет снизить издержки при подключении к западным торговым площадкам.
- Уменьшение задержек при торговле. Рыночные данные передаются подписчикам в реальном времени немедленно после регистрации транзакций в торговой системе биржи. Частота обновления биржевого стакана через протоколы FIX/FAST может значительно превышать показатели, достигаемые при работе через другие протоколы.
- Прямой доступ к данным по всем типам финансовых инструментов. Подключение через шлюзы открывает прямой доступ к крупнейшим поставщикам данных и лучшим торговым площадкам по всему миру, и позволяет получать

информацию и осуществлять сделки по любым финансовым инструментам в реальном времени.

MULTICAST FIX/FAST

Платформа представляет собой новый, высокоэффективный механизм для передачи рыночных данных о торгах на ММВБ. Данный механизм сочетает в себе структуру и синтаксис сообщений FIX протокола, хорошие возможности для оптимизации потоков данных FAST протокола, и возможности быстрой и эффективной передачи данных большому количеству пользователей UDP протокола.[9]

PLAZA II

Шлюз Plaza II обычно является следующим этапом начинающих разработчиков торговых роботов после написания систем на встроенном в QUIK языке Qpile. Он имеет значительные преимущества по сравнению с интеграцией в торговый терминал:

1. Шлюз Plaza II передает более реальную картину торгов. За счет скорости передачи информации, обновление котировок происходит гораздо быстрее. Это, в свою очередь, позволяет оценивать рынок точнее. Любая торговая стратегия, основанная на анализе рынка будет «чувствовать себя» в таких условиях лучше.
2. При использовании торгового робота под шлюз отпадает необходимость использовать торговый терминал (например — QUIK). Это облегчает

робота, избавляет от лишних связей и, как следствие, потерь по скорости.

3. Шлюз Plaza II позволяет разрабатывать торговых роботов на быстрых компилируемых языках, таких как, например, C++ или C#. Такая программа будет обладать неограниченными, по сравнению с Qpile, возможностями и значительно большей производительностью.

За использование шлюза Plaza II предусмотрена ежемесячная абонентская плата. Также одним из требований является постоянный IP-адрес.

MICEX BRIDGE

MICEX Bridge — универсальный двунаправленный шлюз для подключения внешних систем к торговым комплексам ЗАО ММВБ. MICEX Bridge разработан специалистами ММВБ в целях обеспечения доступа Брокерских и информационных внешних систем к сервисам ПТК ММВБ.[9]

MICEX Bridge осуществляет двунаправленную связь с ПТК ММВБ и предназначен для получения информации из торговой системы (сделки, котировки, инструменты и т.п.), и для выполнения активных транзакций (постановка/снятие заявок и т.п.).

Различные способы подключения

MICEX Bridge может применяться для подключения Брокерских систем, имеющих доступ к корпоративной сети ММВБ по протоколу TCP/IP через межсетевой экран PIX/ASA (комплектация MICEX Bridge) или же по протоколу RS-232 (комплектация MICEX Bridge Serial).

Множественные транзакционные соединения.

MICEX Bridge позволяет устанавливать несколько параллельных соединений внешней системы с ПТК ММВБ (раздельные каналы для подачи заявок, получения котировок, получения информации по сделкам и т.п.) для достижения максимальной скорости обмена информацией и обеспечения более динамичной работы на рынках ММВБ.

Единство информационных объектов.

Значительная часть информационных объектов (таблицы и транзакции) является одинаковой для всех рынков ММВБ, что дает возможность легко адаптировать собственные системы для работы на различных рынках.

Многоверсионность интерфейса.

Постоянное усовершенствование Торговой системы ММВБ, появление новых полей информационных таблиц, новых транзакций и запуск новых финансовых инструментов обуславливают появление новых версий интерфейса доступа к ПТК ММВБ. MICEX Bridge позволяет задавать версию интерфейса для каждого соединения для обеспечения корректного функционирования любых версий внешних систем.

Низкие системные требования.

MICEX Bridge не требует наличия выделенного сервера и может быть запущен на персональном компьютере среднего уровня.

Сопровождение ММВБ.

Техническая поддержка и обновление версий MICEX Bridge в рамках договора, заключенного биржей с Участником торгов, без дополнительной оплаты.[9]

Размещение

Важным моментом использования торгового робота, особенно высокочастотного, является его размещение. Возможно размещение или своего полноценного сервера, или программной части торгового робота на виртуальных машинах.

Если речь идет о своем сервере, то существует два варианта его размещения: дата-центр брокера или же дата-центр биржи. Дата-центр брокера отличается низкой ценой, в то время как дата-центр биржи позволяет достичь максимальной скорости доставки информации и выставления заявок.

Виртуальные машины предоставляются брокерами и являются возможностью начинающим разработчикам роботов протестировать свои торговые системы в максимально приближенных к размещению своего сервера условиям, но за гораздо меньшие деньги. Аренда виртуальной машины у брокера стоит в районе 2-4 тысяч рублей, в то время как размещение сервера на бирже стоит от 60 тысяч рублей и более.

Глава 2. Разработка механической торговой системы

Используемые технологии

В качестве языка программирования для реализации модели высокочастотного робота был выбран язык Ruby. Основным его преимуществом является возможность быстрого прототипирования приложений с последующей оптимизацией медленных частей кода переписыванием их с помощью «быстрых» языков программирования, таких как C. Ruby же позволяет с легкостью строить RESTful веб-сервисы, позволяющие вывести создаваемый продукт на принципиально новый уровень, не затрачивая при этом больших сил разработчика. Для реализации RESTful веб-сервиса был выбран предметно-ориентированный каркас Sinatra, обладающий, в сравнении с популярными Ruby-фреймворками, такими как Ruby-on-Rails, хорошим сочетанием быстродействия и скорости разработки.

В качестве системы управления базами данных выбрана СУБД Oracle. Особый интерес для настоящей работы представляют хранимые процедуры СУБД Oracle — объекты базы данных, представляющие собой набор SQL-инструкций, компилирующихся единожды и хранимых на сервере. В СУБД Oracle хранимые процедуры могут объединяться в так называемые пакеты. Пакет состоит из двух частей — спецификации, в которой указывается определение хранимой процедуры, и тела, где находится её реализация. Таким образом Oracle позволяет отделить интерфейс программного кода от его реализации. Начиная с версии Oracle 10g поддерживается так называемая естественная компиляция (native compilation)

хранимого процедурного кода в Си и затем в машинный код целевой машины, после чего при вызове хранимой процедуры происходит прямое выполнение её скомпилированного объектного кода. Таким образом, оптимизация производительности при использовании СУБД Oracle может быть произведена переносом связанной с данными логики на сторону базы данных в качестве хранимых процедур.

