

Санкт-Петербургский государственный университет

Программная инженерия

Чугаев Анатолий Александрович

Обнаружение арбитражных возможностей
и анализ результатов арбитража для
криптовалютных бирж

Бакалаврская работа

Научный руководитель:
ст. преп. Кириленко Я. А.

Рецензент:
Руководитель филиала ООО «ДиЭсЭкс ТЕХНОЛОДЖИЗ ЛИМИТЕД» Мавчун Г. В.

Санкт-Петербург
2019

SAINT PETERSBURG STATE UNIVERSITY

Software engineering

Chugaev Anatoly

Detection and analysis of arbitrage
opportunities for cryptocurrency exchanges

Graduation Thesis

Scientific supervisor:
Senior lecturer Iakov Kirilenko

Reviewer:
Head of the branch DSX Technologies Limited George Mavchun

Saint Petersburg
2019

Оглавление

Введение	4
1. Постановка задачи	5
2. Обзор предметной области и существующих решений	6
2.1. Обзор предметной области	6
2.2. Обзор существующих решений	7
2.2.1. Программа «Межбиржевой арбитражер криптовалюта»	7
2.2.2. Программа «Arbitrage Crypto Trader»	8
2.3. Выводы	10
3. Архитектура	11
3.1. Используемые технологии	12
4. Реализация	14
4.1. Модуль сбора данных	14
4.2. Визуализация	15
5. Апробация	18
Заключение	23
Список литературы	24

Введение

Межбиржевой арбитраж – это торговая стратегия, смысл которой заключается в покупке цифровой валюты на одной бирже дешевле и продаже этой валюты на другой бирже дороже. Возможность арбитража существует и на фондовом рынке, однако рынок криптовалют более интересен тем, что на данном рынке отсутствуют финансовые регуляторы, скорость транзакций значительно выше, чем на фондовом рынке, а поставка денег осуществляется в момент совершения сделки. Задача арбитража является актуальной задачей, потому что уже сейчас капитализация данного рынка составляет более 100 млрд. долларов США, а суточный объем торгов оценивается в несколько десятков млрд. долларов США [22].

Существует несколько вариантов реализации идеи межбиржевого арбитража. Один из них заключается в нахождении выгодной арбитражной возможности и последующей её реализации путем покупки цифровой валюты на одной бирже и её перевода на другую биржу для моментальной продажи по более высокой цене. Однако у этого варианта есть существенный недостаток – за то время, пока осуществляется перевод валюты с одной биржи на другую, цена валюты может измениться и трейдер может понести убытки.

Чтобы избежать данной проблемы, можно использовать другую стратегию, суть которой заключается в предварительном анализе арбитражных возможностей для выявления таких пар бирж и пар валют, на которых данная возможность сохраняется некоторое время. Далее на каждую биржу переводятся средства и при появлении арбитражной возможности происходит покупка валюты на одной бирже и сразу же продаже этой же валюты на другой бирже. Таким образом сделка происходит практически “моментально”. После остается восстановить баланс валют на биржах и совершать сделки дальше, или, если данная пара бирж исчерпала возможности арбитража, тогда переходить на другую пару.

1. Постановка задачи

Целью данной работы является реализация программной системы для поиска возможностей межбиржевого арбитража. Для ее достижения были сформулированы следующие задачи.

- Произвести анализ предметной области и обзор существующих решений.
- Разработать архитектуру программной системы.
- Реализовать программную систему.
- Провести апробацию системы.

2. Обзор предметной области и существующих решений

2.1. Обзор предметной области

Арбитраж – это покупка валюты на одном валютном рынке с одновременной продажей ее на другом валютном рынке в целях извлечения прибыли на разнице в валютных курсах на разных рынках.

Волатильность – статистический финансовый показатель, характеризующий изменчивость цены.

Криптовалюта – разновидность цифровой валюты, создание и контроль за которой базируются на криптографических методах. Функционирование данных систем основано на таких технологиях как блокчейн, направленный ациклический граф, консенсусный реестр.

Объём торговых операций – это количество единиц актива, обмениваемых в заданный промежуток времени. Чаще всего объём торговых операций считают за 24-часовой период, хотя недельные и месячные отрезки также распространены [21].

Валютная пара/инструмент – это отношение цен двух валют, входящих в данную пару. Первая валюта в паре называется базовой, а вторая – котируемой.

Биржевой стакан – это таблица заявок на покупку/продажу, при этом строка данной таблицы состоит из цены и объема торгуемого актива. В случае с валютными парами цена задается в котируемой валюте, а объем в базовой.

Биржевой стакан формируется следующим образом: клиент создаёт заявку на куплю/продажу, в которой он указывает цену и количество криптовалюты. Далее заявка обрабатывается биржей по следующему алгоритму: ищется подходящая заявка в списке заявок (если это заявка на продажу, то будут подходить заявки с ценой, равной цене, указанной клиентом, и выше, если это заявка на продажу, то будут подходить заявки с ценой равной указанной клиентом или ниже), если не удастся найти подходящую, то заявка размещается в биржевом стакане. Исто-

рия сделок хранит все сделки клиентов на покупку/продажу с их ценой и количеством валюты.

2.2. Обзор существующих решений

Перед решением поставленной задачи был произведен обзор существующих решений, цель которого заключалась в анализе преимуществ и недостатков возможностей данных решений. Ниже приведён разбор этих решений.

2.2.1. Программа «Межбиржевой арбитражер криптовалют»

“Межбиржевой арбитражер криптовалют” – система которая предназначена для поиска арбитражных возможностей между разными биржами[19]. Пример пользовательского интерфейса на рис. 1.

