

Моделирование и верификация алгоритмов роботизированных торговых систем для управления криптоактивами

Проскуряков Александр Юрьевич

кандидат технических наук, доцент кафедры ЭиВТ, Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых», alexander.prosk.murom@gmail.com

Для предварительной оценки перспективы внедрения и эффективности разработки торговых роботов для активов, построенных на блокчейн технологиях было необходимо провести моделирование их поведения на рынке в условиях, приближенных к реальным. В соответствии с этим требовалось осуществить верификацию алгоритмической логики роботов, функционирующей согласно предложенной методологии проектирования торговых систем для управления криптоактивами.

В работе представлены результаты моделирования и верификации алгоритмов торгового робота с применением синтетических стресс-тестов. Приведенные синтетические стресс-тесты продемонстрировали высокие показатели эффективности, позволяющие подбирать оптимальные параметры конфигурации робота согласно условиям рынка и требованиям инвесторов. Определены границы применимости разрабатываемых систем управления ЦФА в соответствии с заданными размерами депозита, величиной шага изменения стоимости и получаемой прибыли.

Ключевые слова: верификация торговых алгоритмов, цифровые финансовые активы, принятие торговых решений, торговые роботы, торговые стратегии, криптовалюта.

Введение

К началу второго полугодия 2023 года существенно возрастет активность в сфере ЦФА и цифровых валют. Растет капитализация криптовалют до значений более 116 трлн в рублевом эквиваленте [1], все больше рассматриваются CBDC (central bank digital currency, цифровая валюта центрального банка) проекты национальных цифровых валют [2-5] с успешными кейсами внедрения законодательной базы [6, 7], формируется новый пул заявок для ETF (exchange traded fund, биржевой инвестиционный фонд) биткоина, включая BitWise и Black Rock с доступом к активам в размере более 30 триллионов долларов США, которые могут быть инвестированы в криптоактивы [8-12].

Возрастающий объем рынка ЦФА происходит одновременно с ростом скорости перемещения капитала, что косвенно связано с повсеместной алгоритмизацией и роботизацией торговых систем, сокращающих влияние человеческих факторов. Эти и другие аспекты говорят о необходимости разработки новых автоматических и автоматизированных торговых роботизированных систем. Учитывая складывающуюся конъюнктуру рынка цифровых финансов и пилотный уровень таких разработок в поле криптоактивов требуется уделить существенное внимание подготовке, тестированию и моделированию предлагаемых торговых алгоритмов с целью их верификации. Это в свою очередь позволит контролировать инвестиционные риски и потери покупательской способности активов, поможет принимать эффективные и своевременные решения по управлению и диверсификацией всего портфеля.

Таким образом, научную новизну данной работы составляют модель и метод автономного управления криптоактивом, а также моделирование и верификация алгоритмов торгового робота с применением синтетических стресс-тестов, позволяющих определить границы эффективности разрабатываемых систем управления ЦФА.

1. Модель и метод автономного управления криптоактивами

Предлагаемая методология управления торговыми операциями с криптоактивами состоит из согласованных алгоритмов, моделей и методов, обеспечивающих обработку и анализ данных стоимостных показателей [13, 14] с последующим прогнозированием курсов цифровых валют и принятием торговых решений [15-19].

На рисунке 1 приведена разработанная модель управления цифровыми финансовыми активами и

криптовалютами. В качестве объекта управления алгоритмических систем управления выступают финансовые активы цифровой экономики.