Используемые алгоритмы

Индикаторы технического анализа

Индикатор технического анализа — функция, построенная на значениях статистических показателей торгов (цены, объём торгов и т. д.), анализ поведения которой призван ответить на вопрос изменится или сохранится текущая тенденция на рынке. В случае разрабатываемой автором механической торговой системы индикаторы технического анализа были необходимы в качестве дополнительного подтверждения принимаемого торговым роботом решения. Этим обоснован выбор технических индикаторов.

Взвешенная скользящая средняя (WMA)

Каждой из цен анализируемого промежутка времени придается «вес», в соответствии с объемами сделок, совершенными в данный промежуток времени. Формула для расчета будет выглядеть так:

$$WMA = \frac{\sum_{i=1}^n p_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

где $\sum_{i=1}^n p_i w_i$ — сумма произведения цен и весов за период времени n ;

$\sum_{i=1}^n w_i$ — сумма весов (обычно объемов сделок).

Считается, что придание более поздним значениям цен большего веса дает лучшую, чем у простой средней, информативность для выводов. Можно по этому поводу заметить, что для длительных промежутков времени (день и неделя) для анализа рекомендуется применять простую скользящую среднюю (МА), в то время как при анализе коротких промежутков времени (менее часа) возможно применение WMA или ЕМА (далее по тексту). На средних промежутках времени (час и три часа) рекомендуется применение как МА, так и ЕМА и WMA.

Экспоненциальная средняя (ЕМА)

В случае экспоненциальной средней также производится присвоение весов различным ценам. Однако наибольший вес присваивается при этом последним значениям цены, а наименьший — первым. Формула расчета экспоненциальной средней будет выглядеть так:

$$EMA_n = EMA_{n-1} + (K \times [Price_n - EMA_{n-1}])$$

где n — период времени (n означает сегодняшний, а $n-1$ — вчерашний день);

$$K = \frac{2}{n+1};$$

$Price_n$ — текущая цена.

Таким образом, происходит сглаживание кривой скользящей средней относительно графика цен.

МА реагирует на одно изменение курса два раза: первый раз при получении нового значения и второй раз при выбытии этого значения из расчета средней. По сравнению с простой

средней ЕМА реагирует на изменение одного значения курса один раз — при его получении. Поэтому ЕМА является более предпочтительной для применения.

При анализе 1-часового графика цен применяются 21, 55, 89, 144 и 200 порядки средних. Однако вполне естественно, что постоянных средних, которые можно было бы применить независимо от рынка и времени, нет. Главное — помнить, что средняя является уровнем — уровнем сопротивления и/или поддержки. А отсюда и возникают правила подбора ее параметра, т.е. периода, за который усреднять цену, а также типа усреднения.

MACD

MACD (Moving Average Convergence Divergence) относят к классу осцилляторов (от лат. *oscillo* — колеблющаяся система), но строится этот показатель на основе средних. По своей сути — это улучшенное зрительное восприятие анализа двух средних.

Выделяются два способа построения и анализа MACD, имеющих разное назначение:

- MACD линейная, больше подходящая для анализа трендов;
- MACD-гистограмма, по способу анализа и значению скорее относится к классу осцилляторов.

MACD-гистограмма

При расчете MACD из экспоненциальной средней с меньшим периодом (авторы данного метода предлагают использовать среднюю с порядком 12) вычитается

экспоненциальная средняя с большим периодом (с порядком 26) и результаты еще раз сглаживаются при помощи ЕМА для устранения случайных колебаний:

$$MACD = EMA(9)[A],$$

где $A = EMA(12)[i] - EMA(26)[i]$;

i — цена.

Наглядность и эффективность данного метода анализа двух средних позволила завоевать большую популярность этого показателя у современных аналитиков.



Рис. 3. График акций Сбербанка с отображением ЕМА и MACD-гистограммы.

Наилучшие результаты MACD-гистограмма показывает при анализе ее на отрезках времени от суток и более. Больше осторожности необходимо проявлять при анализе MACD-гистограммы на периодах менее суток. Периоды менее часа хотя и несут информацию, но могут давать множество ложных сигналов.

Общие правила анализа MACD-гистограммы:

- нахождение точки пересечения MACD с серединой («0» на оси времени x);
- нахождение точки пересечения MACD с заданной границей значений (граница расчетная);
- нахождение точек, следующих за максимумом или минимумом значений MACD (поворотные моменты).

При анализе MACD-гистограммы следует учитывать, что все сигналы, полученные при ее использовании, нуждаются хотя бы в одном подтверждении.

Линейная MACD

Линейная MACD представляет собой две линии, одна из которых — сглаженная величина A (разница между ЕМА(12) и ЕМА(26)), а другая — простая, несглаженная A. Данные линии повторяют движения цены и поэтому являются достаточно точной копией трендовой динамики цены на исследуемый товар.

Общие правила анализа линейной MACD:

- нахождение точки пересечения двух линий MACD между собой — наиболее значимый сигнал;
- нахождение точки пересечения линий MACD с заданной границей значений (граница расчетная);
- нахождение точки, следующей за максимумом или минимумом значений самой «быстрой» (с меньшим порядком) линии MACD.

Более значимые сигналы линейная MACD будет давать, если сигнал на покупку будет получен на значениях MACD ниже нуля, а сигнал на продажу — соответственно выше нуля.

Метод «Гусеница»

Для анализа временного ряда выбирается целый параметр L ; назовем его «длина окна». Параметр L может выбираться достаточно произвольно. При достаточно большой длине ряда и достаточно большом L результаты не будут зависеть от длины окна. Затем на основе ряда строится траекторная матрица, столбцами которой являются скользящие отрезки ряда длины L : с первой точки по L -ю, со второй по $(L + 1)$ -ю и т. д. Следующий шаг — это сингулярное разложение траекторной матрицы в сумму элементарных матриц. Каждая элементарная матрица задается набором из собственного числа и двух сингулярных векторов — собственного и факторного.

Предположим, что исходный временной ряд является суммой нескольких рядов. Теоретические результаты позволяют при некоторых условиях определить по виду собственных чисел, собственных и факторных векторов, что это за слагаемые и какой набор элементарных матриц соответствует каждому из них. Суммируя элементарные матрицы внутри каждого набора и затем переходя от результирующих матриц к ряду, мы получаем разложение ряда на аддитивные слагаемые, например, на сумму тренда, периодики и шума или на сумму низкочастотной и высокочастотной составляющих. Возможность разбить совокупность элементарных матриц на группы, соответствующие интерпретируемым аддитивным

составляющим ряда, тесно связана с понятием делимости рядов.