Преимущества:

- Большое количество поддерживаемых бирж
- Детальная настройка (возможность выбрать биржи и валютные пары, фильтрация по проценту прибыли, выбор времени обновления данных)
- Логирование арбитражных возможностей

Недостатки:

- Отсутствует возможность визуализации арбитражных возможностей
- Платная лицензия

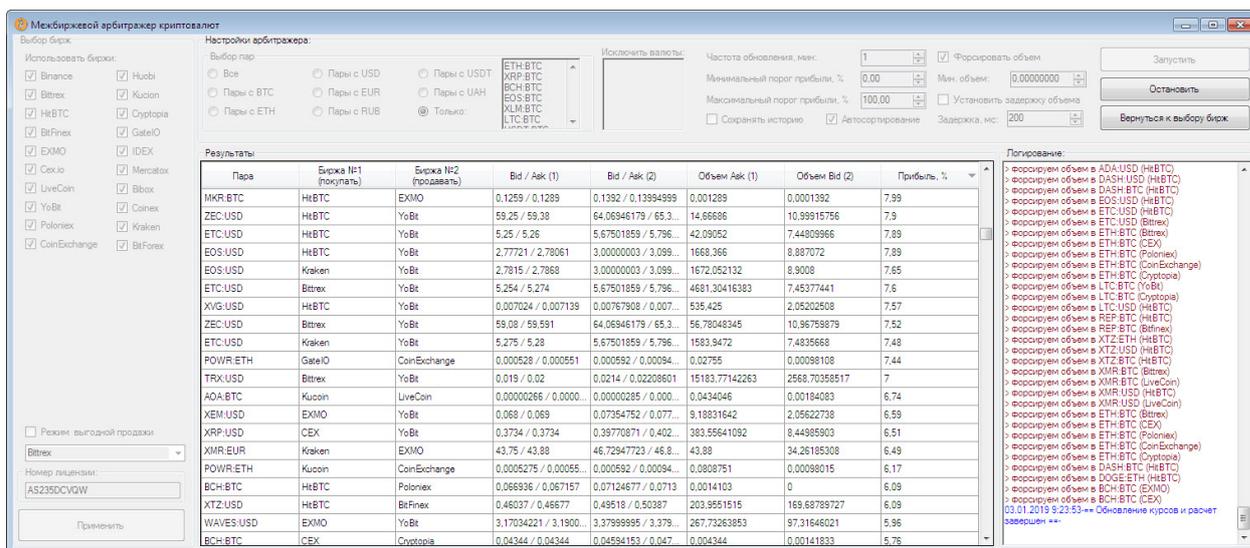


Рис. 1: Рабочее окно программы “Межбиржевой арбитраж криптовалют” (рисунок взят с сайта [19])

2.2.2. Программа «Arbitrage Crypto Trader»

Arbitrage Crypto Trader - это платформа для удобной межбиржевой арбитражной торговли[2]. Пример пользовательского интерфейса на рис. 2.

Преимущества:

- Большое количество поддерживаемых бирж
- Большое количество поддерживаемых валют
- Детальная настройка (возможность выбрать биржи и валютные пары, фильтрация по проценту прибыли, выбор времени обновления данных)
- Визуализация арбитражных возможностей
- Автоматическая и ручная торговля
- Кроссплатформенность программы

Недостатки:

- Платная лицензия (для получения функциональности автоматического режима торгов)
- Дополнительная комиссия авторам программы за свои сделки

The screenshot displays the Arbitrage Crypto Trader interface, split into two main trading panels: Bittrex (left) and Binance (right). Each panel includes a header with account information, a central table of market data, and a bottom section for order management.

Bittrex Panel:

- Header:** "Выбрать пару: USDТ-BTC", "Bittrex", "Общий баланс: BTC 0,25160338", "HitBtc Комиссия: 0.15", "HitBtc to Binance Profit 0.36%", "Количество: [input field]", "Остаток операций в 1 клик: 22".
- Market Data Table:** Columns include "Цена(USDТ)", "BTC", "Время", "Цена(USDТ)", "BTC", "Стоимость".
- Order Management:** "Купить BTC" and "Продать BTC" sections with input fields for "Цена", "Количество", and "Сумма", and buttons for "Купить" and "Продать".

Binance Panel:

- Header:** "Выбрать пару: BTCUSDТ", "Binance", "Общий баланс: BTC 0,25160338", "Binance Комиссия: 0.1", "Binance to HitBtc Profit -0.64%", "Количество: [input field]", "Остаток операций в 1 клик: 22".
- Market Data Table:** Columns include "Цена(SDT)", "BTCU", "Стоимость", "Цена(SDT)", "BTCU", "Стоимость".
- Order Management:** "Купить BTCU" and "Продать BTCU" sections with input fields for "Цена", "Количество", and "Сумма", and buttons for "Купить" and "Продать".

At the bottom of each panel, there are tabs for "Open Orders", "Trade History", and "Funds".

Рис. 2: Рабочее окно программы Arbitrage Crypto Trader (изображение взято с сайта [20])

	Межбиржевой арбитражер криптовалют	Arbitrage Crypto Trader
Сбор данных, логирование	+	+
Анализ арбитражных возможностей	+	+
Визуализация	-	+
Торговля	-	+
Лицензия	платная	платная + комиссия
Кроссплатформенность	-	+
Открытый исходный код	-	-

Таблица 1: Сравнение решений для межбиржевого арбитража криптовалют

2.3. Выводы

После проведения анализа существующих решений были сделаны следующие выводы:

- существующие решения не имеют возможности настройки модели и оценки рисков совершения арбитражных сделок
- имеют платные лицензии или берут дополнительную комиссию при совершении сделок
- все имеют закрытый код, что не позволяет адаптировать их под свои нужды и обеспечить достаточный уровень доверия к ПО

3. Архитектура

Поскольку для стратегии арбитража необходимо иметь историю торгов криптовалютных бирж, первым делом было принято решение о создании приложения, обладающего минимальной необходимой функциональностью, для того чтобы начать собирать данные как можно раньше. Таким образом, разработка программного продукта проводилась в два этапа.

