

УДК 519.218.6:519.257:330.4

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОВЕДЕНИЯ РЫНОЧНЫХ ТОРГОВ НА НЕЭКВИДИСТАНТНЫХ
ВРЕМЕННЫХ РЯДАХ С ПОДКЛЮЧЕНИЕМ СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

В.К. Захаров, М.Е. Семенов

Научный руководитель: доцент, к.ф.-м.н. О.Л. Крицкий

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: zakharovseva@mail.ru

**MODELING OF MARKET TRADING ON NON-EQUIDISTANT TIME SERIES WITH THE
CONNECTION OF A DECISION-MAKING SYSTEM**

V.K. Zakharov, M.E. Semenov

Scientific Supervisor: Associate Professor, Ph.D. O.L. Kritsky

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: zakharovseva@mail.ru

***Abstract.** In this article, a simulator of trading in the market on non-equidistant time series was developed with the possibility of introducing additional metrics and a convenient graphical interface. The data for the received trades on simple decision systems was verified at each stage of model development by automated testing. The resulting speed of the model was maximized by converting stable time series into hash tables, which allows working with this model as fast as the decision system works.*

Введение. Для проверки современных гипотез относительно рыночной торговли и создания различных систем принятия решения появляется острая необходимость в разработке быстрого и надежного метода апробации данных моделей, независимую от качества принимаемых решений на рынке. При создании симулятора рыночной торговли, необходимо учитывать множество гиперпараметров, которые прямо или косвенно будут влиять на принятие решений, а также разделение участников рынка на 3 части: обычный игрок (система принятия решения), брокер и сам рынок.

Целью работы является разработка полноценной библиотеки на языке Python для моделирования и симуляции торгов на рынке, учитывающей транзакционные издержки, балансы счетов, независимость участников торговли, неэквилибристические размеры общего времени торговли ценной бумагой и временные интервалы сессий на бирже. Данная модель позволяет исследовать различные методы для автоматизированного принятия решения о покупке или продаже той или иной бумаги при кратко-, средне- и долгосрочной торговле на рынке. В качестве временных рядов для торговли были взяты данные из открытых источников.

Материалы и методы исследования. Для сбора исторических данных была написана программа сбора данных торгов: цен открытия, закрытия и временных меток по каждому выбранному индексу [1] (DAX, Dow Jones, HIS, MDAX, NASDAQ 100, NYSE MKT, S&P 100, S&P 500, UK100). Важно отметить, что пересекающиеся листинги для некоторых бирж могут отличаться ввиду различных торговых периодов, что не позволяет одновременно использовать одни и те же данные для нескольких индексов.

Для хранения данных и удобства обращения к ним был разработан класс, позволяющий считать время жизни каждой бумаги равным, изменяющимся в пределах границ интервала $P = [0;1]$, привязав к нему временную метку о состоянии биржи. В связи с этим будем считать, что каждое значение, находящееся между двумя ближайшими друг к другу датами, между которыми отсутствует какое-либо значение, а именно набор точек $(N, N+1) \in P$, равным предыдущему значению. Таким образом, перед самым первым значением временного ряда будет возвращаться «None», а за последним значением всегда будет использоваться только крайнее по времени наблюдение из данного листинга (рис 1). Это позволит полностью загрузить котировками торговый сервер биржи, исключить возможные ошибки загрузки данных по каждому листингу в выбранный день, а также контролировать состояние биржевых торгов в определенное время.

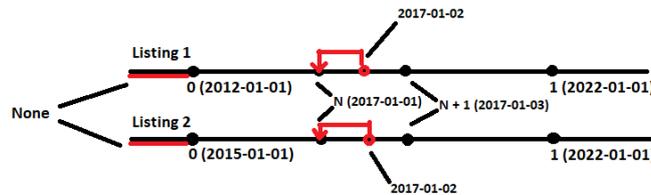


Рис. 1. Вид временного ряда с привязанными данными к каждой метке времени (собственные данные)

Для проведения операций между брокером, рынком и игроком была разработана торговая модель, которая максимально дистанцировала участников рынка друг от друга. Она задает отдельные параметры состояния каждого из них, что позволяет создать полноценную симуляцию торгов (рис. 2). В нашей модели каждый участник представляет собой отдельный класс; он взаимодействует с другими участниками и отправляет данные, не имея доступ к возможности изменения информации. Так, клиент (Client) создает ордер (Order), который может быть выполнен брокером (Broker) при выполнении некоторых условий на рынке (Market), при наличии денег или купленных тикетов в портфеле клиента (Portfolio). Далее брокер отправляет клиенту отчет о сделке (Deal), о ее частичном выполнении или неисполнении, если в течение заданного жизни тикета (TTL) сделка не произошла.