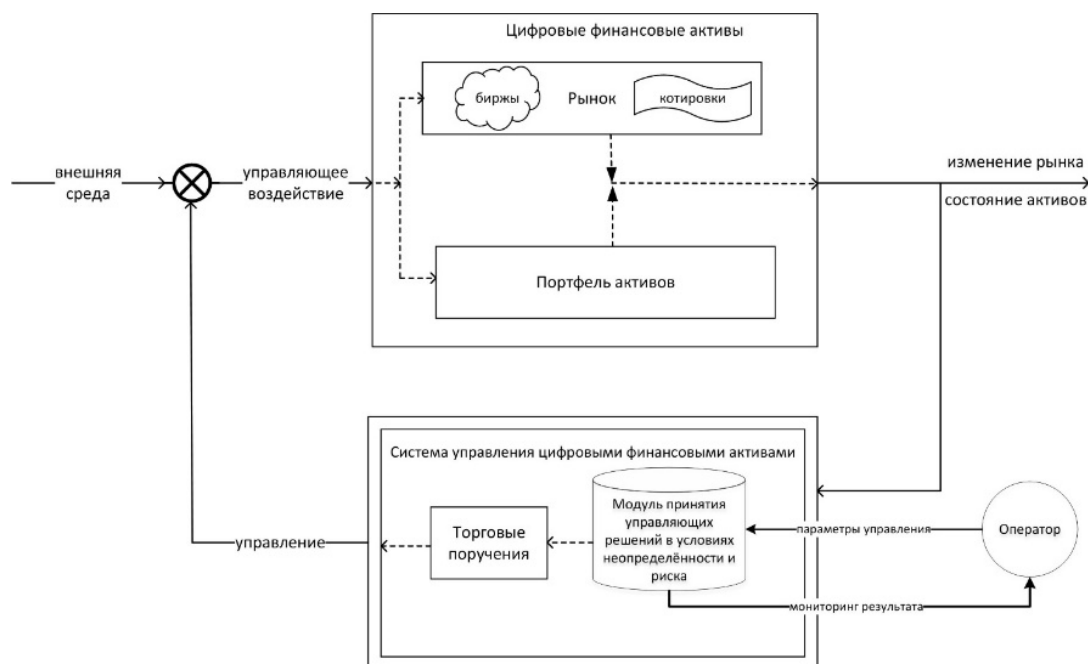


Рисунок 1 – Модель управления ЦФА

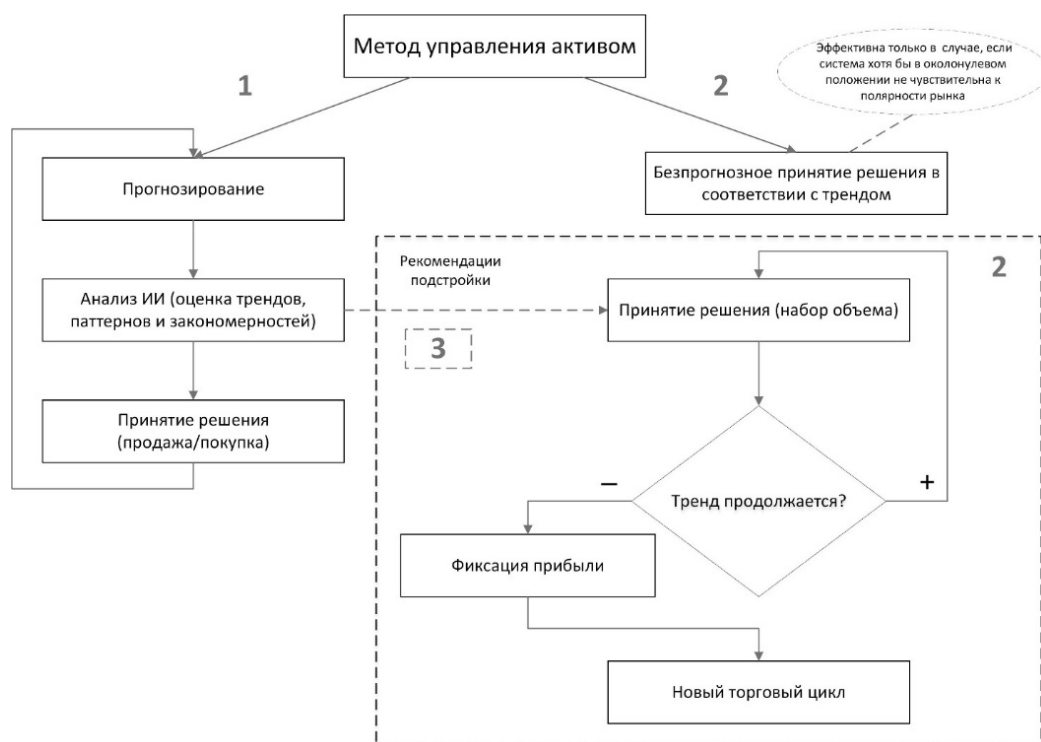


Рисунок 2 – Алгоритмы комбинированного метода управления активом

В соответствии с моделью управлению показанной на рисунке 1, исходной информацией для принятия решений по осуществлению торговых операций или управлению криптоактивами является матрица параметров, определяющих чувствительность системы к возмущающим воздействиям внешней среды и закладывающих требования к ожидаемым результатам управления. Возмущающим воздействием является состояние рынка с постоянным динамическим изменением, отраженным в котировках и курсах криптоактивов.