1. Разработка приложения с минимальной функциональностью:
 - Реализация скриптов на Python для получения данных с бирж
 - Визуализация полученных данных
2. Разработка программной системы с полной функциональностью:
 - Проектирование архитектуры программной системы
 - Реализация модуля для получения данных с бирж и анализа арбитражных возможностей в режиме реального времени
 - Визуализация полученных данных

На данный момент система поддерживает работу со следующими биржами: Binance [3], Bitfinex [4], Bittrex [5], CEX [6], Hitbtc [9], Huobi [10], Kraken [13], Kucoin [14], Liquid [15], Poloniex [16]; и следующими финансовыми инструментами: ETHBTC, BCHBTC, XLMBTC, XLMETH, XRPBTC, XRPETH, EOSETH, EOSBTC.

Для анализа рынка пользователю доступно два способа:

- Визуализация курсов криптовалют и разницы цены покупки на одной бирже и продажи на другой бирже.
- История изменения курса и арбитражных возможностей в формате csv, подходящем для дальнейшего анализа.

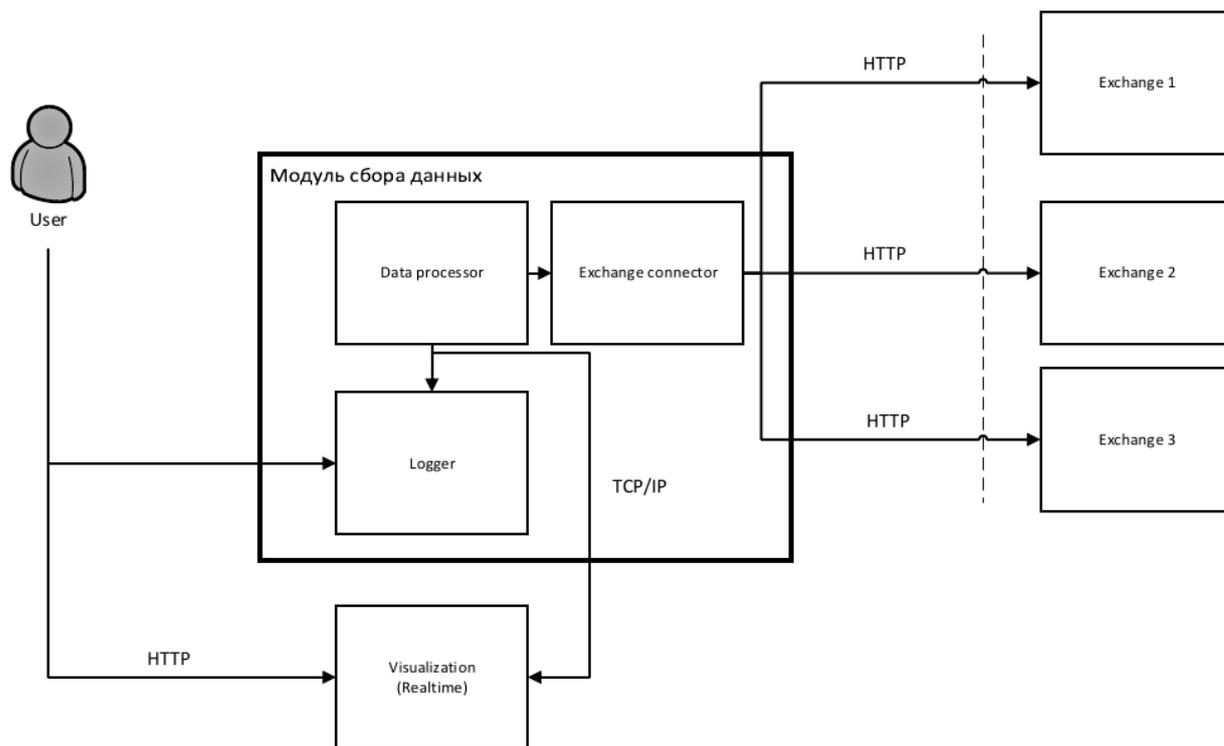


Рис. 3: Диаграмма архитектуры программной системы

3.1. Используемые технологии

При реализации программного продукта были использованы следующие технологии:

- Grafana - веб-инструмент для визуализации, мониторинга и анализа данных, связанных со временем в режиме реального времени [7].
- Graphite - это система агрегации данных и отображения графиков в режиме реального времени [8]. Состоит из трех компонентов:
 - graphite - веб-интерфейс для визуализации данных.
 - whisper - база данных оптимизированная для обработки данных временных рядов.
 - carbon - сервис, который получает данные из внешних источников и сохраняет их в базу данных whisper.

- Gson - библиотека для сериализации и десериализации Java-объектов в формат JSON [18].
- Apache HttpClient - библиотека для доступа к интернет-ресурсам через протокол HTTP/HTTPS [1].
- Java - сильно типизированный объектно-ориентированный язык программирования [12].