Таким образом, целью метода является разложение временного ряда на интерпретируемые аддитивные составляющие. При этом метод не требует стационарности ряда, знания модели тренда, а также сведений о наличии в ряде периодических составляющих и их периодах. При таких слабых предположениях метод «Гусеница» SSA может решать различные задачи, такие как, например, выделение тренда, обнаружение периодик, сглаживание ряда, построение полного разложения ряда в сумму тренда, периодик и шума.

Платой за такой широкий спектр возможностей при достаточно слабых предположениях является, во-первых, существенно неавтоматическая группировка компонент сингулярного разложения траекторной матрицы ряда для получения составляющих исходного ряда. Во-вторых, отсутствие модели не позволяет проверять гипотезы о наличии в ряде той или иной составляющей (этот недостаток объективно присущ непараметрическим методам). Для проверки подобных гипотез требуется построение модели, которое, в свою очередь, может быть проведено на основе информации, получаемой с помощью метода «Гусеница» SSA. Отметим также, что рассматриваемый непараметрический метод позволяет получить результаты, часто лишь незначительно менее точные, чем многие параметрические методы при анализе ряда с известной моделью.[3]

Разберем метод гусеница детально.

Пусть $N > 2$. Рассмотрим вещественнозначный временной ряд $F = (f_0, \dots, f_{N-1})$ длины N . Будем предполагать, что ряд F — ненулевой, т. е. существует, по крайней мере, одно i , такое что $f_i \neq 0$. Обычно считается, что $f_i = f(i\Delta)$ для некоторой функции $f(t)$, где t — время, а Δ — некоторый временной интервал, однако это не будет играть особой роли в дальнейшем. Более того, числа $0, \dots, N-1$ могут быть интерпретированы не только как дискретные моменты времени, но и как некоторые метки, имеющие линейно-упорядоченную структуру.[4]

Нумерация значений временного ряда начинается с $i = 0$, а не стандартно с $i = 1$ только из-за удобства обозначений.

Базовый алгоритм состоит из двух дополняющих друг друга этапов, разложения и восстановления.

Первый этап: разложение

Шаг 1. Вложение

Процедура вложения переводит исходный временной ряд в последовательность многомерных векторов.

Пусть L — некоторое целое число (длина окна), $1 < L < N$. Процедура вложения образует $K = N - L + 1$ векторов вложения

$$X_i = (f_{i-1}, \dots, f_{i+L-2})^T, 1 \leq i \leq K,$$

имеющих размерность L . Если нам нужно будет подчеркнуть размерность X_i , то мы будем называть их векторами L -вложения.

L -Траекторная матрица (или просто траекторная матрица) ряда F

$$X = [X_1 : \dots : X_K]$$

состоит из векторов вложения в качестве столбцов.

Другими словами, траекторная матрица — это матрица

$$X = (x_{ij})_{i,j=0}^{L,K} = \begin{pmatrix} f_0 & f_1 & f_2 & \cdots & f_{K-1} \\ f_1 & f_2 & f_3 & \cdots & f_K \\ f_2 & f_3 & f_4 & \cdots & f_{K+1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{L-1} & f_L & f_{L+1} & \cdots & f_{N-1} \end{pmatrix}$$

Очевидно, что $x_{ij} = f_{i+j-2}$ и матрица X имеет одинаковые элементы на «диагоналях» $i + j = \text{const}$. Таким образом, траекторная матрица является ганкелевой. Существует взаимно-однозначное соответствие между ганкелевыми матрицами размерности $L \times K$ и рядами длины $N = L + K - 1$.

Шаг 2. Сингулярное разложение

Результатом этого шага является сингулярное разложение (SVD = Singular Value Decomposition) траекторной матрицы ряда.

Пусть $S = XX^T$. Обозначим $\lambda_1, \dots, \lambda_L$ собственные числа матрицы S , взятые в неубывающем порядке ($\lambda_1 \geq \dots \geq \lambda_L \geq 0$) и U_1, \dots, U_L — ортонормированную систему собственных векторов матрицы S , соответствующих собственным числам.

Пусть $d = \max\{i : \lambda_i > 0\}$. Если обозначить $V_i = \frac{X^T U_i}{\sqrt{\lambda_i}}$, $i = 1, \dots, d$, то сингулярное разложение матрицы X может быть записано как

$$X = X_1 + \dots + X_d, \quad (1)$$

где $X_i = \sqrt{\lambda_i} U_i V_i^T$. Каждая из матриц X_i имеет ранг 1. Поэтому их можно назвать элементарными матрицами.

Набор $(\sqrt{\lambda_i}, U_i, V_i^T)$ мы будем называть i -й собственной тройкой сингулярного разложения (1).

Второй этап: восстановление

Шаг 3. Группировка

На основе разложения (1) процедура группировки делит все множество индексов $\{1, \dots, d\}$ на m непересекающихся подмножеств I_1, \dots, I_m .

Пусть $I = \{i_1, \dots, i_p\}$. Тогда результирующая матрица X_I , соответствующая группе I , определяется как

$$X_I = X_{i_1} + \dots + X_{i_p}.$$

Такие матрицы вычисляются для $I = I_1, \dots, I_m$, тем самым разложение (1) может быть записано в сгруппированном виде

$$X = X_{I_1} + \dots + X_{I_m}. \quad (2)$$

Процедура выбора множеств I_1, \dots, I_m и называется группировкой собственных троек.

Шаг 4. Диагональное усреднение

На последнем шаге базового алгоритма каждая матрица сгруппированного разложения (2) переводится в новый ряд длины N .

Пусть Y — некоторая $L \times K$ матрица с элементами y_{ij} , где

$1 \leq i \leq L, 1 \leq j \leq K$. Положим $L^* = \min(L, K)$, $K^* = \max(L, K)$

и $N = L + K - 1$. Пусть $y_{ij}^* = y_{ij}$, если $L < K$, и $y_{ij}^* = y_{ji}$ иначе.

Диагональное усреднение переводит матрицу Y в ряд g_0, \dots, g_{N-1} по формуле

$$g_k = \begin{cases} \frac{1}{k+1} \sum_{m=1}^{k+1} y_{m, k-m+2}^* & \text{для } 0 \leq k < L^* - 1, \\ \frac{1}{L^*} \sum_{m=1}^{L^*} y_{m, k-m+2}^* & \text{для } L^* - 1 \leq k < K^*, \\ \frac{1}{N-k} \sum_{m=k-K^*+2}^{N-K^*+1} y_{m, k-m+2}^* & \text{для } K^* \leq k < N. \end{cases} \quad (3)$$

Выражение (3) соответствует усреднению элементов матрицы вдоль «диагоналей» $i + j = k + 2$: выбор $k=0$ дает $g_0 = y_{11}$, для $k=1$ получаем $g_1 = (y_{12} + y_{21})/2$ и т.д. Заметим, что если матрица Y является траекторной матрицей некоторого ряда (h_0, \dots, h_{N-1}) (другими словами, если матрица Y является ганкелевой), то $g_i = h_i$ для всех i .