Управляющая система, реализованная в виде программного кода, посылает воздействие в виде набора поручений на осуществление торговых сделок. Обратной связью выступает состояние объекта управления, то есть изменения депозитарного криптоактива, что вызывает необходимость в осуществлении корректировки воздействий управляющей системы в дальнейшем.

Управляющее воздействие создает торговые поручения или приказы благодаря модулю принятия

управляющих решений в условиях неопределенности и риска. Основу модуля составляют алгоритмы прогнозирования ИНС и безпрогнозного принятия решения в соответствии с трендом [20], приведенные на рисунке 2 и реализующие комбинированный метод управления активом.

Стратегия, показанная на рисунке 2, предполагает практически полное отсутствие риска, так как реализована на спотовом не маржинальном рынке и соответственно не несет рисков потерь. Безпрогнозное принятие решения в соответствии с трендом имеет высокую эффективность и устойчивость в условиях неопределенности и риска при широких диапазонах изменения цен криптоактивов и высокой волатильности. Анализ вариационных структур с помощью искусственного интеллекта и нейронных сетей позволяет заранее и в режиме реального времени осуществлять подстройку параметров робота, что повышает эффективность безпрогнозного принятия решений и модуля управляющих решений в составе системы управления цифровыми финансовыми активами. В таком случае возникает только два ограничения, связанных со сложностью предсказания глубины тренда и направления, поэтому необходимо рассчитывать безопасный расход депозита эмпирически на исторических данных благодаря синтетических тестам или тестам в режиме реального времени.

Конфигурирование алгоритмов торговых роботов в составе модуля принятия управляющих решений системы управления ЦФА в модели, показанной в виде диаграммы на рисунке 1 и определение основных фундаментальных параметров автоматической торговой роботизированной системы приводит к необходимости верификации предложенного решения с помощью серии стресс-тестов. Подобные

расчеты и моделирование позволят выявить границы и пределы возможностей торгового робота, чтобы учесть риски и рассчитать потенциал эффективности или доходности управляемого портфеля.

2. Моделирование и верификация алгоритмов торгового робота с применением синтетических стресс-тестов

Для выявления границ эффективности разрабатываемых систем управления ЦФА на базе трендового метода управления необходимо провести симуляционные синтетические стресс-тесты. Для этого требуется симулировать поведение робота в максимально экстремальной нагрузке при безоткатном падении или росте стоимости цифрового актива, при этом задается начальное состояние робота и объем доступных спотовых средств в торговой паре.

В начальном состоянии торгового робота определяется базовый и котируемый актив торговой пары, а также точка входа или начальная цена инициализации робота. В рассматриваемом примере базовый актив – биткоин в объеме одной единицы, а котируемый доллар США в объеме 1000 единиц, точка входа 827. При этом возможно получение своевременных значений котировок в режиме реального времени, однако, в таком случае потребуется слишком много времени для проведения тестирования и более эффективным будет применение платформы для тестирования с загрузкой исторических стоимостных значений [21]. Поэтому в симуляции искусственно формируется нисходящий безоткатный тренд, который позволяет оценить реакцию робота при таких нагрузках. В таблице 1 приведен стресс-тест на безоткатное обесценивание актива.