4. Реализация

4.1. Модуль сбора данных

Данный модуль используется для получения текущего курса валют с криптовалютных бирж и представляет собой многопоточное приложение, написанное на языке Java. Диаграмма последовательности получения курсов и сохранения полученных данных представлена на рис. 4

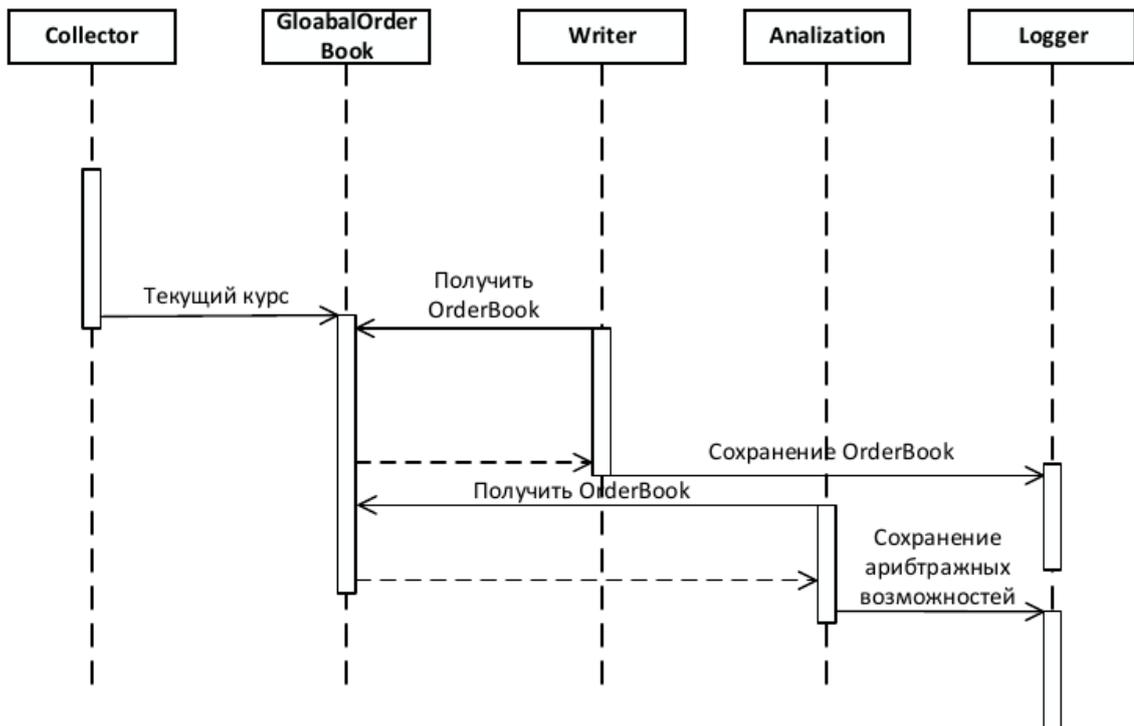


Рис. 4: Диаграмма последовательности

GlobalOrderBook представляет собой глобальное хранилище, где сохраняются последние данные полученные от бирж.

Компонент Collector получает данные от биржи, используя протокол HTTPS и передает данные в GlobalOrderBook. При этом в приложении для каждой биржи существует свой Collector, который работает в отдельном потоке для большей отказоустойчивости и эффективности работы системы. Также модуль поддерживает получение данных с помощью протокола WebSocket.

Logger используется для сохранения на диск данных биржевого стакана и арбитражных возможностей в формате csv.

Writer раз в некоторое время запрашивает данные у GlobalOrderBook для преобразования и передачи Logger для записи на диск.

Analyzation получает данные от GlobalOrderBook для вычисления арбитражных возможностей и передачи их модулю Logger для записи на диск.

4.2. Визуализация

Так как одна из поставленных задач требует возможности визуализации в режиме реального времени, то было принято решение интегрировать модуль сбора данных с существующим программным продуктом для визуализации. При этом для инструмента визуализации были выдвинуты следующие требования:

- Поддержка работы в режиме реального времени
- Простота протокола обмена данными
- Простота развертки
- Поддержка базы данных, оптимизированной для хранения временных рядов.

В ходе подбора продукта для визуализации были рассмотрены следующие решения:

- InfluxDB – это база данных для хранения временных рядов [11].
- Graphite – это система агрегации данных и отображения графиков в режиме реального времени [8].
- Prometheus – система для визуализации, мониторинга и хранения данных связанных со временем [17].

- Grafana – веб-инструмент для визуализации, мониторинга и анализа данных, связанных со временем в режиме реального времени [7].

На начальном этапе развития программного продукта из-за небольшого количества поддерживаемых бирж, производительность базы данных была не самым важным фактором. Важнее было оставить возможность перехода на более мощную базу данных без изменения протокола общения между модулем сбора информации и базой данных. Graphite как раз предоставляет возможность замены whisper на другую технологию. Grafana же не имеет своего бэкенда, но при этом достаточно просто интегрируется с Graphite. Что позволяет расширить возможности по визуализации Graphite.

Таким образом, была выбрана связка Graphite и Grafana, которая используется для визуализации стоимости финансовых инструментов, а также для визуализации арбитражных возможностей – разницы стоимости продажи на одной бирже и покупке на другой.

Пример полученного графика стоимости инструмента EOSBTC для разных бирж рис. 5.



Рис. 5: График курса для инструмента EOSBTC для нескольких бирж

Пример графика арбитражных возможностей для инструмента ETHBTC рис. 6. Линии графиков, расположенных выше 0 по оси X, показывают

арбитражные возможности при покупке на бирже CEX и продаже на остальных биржах.

