

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕАЛЬНЫХ БИРЖЕВЫХ ТОРГОВ

К. В. Воронцов (Москва)

В результате сотрудничества Московской Межбанковской Валютной Биржи (ММВБ), Вычислительного Центра РАН и компании FORECSYS создана имитационная модель биржевых торгов. Уникальной особенностью данной модели является возможность точного воспроизведения реальных торговых сессий ММВБ. Для настройки модели используются методы распознавания образов. В докладе описываются основные свойства и строение модели, рассматривается биржевой тренажёр Имитрейд<sup>1</sup> и другие прикладные задачи, решаемые с помощью данной модели.

### Предмет моделирования

Имитационная Модель Торгов (ИМТ) моделирует процесс электронной биржевой торговли отдельным финансовым *инструментом* (акцией, облигацией, валютой, и т. д.) в течение одной *торговой сессии* (торгового дня).

Процесс торговли основан на механизме двойного аукциона, и в общих чертах состоит в следующем. В течение сессии *участники* торгов в произвольном порядке подают *заявки*. Каждая заявка характеризуется направленностью (на покупку или на продажу), ценой и объемом. Для каждой поданной заявки *торговый автомат* просматривает очередь заявок, поданных ранее, пытаясь найти удовлетворяющую ей встречную заявку (цена заявки на покупку должна быть не меньше, чем цена заявки на продажу). При этом приоритет имеют заявки, поданные по наилучшей цене, а среди заявок, имеющих одинаковую цену – заявки, поданные раньше. Если торговый автомат находит подходящую встречную заявку, то фиксируется *сделка*. Если же заявка не удовлетворяется, или удовлетворяется частично, то её остаток ставится в очередь. Участник торгов может по собственному желанию *снять* свою заявку из очереди. Таким образом, в каждый момент торговой сессии существует очередь на покупку и очередь на продажу, причем лучшая (максимальная) цена в заявках на покупку всегда меньше лучшей (минимальной) цены в заявках на продажу. Зазор между этими ценами называется *спрэдом*. В ходе торгов формируется *протокол* торговой сессии, фиксирующий все события подачи заявок, снятия заявок и сделок.

ИМТ воспроизводит реальную торговую сессию путём имитации действий отдельных участников. На этапе *настройки модели* для каждого реального участника строится *модельный участник* – алгоритм, способный точно или приближённо воспроизвести поведение своего реального прототипа. На этапе *имитации торгов* модельный участник «видит» протокол торгов, текущее состояние очередей и собственную позицию (купленный и проданный объёмы). На основе этой информации он принимает решения о подаче и снятии заявок. Встроенный в ИМТ торговый автомат сопоставляет заявки и генерирует сделки в строгом соответствии с правилами торгов на ММВБ.

Таким образом, *предметом моделирования в ИМТ является поведение каждого отдельного биржевого игрока в заданной торговой сессии*.

### Общие свойства модели

Ключевой особенностью ИМТ является то, что модель строится по полной информации о позициях и операциях отдельных участников реальных биржевых торгов. Этой информацией обладает только организатор торгов, поскольку она носит конфиденциальный характер. Использование закрытых данных в совокупности с интеллектуальными методами их обработки и определяет уникальность ИМТ. Разумеется, закры-

<sup>1</sup> Имитрейд и MoTog – зарегистрированные программные продукты компании FORECSYS.

тая информация используется только на этапе построения модели. На выходе ИМТ, как и на выходе реальной торговой системы, вся персональная информация обезличивается в соответствии с требованием сохранения банковской тайны.

Рассмотрим общие свойства имитационной модели биржевых торгов.

Модель называется *корректной*, если обеспечивается точное совпадение протоколов реальной и модельной торговых сессий при неизменном составе участников.

Модель называется *относительно корректной*, если обеспечивается совпадение (с заданной точностью) выбранных характеристик реальной и модельной торговых сессий при неизменном составе участников. Выбранными характеристиками могут быть изменение цены, объем торгов, число сделок, объемы покупок и продаж отдельных участников, и т. д. Данное требование является более слабым, чем требование корректности.