Таблица 1. Стресс-тест на безоткатное обесценивание актива

Стресс-тест на безоткатное обесценивание актива												
Покупка							Продажа					
Шаг	Шаг Цены %	Цена Покупки \$	% от ост. Делю	Куплено BTC	Остаток BTC	Остаток USD	% Профита	Средняя	Цена Фиксации \$	Е Объем BTC	Объем USD	Профит USD
0	5	785.65	10	0.12728314	1.12728314	900.00	5	785.65	824.93	0.12728314	100.00	5.00
1	10	746.37	20	0.24116806	1.36845120	720.00	3	759.94	782.74	0.36845120	280.00	108.40
2	15	634.41	30	0.34047255	1.70892375	504.00	5	699.65	734.63	0.70892375	496.00	304.80
3	20	507.53	40	0.39721798	2.10614173	302.40	8	630.66	681.11	1.10614173	697.60	551.81
4	25	380.65	50	0.39721798	2.50335970	151.20	5	564.60	592.83	1.50335970	848.80	740.04
5	25	285.49	50	0.26481198	2.76817169	75.60	3	522.80	538.48	1.76817169	924.40	876.53
6	25	214.11	50	0.17654132	2.94471301	37.80	2	494.78	504.67	1.94471301	962.20	943.64
7	25	160.59	50	0.11769422	3.06240723	18.90	2	475.71	485.22	2.06240723	981.10	981.82
8	25	120.44	50	0.07846281	3.14087004	9.45	2	462.69	471.94	2.14087004	990.55	1 000.91
9	25	90.33	50	0.05230854	3.19317858	4.73	2	453.80	462.88	2.19317858	995.28	1 010.46

Как видно из таблицы 1, имеется набор фундаментальных параметров торгового робота – шаг цены, процент от депозита и требуемый процент профита. Вектор шага цены зафиксирован в формате 5-10-15-20-25. Процент от депозита задан вектором 10-20-30-40-50. Требуемый профит 5-3-5-8-5-3-2.

В вышеуказанной таблице для мониторинга состояния торгового робота выведены поля: цена покупки, куплено базового актива биткоина, остаток биткоина, остаток котируемого актива. На каждой итерации формируется контр ордер фиксации прибыли с полями: средняя цена покупки, цена фиксации прибыли, задействованный объем котируемого

актива и профит, т.е. чистая прибыль с закрытого торгового цикла. Последнее возрастает с учетом возрастающего число итераций и глубины падения стоимости актива. Стоит отметить, что среднее значение при этом моделировании должно учитывать набранный объем позиции на каждой итерации или сделке, т.е. средневзвешанное значение.

Аналогичным образом, как и в симуляции на базе табличного процессора выше в таблице 1, осуществляются стресс-тесты на безоткатный рост. При отсутствии регулирования и низкой ликвидности рынок криптовалют может демонстрировать подобное поведение, поэтому также важно учитывать

возможность безоткатных резких всплесков стоимости.

Приведенные параметры в обоих случаях могут варьироваться для разных рыночных состояний, а также оценке риска разрабатываемого торгового робота и объеме задействованных спотовых средств.

В рамках проведенных исследований приводится моделирование падения стоимости или стресс-тест торговой пары ХЕМ/BTC с оценкой доли задействованного депозита, расчетом средневзвешанной стоимости купленного актива и потенциального профита от закрытого торгового цикла в заданной итерации глубины падения стоимости. В таблице 2 показана расчетная стратегия автоматического торгового робота при безоткатном падении рынка, с учетом фиксации прибыли в базовом и котируемом активе.

В приведенной таблице 2 на пяти итерациях падения торговой пары BTC/ХЕМ учтены параметры:

- остаток BTC, имеющийся в распоряжении робота после осуществления сделки на первой итерации;
- процент от депозита, отражающий объем задействованного для набора объема котируемого актива;
- цена ХЕМ, по которой произошла сделка на текущей итерации;
- объем ХЕМ, отражающий имеющийся совокупный объем базового актива с учетом набора объема на текущей итерации;
- объем BTC, отражающий расход котируемого актива для набора объема на заданной итерации; профит BTC, отражающий полученный профит в котируемом активе при закрытии торгового цикла на заданной итерации;
- % профита – требуемый процент в соответствии с вектором параметров Z торгового робота на заданной итерации.