Применяя диагональное усреднение (3) к результирующим матрицам X_{I_k} , мы получаем ряды $\tilde{F}^{(k)} = (\tilde{f}_0^{(k)}, \dots, \tilde{f}_{N-1}^{(k)})$, и, следовательно, исходный ряд (f_0, \dots, f_{N-1}) раскладывается в сумму m рядов:

$$f_n = \sum_{k=1}^m \tilde{f}_n^{(k)}.$$

Нейронные сети

Нейронные сети можно отнести к методам технического анализа, т.к они пытаются выявить закономерности в развитии ряда, обучаясь на его исторических данных. Финансовый временной ряд довольно сильно зашумлен и поэтому надо уделить особое внимание предобработке данных и кодированию переменных.



Рис. 4. Интервальный график в виде японских свечей индекса РТС. Период — день.

Действительно значимыми для предсказаний являются изменения котировок. Поэтому на вход нейронной сети после предварительной обработки будем подавать ряд процентных приращений котировок, рассчитанных по формуле $X[t] / X[t-1]$, где $X[t]$ и $X[t-1]$ цены закрытия периодов.

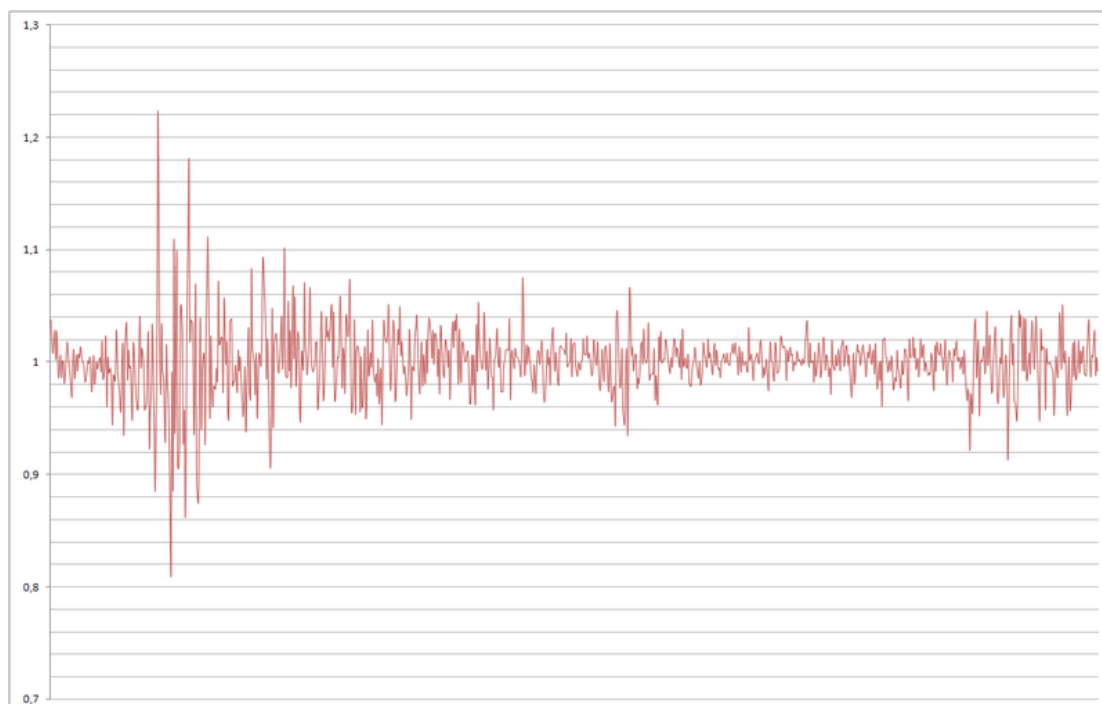


Рис. 5. Ряд процентных приращений котировок, рассчитанных по формуле $X[t] / X[t-1]$.

Но, т.к. изначально процентные приращения имеют гауссово распределение, а из всех статистических функций распределения, определенных на конечном интервале, максимальной энтропией обладает равномерное распределение, то для этого перекодируем входные переменные, чтобы все примеры в обучающей выборке несли примерно одинаковую информационную нагрузку.

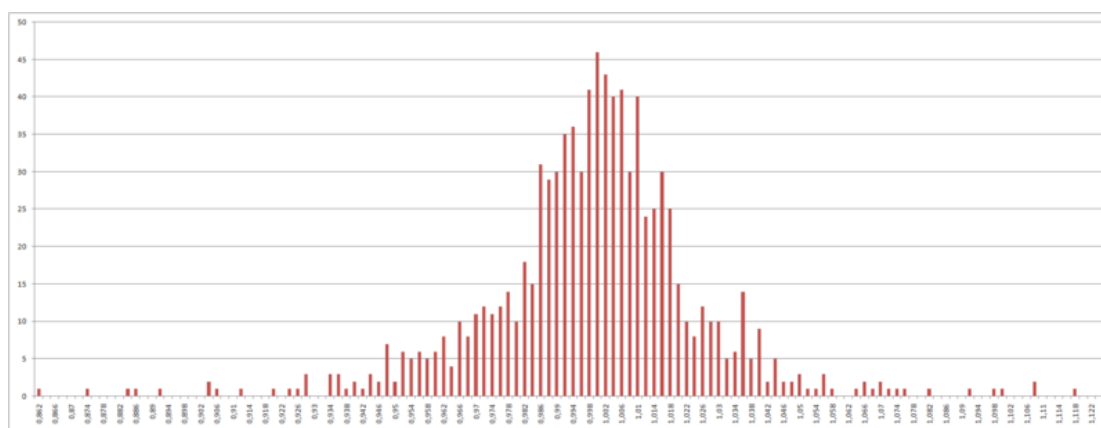


Рис. 6. Распределение процентных приращений котировок.

Разобьем отрезок от минимального процентного приращения до максимального на N отрезков, так, чтобы в диапазон значений каждого отрезка входило равное количество процентных приращений котировок.