Модель называется *автономной*, если она способна сгенерировать продолжение торговой сессии в будущее время.

Модель называется *устойчивой*, если незначительные изменения в структуре модели, такие как удаление, добавление или замена отдельных событий или участников, приводят к незначительным изменениям хода модельных торгов.

Модель называется *адекватной*, если в ответ на типовые возмущающие воздействия ход модельных торгов изменяется в соответствии с типовой ответной реакцией. Например, реакцией на массированные продажи должно быть понижение цены, но не её повышение. Пара «типичное воздействие – типовой отклик» составляет тест адекватности модели. Тесты адекватности выражают представления экспертов о том, какое влияние на ход торгов должны оказывать те или иные воздействия. Ниже перечислены некоторые тесты, использовавшиеся при построении и исследовании ИМТ.

Типовое воздействие	Типовой отклик модели
Единичная покупка большого объема.	Кратковременное расширение спреда, повышение цены, затем откат обратно.
Серия из достаточно большого количества покупок типичных для данной сессии объемов.	Постоянное повышение цены при неизменной в среднем ширине спреда. Цена закрытия выше, чем для предыдущего теста.
Изъятие из очереди значительного числа заявок на покупку в некоторый фиксированный момент времени.	Кратковременное расширение спреда, понижение цены. Затем откат обратно.
Регулярное досрочное снятие значительного числа заявок на покупку на протяжении всей сессии.	Постоянное понижение цены, снижение ликвидности, возможно, приводящее к расширению спреда и уменьшению числа сделок.
Выставление коридора из двух заявок большого объема и противоположной направленности	Снижение разброса цен, постепенное уменьшение ликвидности, вызванное падением интереса к краткосрочным спекуляциям.

### Построение и настройка модели

Простейший «наивный» способ построения имитационной модели заключается в том, чтобы на этапе настройки сохранить протоколы действий каждого биржевого игрока, а на этапе имитации воспроизвести исходную последовательность событий. Очевидно, такая модель обладает свойством корректности, но не является автономной.

Первые же эксперименты показали, что она не является ни устойчивой, ни адекватной. Разовая покупка или продажа «посторонним игроком» даже небольшого объема приводит к значительному и долговременному нарушению исходной картины тор-

гов. Вблизи спреда скапливается неожиданно большое количество заявок, уменьшается разброс цен (в 2–4 раза) и сужается спред (в 1,5–2 раза). Причина в том, что торговая сессия чрезвычайно чувствительна к нарушению «типичной» плотности распределения заявок вблизи спреда. Если заявка оказывается ближе к границе спреда, чем она была в исходной сессии, то для неё должна существенно повыситься вероятность снятия. С помощью ряда эвристических поправок удалось обеспечить приемлемую устойчивость и адекватность имитационной модели, основанной на хранении протоколов. Однако прикладная ценность такой модели всё же остаётся ограниченной.

Общий подход к построению корректной, автономной, устойчивой и адекватной модели заключается в использовании современных методов распознавания образов. Сначала рассмотрим более простую задачу обеспечения одного лишь свойства автономности.

Автономная модель участника торгов уже не может руководствоваться заранее известным протоколом и должна самостоятельно принимать торговые решения. В этом случае построение имитационной модели участника может быть сведено к задаче обучения по прецедентам. При этом протокол реальной сессии рассматривается как обучающая выборка, состоящая из пар «ситуация – действие», по которой и производится обучение (настройка) алгоритма принятия решений. В текущей версии ИМТ выделяются 3 основных типа действий – подать заявку, снять заявку, и ничего не делать. При различении заявок по направленности и положению относительно границы спреда число допустимых действий увеличивается до 9.