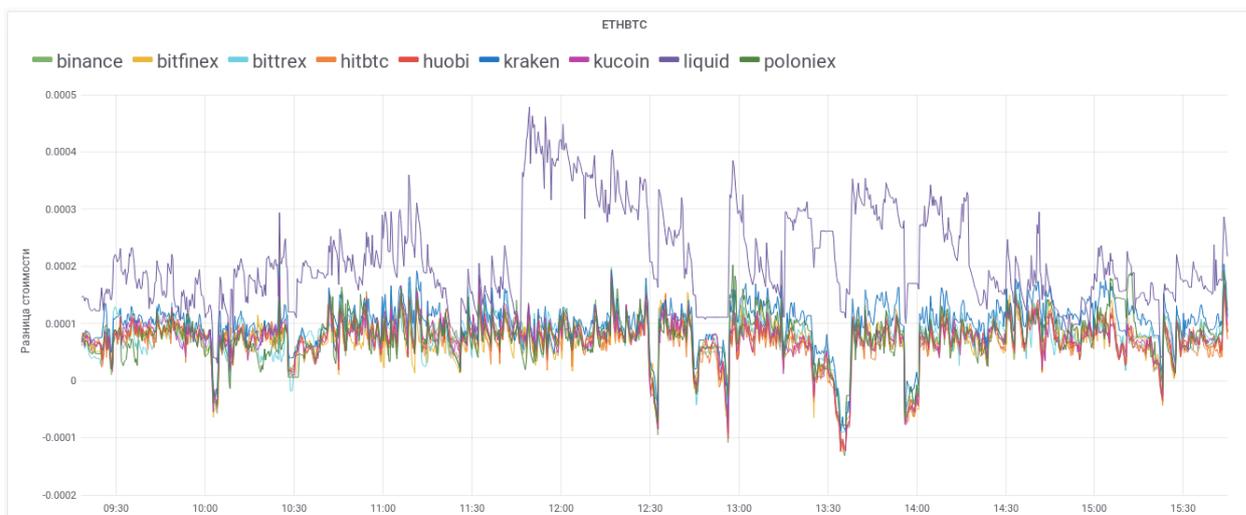


Рис. 6: График арбитражных возможностей для инструмента ETHBTC

5. Апробация

Для апробации система была запущена на удаленном сервере. В ходе апробации была собрана следующая информация об арбитражных возможностях.

Объем арбитражных возможностей для инструмента ETHBTC рис. 7.

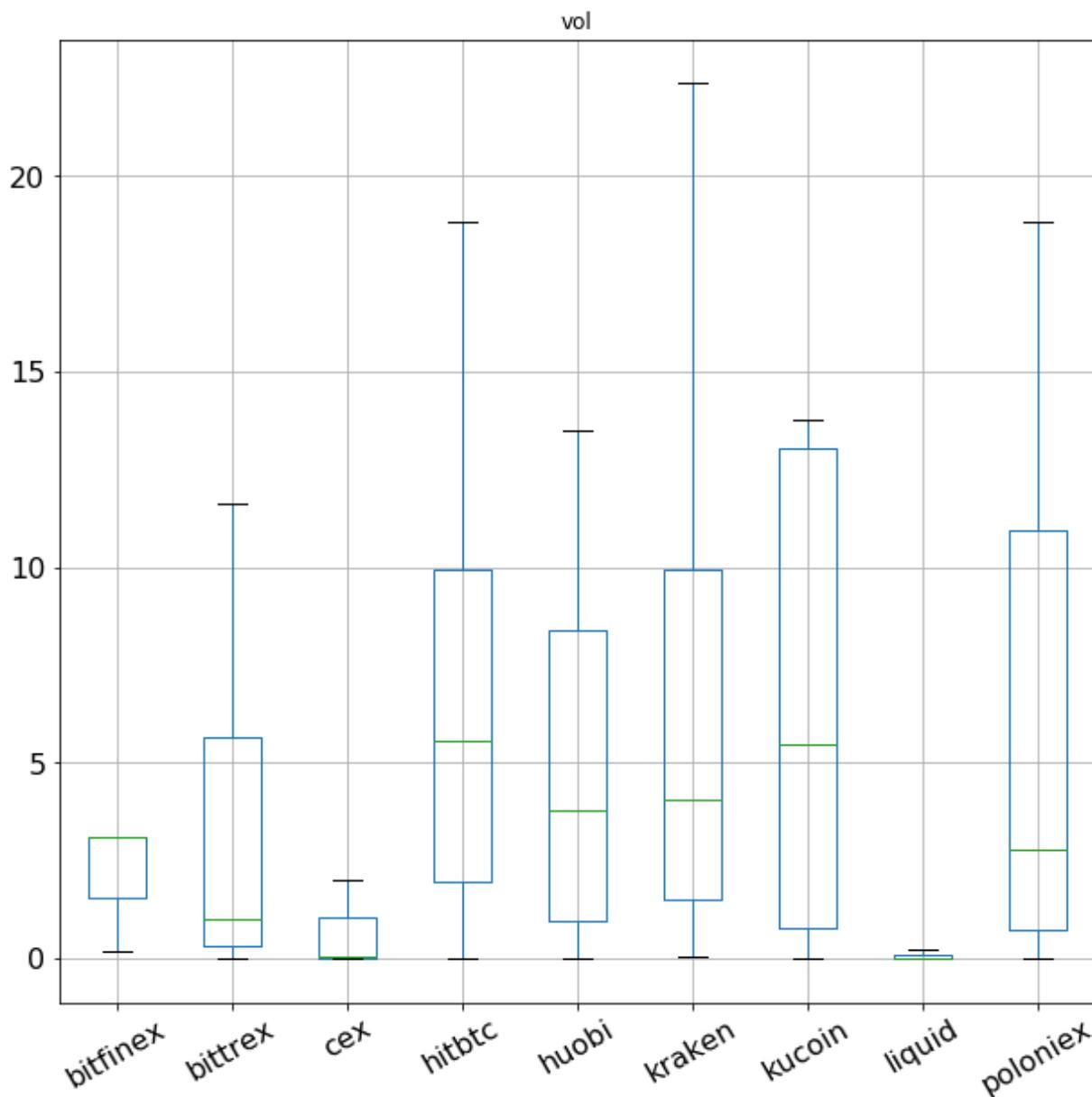


Рис. 7: График разброса

Объем арбитражных возможностей для инструмента ETHBTC рис. 8.