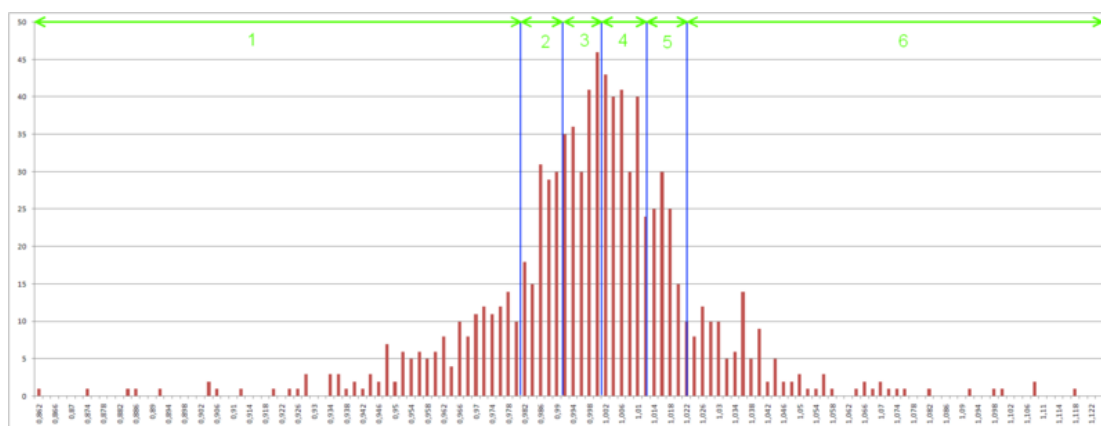


Рис. 7. Границы 6 отрезков, количество процентных приращений в каждом отрезке равно.

Перекодируем процентные соотношения в классы, идентифицирующие каждый отрезок и получим равномерное распределение.

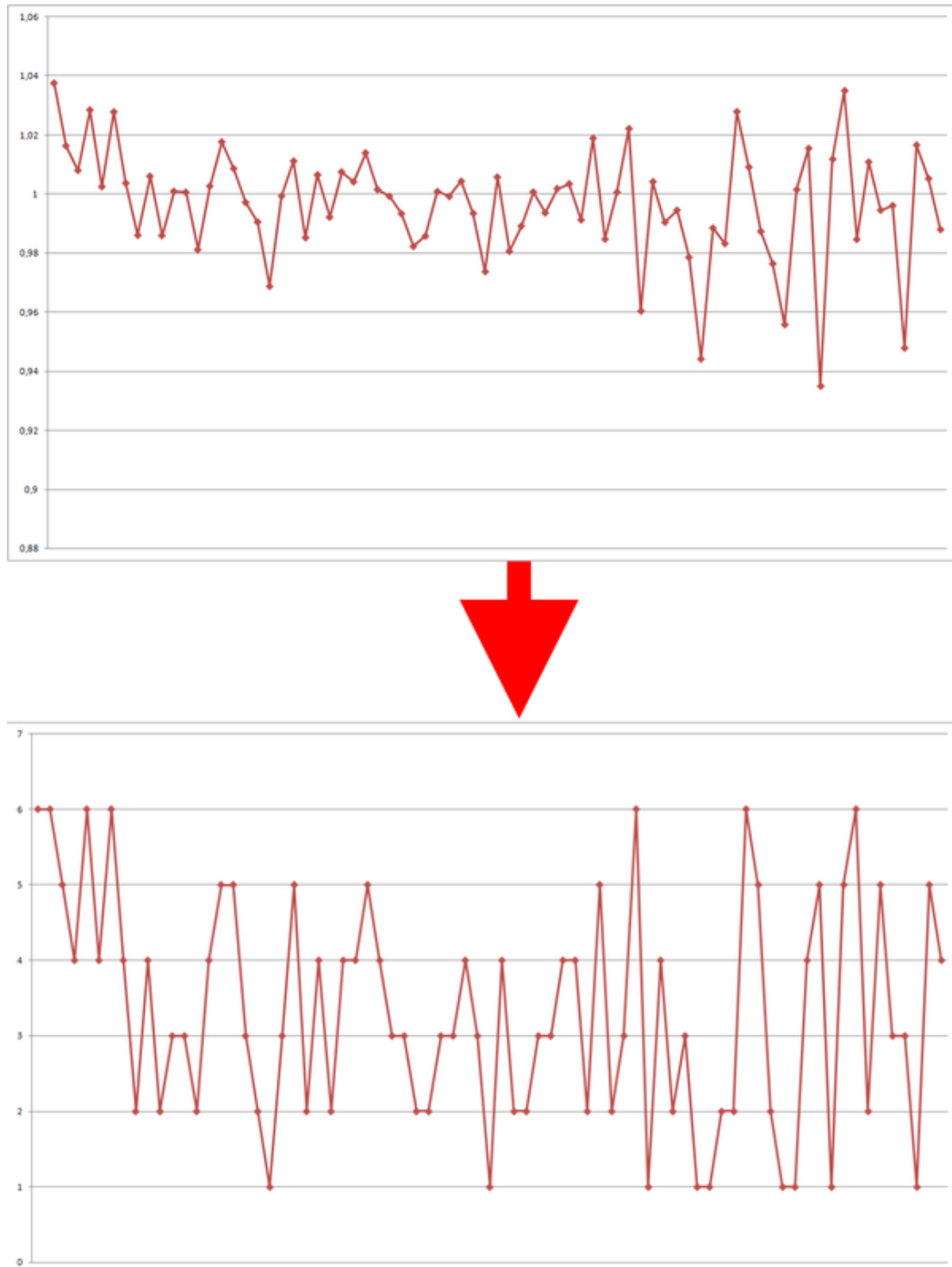


Рис. 8. Перекодирование процентных приращений.

Задача получения входных образов для формирования обучающего множества в задачах прогнозирования временных

рядов предполагает использование метода «окна». Этот метод подразумевает использование «окна» с фиксированным размером, способного перемещаться по временной последовательности исторических данных, начиная с первого элемента, и предназначены для доступа к данным временного ряда, причем «окно» размером N , получив такие данные, передает на вход нейронной сети элементы с 1 по $N-1$, а N -ый элемент используется в качестве выхода.

Качество обучающей выборки тем выше, чем меньше ее противоречивость и больше повторяемость. Для задач прогнозирования финансовых временных рядов высокая противоречивость обучающей выборки является признаком того, что способ описания выбран неудачно. Факторы влияющие на противоречивость и повторяемость:

- 1) количество элементов обучающей выборки — чем больше элементов, тем больше противоречивость и повторяемость;
- 2) количество классов на которые перекодировали процентные приращения — при увеличении снижается противоречивость и повторяемость;
- 3) глубина погружения в финансовый временной ряд («окно») — чем больше глубина, тем меньше противоречивость и меньше повторяемость.

При создании обучающей выборки, меняя эти параметры, необходимо найти баланс при котором уровень противоречивости минимален, а повторяемость максимальна.

Автором была выбрана для использования в разрабатываемой торговой системе каскадная нейронная сеть с обучением по методу обратного распространения ошибки.