Алгоритм принятия решений работает следующим образом. Для каждого действия вычисляется набор эвристических оценок, называемых *мотивами*. Каждый мотив – это количественная оценка целесообразности данного действия для данного участника в текущей ситуации. Мотивы конструируются так, чтобы оценка была тем выше, чем сильнее мотивация совершить данное действие. В текущей версии ИМТ используется от 4 до 10 мотивов в зависимости от типа действия. В общем случае набор из  $n$  мотивов переводится в *сигнал* действия с помощью  $n$ -арной монотонной функции (корректирующей операции). Если значение сигнала равно 1, то действие совершается, если 0 – не совершается.

Когда решение о действии принято, аналогичным образом оцениваются его *параметры* – объём и цена заявки, а также момент следующего принятия решения. Для каждого параметра вычисляется набор мотивов, причём, чем больше значение мотива, тем выше должно быть значение параметра. Окончательное значение параметра формируется с помощью монотонной корректирующей операции.

Мотивы, как правило, либо вообще не имеют параметров, либо имеют один параметр, поэтому их настройка достаточно проста. Обучение алгоритма принятия решений сводится главным образом к оптимизации корректирующей операции. Для этого применяются алгоритмы монотонной коррекции [1, 5], разработанные в рамках алгебраического подхода к проблеме распознавания, развиваемого научной школой академика РАН Ю. И. Журавлёва [2, 3]. Возможно также использование алгоритмов выпуклой коррекции (бустинга), ставших весьма популярными благодаря работам И. Фрэнда и Р. Шапира [6].

Построенная таким образом модель при достаточно богатом наборе мотивов становится относительно корректной, достаточно устойчивой и достаточно адекватной. Ограниченный объём статьи не позволяет рассмотреть конструкцию модели и эксперименты с ней более подробно.

Задача одновременного обеспечения корректности и автономности решается путём синтеза двух описанных выше моделей. Идея состоит в том, чтобы взять за основу вторую модель и ввести в неё первую модель в качестве дополнительного мотива. При

этом первая модель хранит уже не сам протокол, а фактически невязку между реальным протоколом и модельным, полученным на выходе второй модели. Поскольку основная модель относительно корректна и адекватна, эта невязка невелика, и при необходимости её можно отключать. Когда нужно обеспечить корректность (например, в биржевом тренажере), обе модели работают вместе. Когда нужна автономность (например, при прогнозном продолжении торговой сессии или при моделировании достаточно сильных воздействий на ход торгов), дополнительный мотив обнуляется.

### **Реализация и приложения**

Описанная модель реализована на языке C++ в виде динамической библиотеки функций `MoToг.dll`, на основе которой может быть создана целая линейка программных продуктов. Библиотека позволяет загружать протоколы торговых сессий, настраивать модель, имитировать торги, в ходе имитации вычислять различные характеристики финансовых инструментов и участников торгов. Поддерживается подключение внешних моделей участников в виде отдельных модулей (`plug-ins`).

Имитационная модель биржевых торгов позволяет решать ряд задач, связанных с обучением, трейдингом и финансовым надзором (`market surveillance`).

**Обучение.** На основе ИМТ была создана учебная имитационная торговая система Имиттрейд [4]. Разработка проводилась сотрудниками компании FORECSYS и Вычислительного Центра РАН при содействии Московской Межбанковской Валютной Биржи. Модельные торговые сессии для Имиттрейд подготавливаются специалистами ММВБ. Доступ к ним предоставляет компания E-Stock, на сайте которой можно ознакомиться с демонстрационной версией тренажёра ([www.e-stock.ru](http://www.e-stock.ru)).

Биржевой тренажёр Имиттрейд позволяет проводить учебные торги, как в локальной сети, так и на отдельном компьютере. Корректность модели обеспечивает абсолютно точное воспроизведение реальных торговых сессий ММВБ до тех пор, пока в учебную торговую систему не начинают поступать заявки учащихся. Благодаря устойчивости и адекватности модели тренажёр реагирует на вмешательство учащихся практически так же, как это сделала бы настоящая биржевая толпа. Таким образом, учащиеся погружаются в условия, максимально приближенные к реальным. Фактически, они играют с профессиональными участниками рынка, но при этом сами могут влиять на ход торгов и оценивать это влияние количественно. По окончании торгов учащиеся могут сравнить свои действия с поведением реальных биржевых игроков.