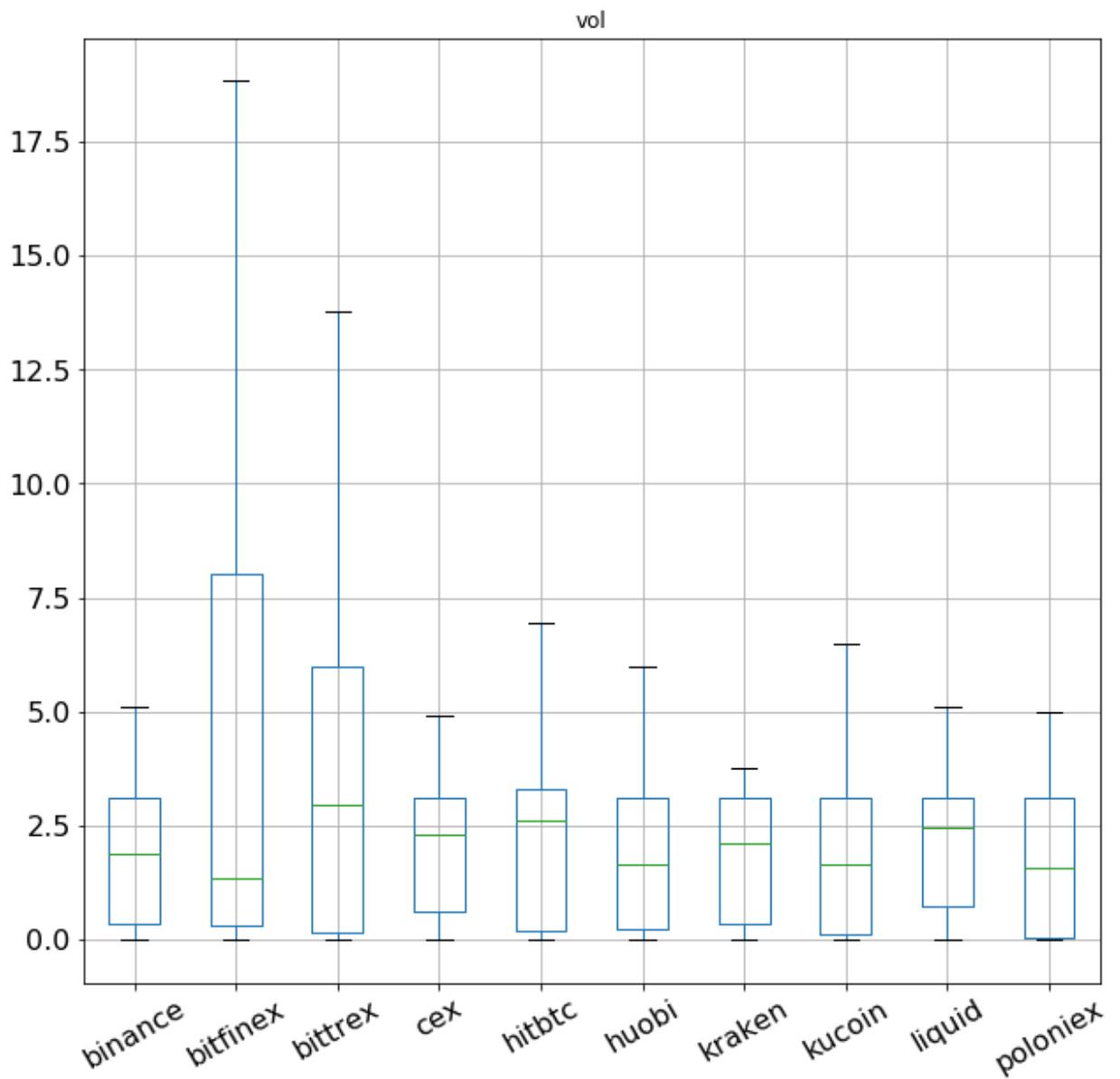


Рис. 8: График разброса

Объем арбитражных возможностей для инструмента XLMBTC рис. 9.