Нюансы разработки и моделирования торговой системы

При разработке стратегий для финансовых рынков необходимо учитывать множество факторов, при опущении которых смоделированная торговая система покажет положительный результат, а примененная к реальному рынку окажется в минусе.

Предположение о входе по цене свечи нередко является причиной такого несоответствия модели и реальности. Для более точного прогнозирования необходимо учитывать глубину рынка и анализировать по какой цене в текущий момент времени могла бы исполниться наша рыночная заявка. Но такую подробную историю доступна не каждому, а те, кому она все же доступна, не торопятся ей делиться. Поэтому разработчики механических торговых систем обязательно закладывают некоторую сумму денег для отладки стратегии на реальном рынке.

Другим фактором, часто не учитываемым при разработке и моделировании торговых систем, является «квантовый эффект». Он выражается в том, что разработчик никак не отражает влияние действий торговой системы на рынок, предполагая, что заявка торгового робота была успешно исполнена, но те заявки, с которыми она свелась, остаются в стакане. И если при малых объемах погрешность не так велика, то при более-менее крупных уже очень сильно снижает точность симуляции.

Один из факторов, который необходимо учитывать — изменчивость рынка. Мировые финансовые кризисы, глобальные события могут изменять поведение рынка кардинальным образом. Механическая торговая система должна учитывать изменение поведения рынка в тот или иной момент времени и приспосабливаться к текущей ситуации. Это может быть или автоматическая генерация новых моделей с течением времени, или ручное управление коэффициентами робота, как это происходит, например, у команды UnitedTraders.com.

Задержка выставления заявки является критически важной для высокочастотной торговли, ведь направление движения цены в тиковом интервале стремительно, а упущенный момент и регистрация заявки всего на пару секунд позже сигнала уже может привести к значительным убыткам. Поэтому необходимо учитывать задержку выставления заявки, рассчитываемую с учетом используемых средств связи, шлюзов, торговых систем, размещения оборудования.

Архитектура разработанной торговой системы

Для разрабатываемой автором механической торговой системы было принято решение создать архитектуру, соответствующую принципам REST[8]. REST — это модель проектирования программной архитектуры, позволяющая достичь легкой масштабируемости взаимодействия различных компонентов системы, общности интерфейсов, независимости компонентов. Основные принципы REST:

- разделение приложения на клиент и сервер. Таким образом, в нашем случае, на клиент возлагается лишь задача передачи данных на сервер, а вся логика

отделена от него, что значительно увеличивает легкость разработки мультиплатформенных систем и интеграцию с внешними системами;

- независимость от состояния, т.е. сервер не должен отслеживать, хранить и тем более использовать в работе текущую контекстную информацию о клиенте. С другой стороны клиент должен взять эту задачу на себя;
- кешируемость. Клиент может кешировать ответ сервера на своей стороне, в то время как сервер помечает свои ответы как кешируемые, либо как непригодные к кешированию. Такой подход позволяет устранить избыточные обращения клиента к серверу, тем самым оставив только «полезную» нагрузку на сервер;
- многослойность системы. Клиент не может точно знать подключен ли он к конечному серверу или к промежуточному звену системы. Промежуточные звенья можно использовать для масштабирования системы в качестве балансировщиков нагрузки или как хранилища общих кешей. Также они могут использоваться для улучшения безопасности системы;
- единый интерфейс между клиентом и сервером упрощает и отделяет архитектуру, что позволяет каждой отдельной части программного комплекса развиваться независимо.

Основными методами веб-сервисов, соответствующих принципам REST являются методы GET, POST, PUT, DELETE, соответствующие методам протокола HTTP, и, в отличие от веб-сервисов SOAP, пользователь не вызывает созданный разработчиком системы метод, а обращается к ресурсу с помощью заранее заданных стандартных методов.

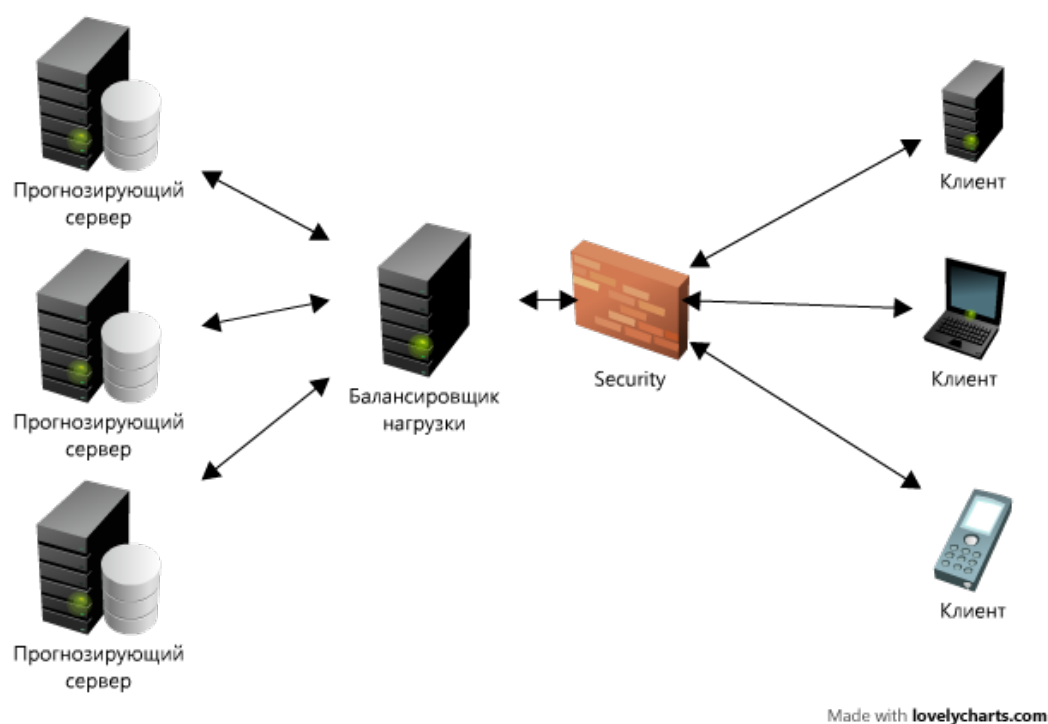


Рис. 9. Архитектура механической торговой системы

Приведем пример такого взаимодействия:

GET <http://localhost/stocks/SBER/01.10.2011/15.12.2011>

Получить котировки акций сбербанка за период с 1 октября по 15 декабря 2011 года.

POST <http://localhost/predictor/caterpillar> (STOCKS)

Получить прогноз по переданному временному ряду с использованием метода «Гусеница».