Перечисленные особенности выгодно отличают Имиттрейд от большинства учебных систем, в которых торги проводятся на фоне фиксированной траектории цены, хотя и взятой с реальной торговой площадки. Для обучения стандартным приёмам спекулятивной игры такого тренажёра вполне достаточно. Однако профессиональным участникам рынка необходимо более глубоко понимать рынок, уметь оперативно оценивать его ликвидность и волатильность, свободно владеть самыми разными приёмами и стратегиями – от внутрисуточного скальпирования до управления крупными пакетами и эффективного формирования рынка (`market-making`). Большой осторожности требует игра на низколиквидных финансовых инструментах (что особенно актуально для российского рынка), когда любая достаточно крупная операция проходит на грани манипулирования рынком. В этом случае необходимо также умение правильно оценить реакцию рынка на собственные действия. Для получения навыков такого рода и предназначена система Имиттрейд.

**Трейдинг.** Возможности ИМТ значительно шире обучения биржевой торговле. Имитационная модель является инструментом для решения ряда аналитических задач в интересах различных категорий пользователей торговой системы. Профессиональные участники рынка и опытные инвесторы с помощью ИМТ могут проанализировать лик-

видность и эластичность рынков, многократно проиграть различные стратегии биржевой игры, рассчитать оптимальный ресурс для выполнения своих целей, оценить работу своего трейдера.

**Надзор.** Целью биржевого надзора является обнаружение и предотвращение случаев инсайдерской торговли и манипулирования ценами, и в конечном итоге – повышение эффективности и справедливости рынка. Если развитие юридических норм биржевой торговли в России будет идти тем же путём, что и в развитых странах, то в скором будущем организаторы торгов и регулирующие организации столкнутся с необходимостью классификации и каталогизации различных стратегий манипулирования. Имитационная модель торгов может оказаться чрезвычайно полезной при проведении этой работы. Она позволяет подробно изучить стратегии манипулирования и отладить алгоритмы их обнаружения там, где натурный эксперимент не допустим. Ещё одним применением ИМТ является оценка влияния отдельных участников торгов на формирование цены финансового инструмента. Такая оценка может быть получена путём построения ИМТ по заданной торговой сессии с последующим воспроизведением модельных торгов при исключении некоторого участника или группы участников.

Автор выражает благодарность всем своим коллегам, студентам ВМиК МГУ и МФТИ, принимавшим участие в разработке, тестировании и проведении экспериментов с имитационной моделью, библиотекой функций MoTog и системой Имиттрейд.

### Литература

1. **Воронцов К. В.** Оптимизационные методы линейной и монотонной коррекции в алгебраическом подходе к проблеме распознавания//ЖВМ и МФ. – 2000. – Т. 40, № 1. – С. 166–176.
2. **Журавлёв Ю. И.** Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания или классификации // Проблемы кибернетики. – 1979. – Вып. 33. – С. 5–68.
3. **Журавлёв Ю. И., Рудаков К. В.** Об алгебраической коррекции процедур обработки (преобразования) информации//Проблемы прикладной математики и информатики. – 1987. – С 187–198.
4. **Пшеничников С. Б., Воронцов К. В.** Имитационное моделирование торгов: новая технология биржевых тренажёров//Индикатор. – Т 42, № 2. – 2002.
5. **Рудаков К. В., Воронцов К. В.** О методах оптимизации и монотонной коррекции в алгебраическом подходе к проблеме распознавания//Доклады РАН. – 1999. – Т. 367, № 3. – С. 314–317.
6. **Freund Y., Schapire R. E.** A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting//European Conference on Computational Learning Theory. – 1995. – Pp. 23–37.