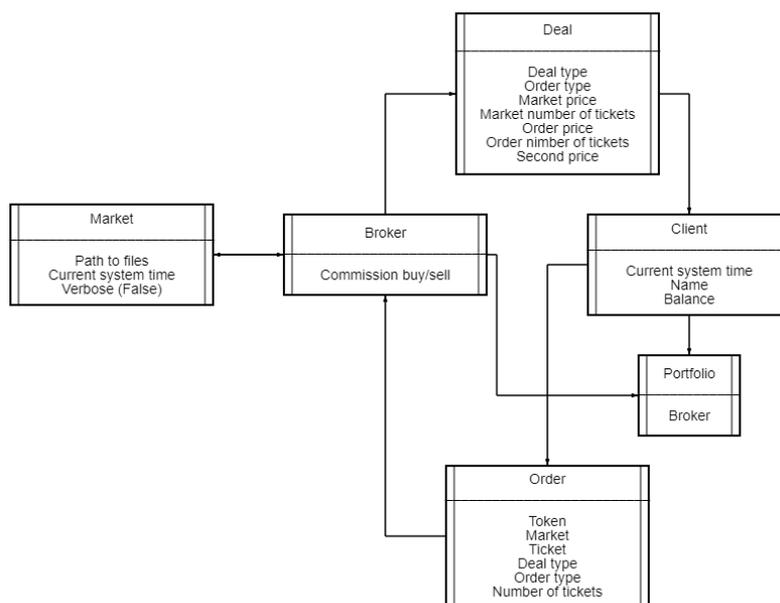


Рис. 2. Блок-схема взаимодействия участников рынка (собственные данные)

Был разработан класс, позволяющий объединить воедино представление и создающий метод, к которому привязывается система принятия решений, а также метрики, необходимые для определения степени удачности стратегии (табл. 1), рассчитанные по окончании симуляции по данным о каждой сделке и по каждой ценной бумаге. В табл. 1 приняты следующие обозначения: P – максимальное значение стоимости портфеля, V – минимальное значение, следующее после максимума, P_0 – начальное значение, P_1 – конечное, PD – прибыль сделки, ND – убыток сделки, NR – доход от безрискового актива.

Таблица 1

Виды применяемых метрик

Максимальная просадка	$P - V$	Профит-фактор	$\frac{\sum PD_N}{\sum ND_N}$
Относительная чистая прибыль	$\frac{P_1 - P_0}{P_1}$	Абсолютная просадка	$\frac{P - V}{P}$
Абсолютная чистая прибыль	$P_1 - P_0$	Относительная просадка	$P - V$
Средняя глубина просадки	$\frac{\sum_0^1 P_N - V_N }{\sum N}$	Фактор восстановления	$\frac{P_1 - P_0}{P - V}$
Отдача на вложенный капитал	$\frac{P_1 - P_0}{\text{Min}(P) * 100}$	Коэффициент Калмара	$\frac{P_1 - P_0 - NR}{P - V}$

При проведении тестов данной системы использовались две устойчивые стратегии. При первой стратегии проводится покупка по N различным котировкам с корреляцией больше заданного уровня P , вычисленной за последние 60 дней. При второй стратегии проводится покупка по K любым котировкам с продажей через T дней. Результаты моделирования полностью совпадали со значениями, полученными после преобразования из биржи напрямую. Таким образом, система была протестирована на каждом этапе реализации, что позволяет судить о ее надежности. Так же для каждого отдельного класса были разработаны уникальные тесты для проверки надежности и качества модели во избежание ошибок, которые могут появиться.

В дальнейшем планируется ускорение, за счет хэширования большего объема данных, что позволит обращаться к данным за счет быстрого расчета хэш-имени.

Заключение. В ходе работы спроектирована и реализована библиотека, позволяющая оценивать и проверять работоспособность различных стратегий на финансовом рынке, был использован новый подход к рассмотрению временных рядов, введены метрики для проверки работоспособности стратегий и их прибыльности. Во время симуляций на тестовых выборках и стратегиях, система показала бесперебойную и быструю работу, ввиду распределения вычислений и хэширования данных во время запусков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tomasz Kulawik. Биржевой и новостной агрегатор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://stooq.pl/>. (дата обращения: 25.02.2022)