GET <http://localhost/predictor>

Получить информацию о сделках, необходимых к совершению исходя из результатов работы механической торговой системы.

Таким образом, мы получаем распределенную архитектуру, позволяющую с легкостью интегрировать разработанную автором систему в неопределенное множество внешних систем, и в то же время сама механическая торговая система может быть легко масштабирована на множество вычислительных устройств, что не повлечет за собой изменение программного кода.

Раскроем подробнее серверную составляющую разработанной автором механической торговой системы.

Как было сказано ранее, для прогнозирования автором используется связка технических индикаторов, метод «Гусеница» и каскадная нейронная сеть. С учетом REST-архитектуры, серверная часть разработанного программно-аппаратного комплекса получилась следующей:

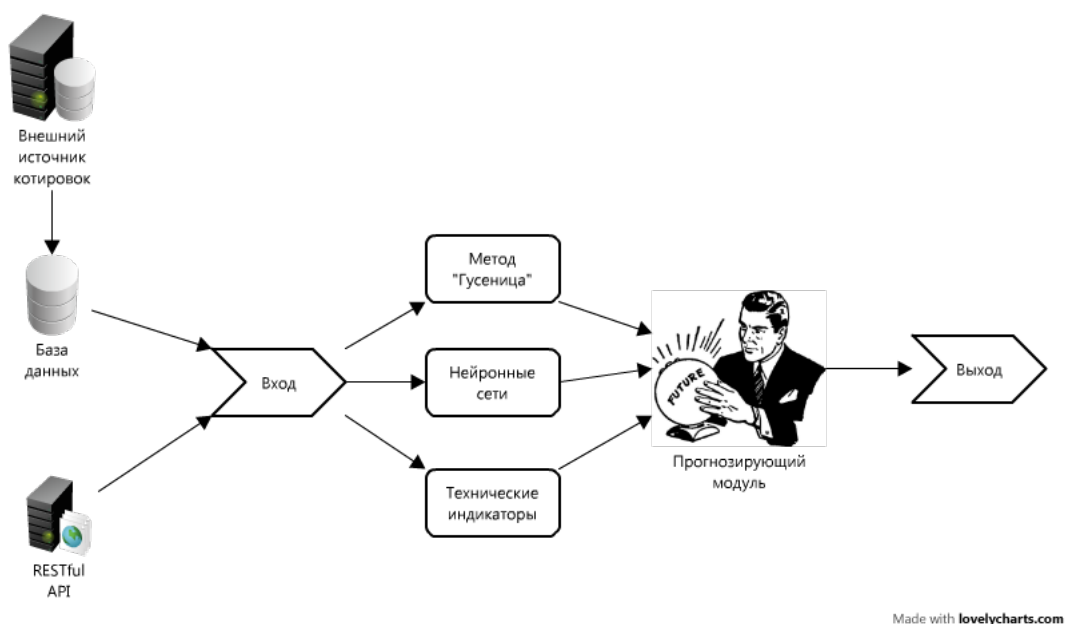


Рис. 10. Составная диаграмма серверной части механической торговой системы

Прогнозирующий модуль был реализован в двух модификациях: в виде комбинации трех базовых алгоритмов с фиксированными, заданными автором/аналитиком коэффициентами и в виде нейронной сети с тремя входами. Первый показывает лучшие результаты на рынке, для которого были подобраны коэффициенты, а второй обладает гибкостью, не требующей вмешательства аналитика, но показывает худшие результаты. Для моделирования системы на реальных данных был выбран алгоритм с фиксированными, заданными автором, коэффициентами.

Глава 3. Применение разработанной механической торговой системы к реальным данным

Моделирование работы системы на реальных данных является важным этапом в создании механической торговой системы. В качестве исторических данных для испытания системы был выбран временной ряд изменения цены на фьючерс РТС, периода проведения конкурса ЛЧИ-2011, «RIN2».

При моделировании системы были учтены такие факторы, как невозможность гарантированного входа по цене свечи, «квантовый эффект», задержка выставления заявки. Причем задержка выставления заявки моделировалась для применения разработанной механической торговой системы различными пользователями: от начинающего трейдера, желающего интегрировать МТС в торговый терминал QUIK, установленный на своем домашнем компьютере, до профессионального участника торгов, имеющего возможность установить свой сервер в непосредственной близости с сервером биржи. Так как задержки выставления заявки варьируются от многих факторов даже при условии использования одного протокола связи с биржей, автор намеренно опускает названия протоколов из результатов тестирования, предлагая провести измерения скорости для каждого клиента индивидуально, чтобы не вводить его в заблуждение однозначными выводами. Вместо этого в результатах тестирования будут приведены задержки, с которыми проводилось моделирование, а за худшую задержку будет принята задержка от подачи заявки до выставления — 500 мс., рассчитанная автором с помощью замеров скорости при

интеграции с торговым терминалом QUIK. Также проведено тестирование с идеальным условием отсутствия задержки.

| | |
|-----------------------------|--|
| Задержка выставления заявки | Доход в процентах по акции RIN2 в период с 1 октября по 15 декабря 2011 года |
| 500 мс | -15% |
| 400 мс | -11% |
| 300 мс | 5% |
| 200 мс | 5% |
| 100 мс | 22% |
| 50 мс | 26% |
| 0 мс | 60% |

Таблица 1. Результаты моделирования механической торговой системы с различными задержками выставления заявок

Таким образом, можно заметить большую значимость фактора задержки выставления заявки на работу алгоритма. При высоких значениях задержки механическая торговая система работает в убыток, в то время как снижение задержки выставления заявки способствует увеличению прибыльности торгового робота.

Рассмотрим используемые методы по отдельности и в сочетании. За успех будем считать правильно предсказанное направление движения цены акции.

| | |
|---------------------------|---------------------------|
| Алгоритм | % правильных предсказаний |
| Нейронная сеть | 60% |
| Метод «Гусеница» | 69% |
| Технические индикаторы | 58% |
| Разработанная автором МТС | 78% |

Таблица 2. Сравнение эффективности алгоритмов

Таким образом, сочетая различные алгоритмы в разработанной автором механической торговой системе, мы добились понижения процента ошибок по сравнению с исходными алгоритмами, включенными в конечный алгоритм.

Для наглядности продемонстрируем график изменения капитала торговой системы при ее использовании на фьючерсе РТС на тиковых данных в период с 1 октября по 15 декабря 2011 года. Стартовый капитал равен 100.000 рублей, используемая стратегия предполагает торговлю малыми лотами с максимальной частотой.