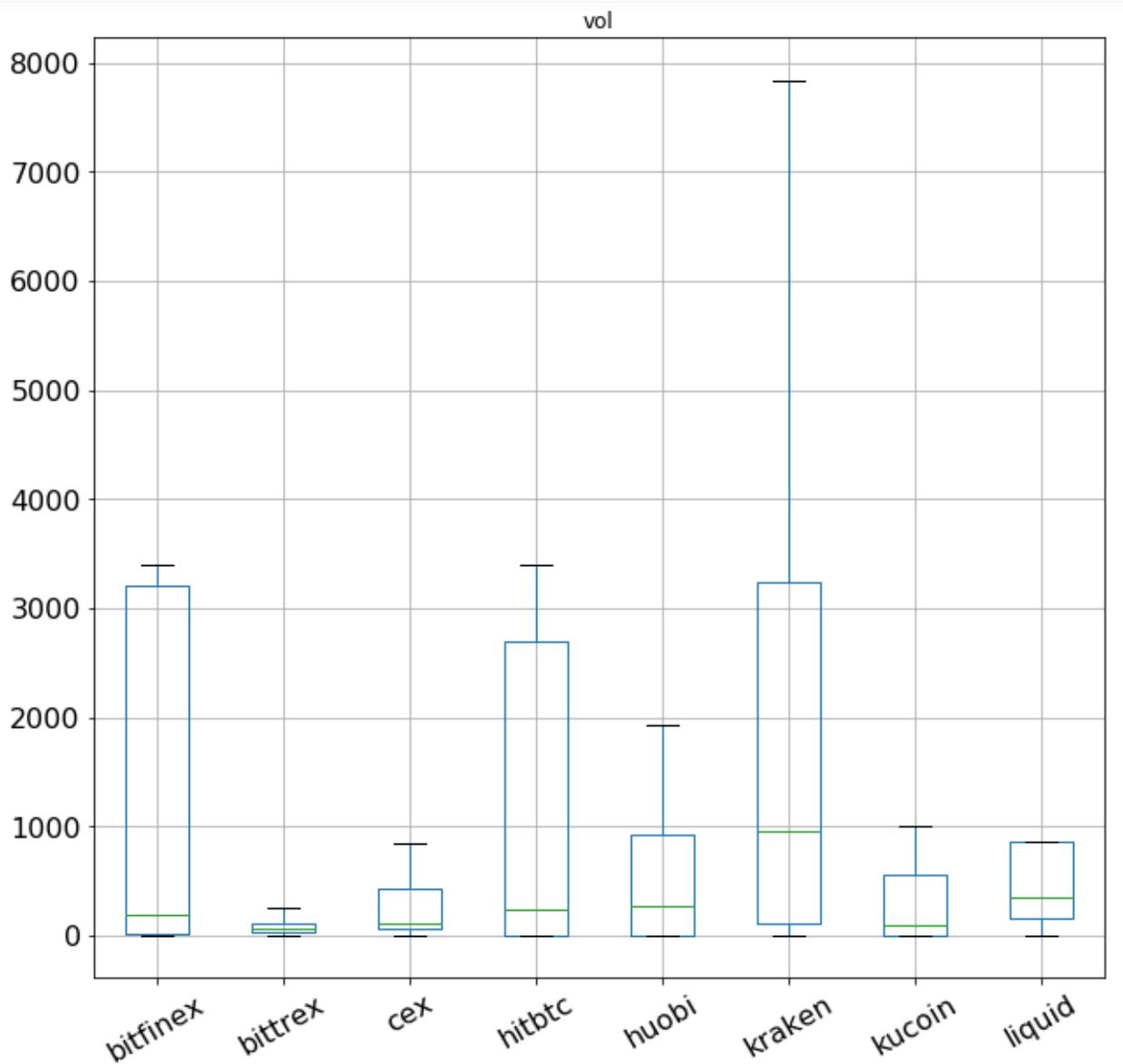


Рис. 9: График разброса

Объем арбитражных возможностей для инструмента XLMBTC рис. 10.

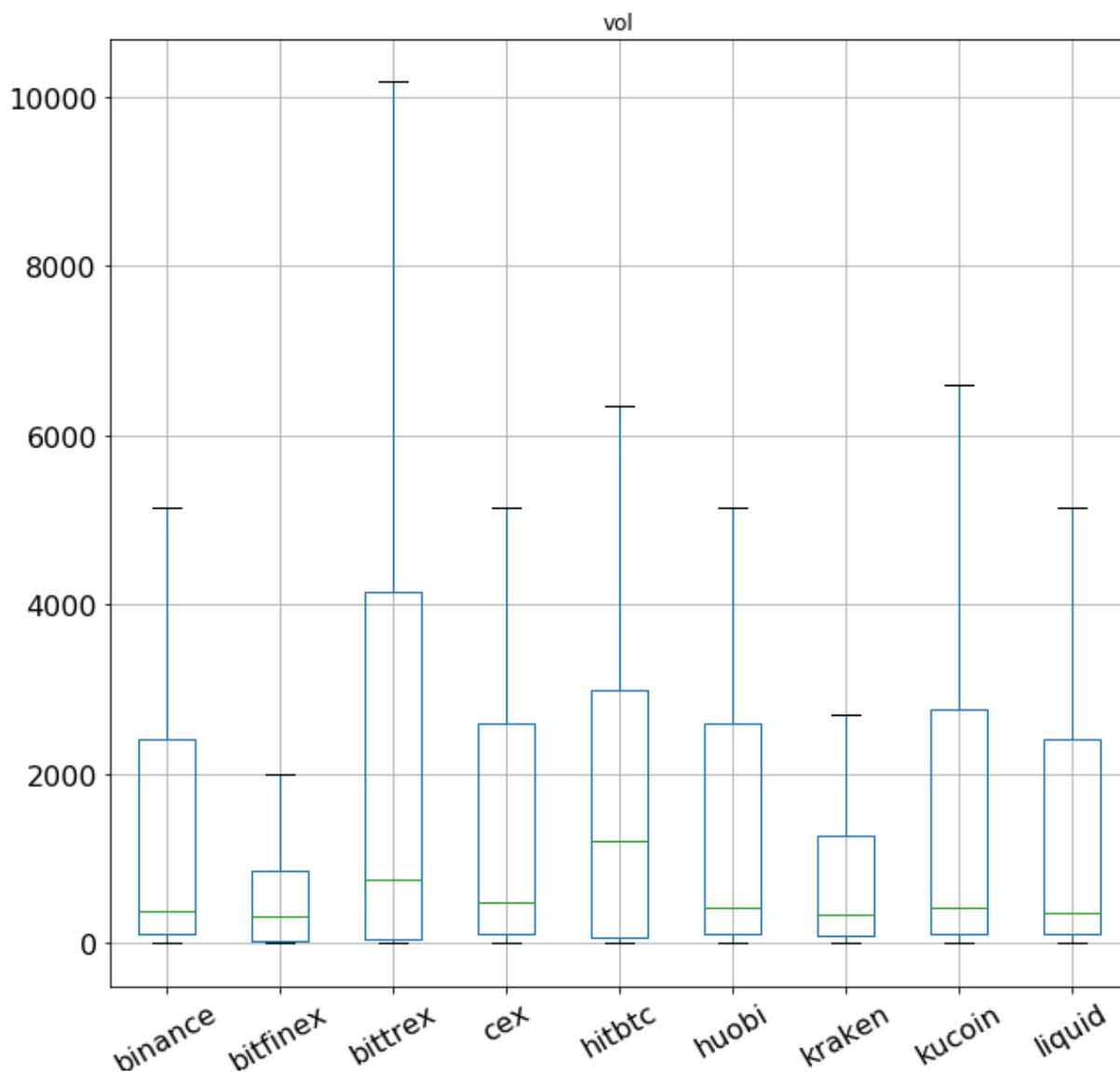


Рис. 10: График разброса

Из графиков 7 и 8 следует что для арбитража на инструменте ETHBTC покупать криптовалюту стоит на биржах Hitbtc, Huobi, Kraken, Kucoin, а продавать на Bittrex, Bitfinex, Liquid, а из графиков 9 и 10 следует что для арбитража на инструменте XLMBTC покупать криптовалюту стоит на биржах Bitfinex, Hitbtc, Kraken, а продавать на Bittrex, Kucoin.

Полученная по результатам собранных за 14 дней данных статистика показана в таблице 2. Медианная прибыль посчитана с учетом комиссии 0.3%.

инструмент	медианный объем \$	объем всего \$	медианная прибыль %
ETHBTC	756	1049487	0.051
BCHBTC	407	1169174	0.058
XLMBTC	26	569499	0.049
XL METH	1	11279	0.073
XRPBTC	210	2201307	0.071
XRPETH	37	26733	0.071
EOSBTC	127	519275	0.071
EOSETH	70	525624	0.826

Таблица 2: Статистика по всем инструментам

Заключение

В рамках данной работы были получены следующие результаты.

- Произведен обзор предметной области, а так же программ «Межбиржевой арбитражер криптовалют» и «Arbitrage Crypto Trader» межбиржевого арбитража криптовалют.
- Разработана архитектура системы.
- Реализован модуль получения данных и анализа арбитражных возможностей для следующих бирж: Binance, Bitfinex, Bittrex, CEX, Hitbtc, Huobi, Kraken, Kucoin, Liquid, Poloniex; и инструментов: ETHBTC, BCHBTC, XLMBTC, XLMETH, XRPBTC, XRPETH, EOSETH, EOSBTC.
- Проведена апробация программной системы.

Список литературы

- [1] Apache HttpComponents, официальный сайт продукта [Электронный ресурс]. — URL: <https://hc.apache.org> (дата обращения: 20.05.2019).
- [2] Arbitrage Crypto Trader, официальный сайт продукта [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.arbitragect.com/en/index.html> (дата обращения: 04.03.2019).
- [3] Binance, официальный сайт биржи [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.binance.com> (дата обращения: 20.05.2019).
- [4] Bitfinex, официальный сайт биржи [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.bitfinex.com> (дата обращения: 20.05.2019).
- [5] Bittrex, официальный сайт биржи [Электронный ресурс]. — URL: <https://international.bittrex.com> (дата обращения: 20.05.2019).
- [6] Cex, официальный сайт биржи [Электронный ресурс]. — URL: <https://cex.io> (дата обращения: 20.05.2019).
- [7] Grafana, официальный сайт продукта [Электронный ресурс]. — URL: <https://grafana.com> (дата обращения: 20.05.2019).
- [8] Graphite, официальный сайт продукта [Электронный ресурс]. — URL: <https://graphiteapp.org> (дата обращения: 20.05.2019).
- [9] Hitbtc, официальный сайт биржи [Электронный ресурс]. — URL: <https://hitbtc.com> (дата обращения: 20.05.2019).
- [10] Huobi, официальный сайт биржи [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.huobi.com> (дата обращения: 20.05.2019).
- [11] InfluxDB, официальный сайт продукта [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.influxdata.com/products/influxdb-overview> (дата обращения: 25.05.2019).

- [12] Java, официальный сайт продукта [Электронный ресурс]. — URL: <https://java.com> (дата обращения: 20.05.2019).
- [13] Kraken, официальный сайт биржи [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.kraken.com> (дата обращения: 20.05.2019).
- [14] Kucoin, официальный сайт биржи [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.kucoin.com> (дата обращения: 20.05.2019).
- [15] Liquid, официальный сайт биржи [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.liquid.com> (дата обращения: 20.05.2019).
- [16] Poloniex, официальный сайт биржи [Электронный ресурс]. — URL: <https://poloniex.com> (дата обращения: 20.05.2019).
- [17] Prometheus, официальный сайт продукта [Электронный ресурс]. — URL: <https://prometheus.io> (дата обращения: 25.05.2019).
- [18] gson. [Электронный ресурс]. — URL: <https://github.com/google/gson> (дата обращения: 20.05.2019).
- [19] Межбиржевой арбитражер криптовалют, официальный сайт продукта [Электронный ресурс]. — URL: <https://algotrading.center/utility/программа-mezhbirzhevoj-arbitrazh-kriptoalyut.html> (дата обращения: 04.03.2019).
- [20] Страница в сети интернет, посвященная Arbitrage Crypto Trader [Электронный ресурс]. — URL: <https://medium.com/@kickico/the-preico-is-over-long-live-the-ico-868ff06cb0f3> (дата обращения: 04.03.2019).
- [21] Страница в сети интернет, посвященная объему торгов криптовалют [Электронный ресурс]. — URL: <https://ttrcoin.com/znamenie-obema-torgov-kriptoalyut-dlya-ih-likvidnosti>. 104 (дата обращения: 04.03.2019).

- [22] Страница в сети интернет, посвященная рыночной капитализации криптовалют [Электронный ресурс].— URL: <https://coinmarketcap.com> (дата обращения: 04.03.2019).