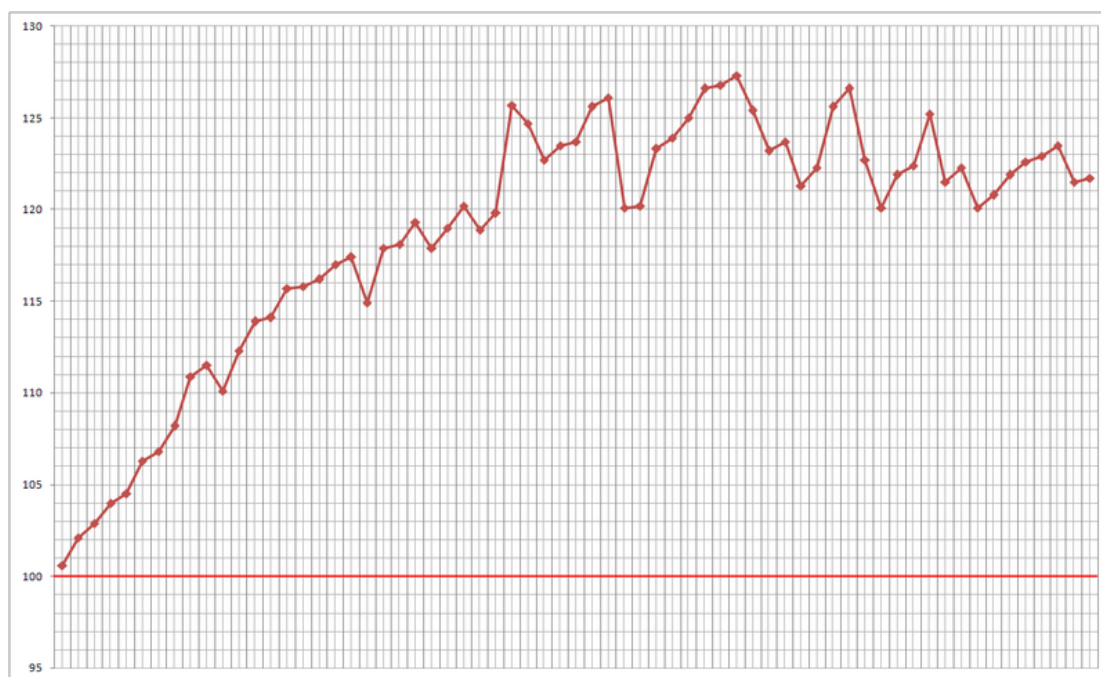


Рис. 11. Изменение капитала торговой системы во времени

Как можно заметить, в некоторый момент времени торговая система перестала приносить стабильную прибыль. Рынок меняется и вместе с ним изменяются стратегии, приносящие прибыль. Для поддержания положительного тренда прибыли торгового робота необходим постоянный контроль со стороны финансовых аналитиков и своевременная коррекция алгоритма или же его коэффициентов.

Заключение

В пределах настоящей работы были изучены теоретические основы построения торговых роботов, проведено исследование существующих решений в области автоматической торговли. В качестве объектов анализа и сравнения с разработанной автором системой были выбраны торговые роботы, участвовавшие в конкурсе РТС «Лучший Частный Инвестор — 2011».

Были разработаны собственные торговые стратегии, являющиеся комплексом техник, применяемых для прогнозирования различных временных рядов: нейронные сети, метод «Гусеница», индикаторы технического анализа. Был создан программно-аппаратный комплекс, позволяющий легко масштабировать и интегрировать торгового робота с неограниченным количеством внешних систем без изменения программного кода механической торговой системы. Применение робота было смоделировано на реальных исторических данных, результаты симуляции сравнены с результатами торговых систем, участвовавших на конкурсе «Лучший Частный Инвестор — 2011».

В процессе разработки и моделирования были выявлены трудности и нюансы реализации и практического применения автоматических торговых систем, в том числе высокочастотных.

Высокочастотные торговые роботы являются сложными системами с множеством влияющих на их работу факторов. При разработке и моделировании торговой стратегии необходимо учитывать множество нюансов, таких как невозможность планирования входа по цене свечи, труднодоступность

подробной рыночной информации, «неквантовость» рынка, его изменчивость и многие другие. Особенно важен для высокочастотного моделирования учет задержки выставления заявки. Трейдер, исходя из своих финансовых возможностей, может оптимизировать задержки и свести их к доступному минимуму, тем самым увеличив скорость выставления заявок и результативность системы. Участникам биржевых торгов доступен целый пул решений для оптимизации временных задержек исходя из потребностей конечного пользователя и его материальной обеспеченности: это может быть либо интеграция механической торговой системы с торговым терминалом QUIK для бюджетной, не требующей высоких скоростей торговли, либо использование шлюзов FIX и FAST, MULTICAST FIX/FAST, PLAZA II, MICEX BRIDGE для более быстрого соединения. Размещение своего оборудования также зависит от потребностей и возможностей конечного пользователя системы: робот может выполняться как с личного компьютера пользователя, так и быть размещенным на серверах брокера или даже биржи.

Высокочастотная торговля активно развивается в России и, как можно увидеть из данной работы, у разработчиков появляются все возможности для успешного создания и использования собственных роботов. Проведенные в рамках работы эксперименты по созданию и моделированию стратегий для высокочастотных финансовых рынков это подтверждают.

Список литературы

1. Берзон Н.И. и др. Фондовый рынок / Под ред. проф. Н.И. Берзона. — Учебное пособие для вузов экономического профиля. — М.: Вита-Пресс, 1998. — ISBN 5-7755-0057-1
2. Шелудько В.М. Финансовый рынок -М: НОРМА, 2006
3. Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: анализ временных рядов: Учеб. пособие. СПб: Изд-во СПбГУ, 2004. 76 с.
4. Голяндина Н.Э. Метод «Гусеница»-SSA: прогноз временных рядов: Учеб. пособие. СПб: Изд-во СПбГУ, 2004. 52 с.
5. Simon Haykin «Neural Networks: A Comprehensive Foundation Second Edition», 2008. 1104 с., с ил.;
6. Найман Эрик «Малая энциклопедия трейдера», 2009, Альпина Паблишер, 235 с.
7. Джек Швагер «Технический анализ. Полный курс», 2011, Альпина Паблишер, 800 с.
8. Roy Thomas Fielding, «Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures», dissertation, 2000.
9. Биржа ММВБ-РТС, официальный сайт, режим доступа: <http://micex.ru>
10. Федеральная служба по финансовым рынкам, официальный сайт, режим доступа: <http://www.fcsm.ru>
11. Вебинары финансовой корпорации «Открытие», режим доступа: <http://www.open-study.ru/ru/demo-account/webinars/>

12. Конкурс «Лучший частный инвестор», официальный сайт, режим доступа: <http://investor.rts.ru/>