Таблица 2
Падающий down-тренд

Down-trend (цель: купил / перепродал)						
Статус	Остаток BTC	% от Депозита	Цена ХЕМ	Объем ХЕМ	Объем BTC	Профит (BTC)
x	0.09000000	10	0.00006777	147.55791648	0.01000000	0.00220000
1	% Профита	Средняя (B)	Фиксация (B)	Е Объем ХЕМ	fix Объем ХЕМ	Профит (ХЕМ)
		22	0.00006777	0.00008268	147.55791648	32.46274163
Статус	Остаток BTC	% от Депозита	Цена ХЕМ	Объем ХЕМ	Объем BTC	Профит (BTC)
x	0.07650000	15	0.00005284	255.48826646	0.02350000	0.00728500
2	% Профита	Средняя (B)	Фиксация (B)	Е Объем ХЕМ	fix Объем ХЕМ	Профит (ХЕМ)
		31	0.00005831	0.00007638	403.04618295	124.94431671
Статус	Остаток BTC	% от Депозита	Цена ХЕМ	Объем ХЕМ	Объем BTC	Профит (BTC)
x	0.06120000	20	0.00003701	413.40178330	0.03880000	0.01590800
3	% Профита	Средняя (B)	Фиксация (B)	Е Объем ХЕМ	fix Объем ХЕМ	Профит (ХЕМ)
		41	0.00004752	0.00006701	816.44796625	334.74369616
Статус	Остаток BTC	% от Депозита	Цена ХЕМ	Объем ХЕМ	Объем BTC	Профит (BTC)
x	0.04590000	25	0.00002377	643.66848969	0.05410000	0.02759100
4	% Профита	Средняя (B)	Фиксация (B)	Е Объем ХЕМ	fix Объем ХЕМ	Профит (ХЕМ)
		51	0.00003705	0.00005595	1460.11645594	744.65939253
Статус	Остаток BTC	% от Депозита	Цена ХЕМ	Объем ХЕМ	Объем BTC	Профит (BTC)
x	0.03213000	30	0.00001521	905.32544379	0.06787000	0.02036100
5	% Профита	Средняя (B)	Фиксация (B)	Е Объем ХЕМ	fix Объем ХЕМ	Профит (ХЕМ)
		30	0.00002869	0.00003730	2385.44189973	709.63259992

Аналогичным образом было проведено моделирование торговой стратегии робота при безоткатном росте рынка, с учетом фиксации прибыли в базовом и котируемом активе.

В соответствии с этим предлагается в автоматических торговых стратегиях использовать адаптивную балансируемую фиксацию прибыли одновременно в базовом и котируемом активе. Это позволит получать прирост в каждом активе на парном трейдинге даже за один выполненный торговый цикл независимо от тренда.

Проведенные исследования позволяют получить представление о реакции торгового робота на экстремальные рыночные условия с целью установления границ и ценовых диапазонов применения, а также для подбора оптимальных параметров и настроек. Благодаря проведенному моделированию становится возможным проектирование и разработка алгоритмических торговых роботов для управления криптоактивами.

Заключение

В рамках работы была поставлена задача в виде тестов осуществить верификацию алгоритмов роботизированных торговых систем для управления активами, построенными на блокчейн-технологиях. Предложено использовать два способа осуществления таких тестов алгоритмов роботов для управления криптоактивами: с помощью моделирования рынка в условиях, приближенных к реальным и с применением тестирования на базе исторических данных временных рядов стоимостных показателей криптоактивов. Выбран способ с использованием исторических временных рядов, подающихся на вход разработанной платформы для тестирования, позволяющий подобрать оптимальные параметры для разных интервалов времени или таймфреймов.

В соответствии с методологией создана общая концептуальная схема управления активом, построенным на блокчейн технологиях. В соответствии со схемой и реализованными алгоритмами были проведены серии стресс-тестов, позволяющих осуществить регулировку и подобрать оптимальные параметры для настройки торговых роботов непосредственно перед началом их активации. Проведенные тесты показали высокую эффективность в условиях экстремальной волатильности и позволили выявить границы применимости проектируемых систем.

Литература

1. Интегратор финансовых рынков CoinGecko [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.coingecko.com/ru/global-charts> (дата обращения 28.03.2023).
2. Албычев, А.С. Среда исследований операционно-вычислительной архитектуры информационного обеспечения цифровой валюты центрального банка / А.С. Албычев, С.А. Кудж // Russian Technological Journal. 2023;11(3):7-16. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2023-11-3-7-16>.
3. Bindseil, Ulrich. Tiered CBDC and the Financial System (January, 2020). [Электронный ресурс] Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3513422> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3513422> (дата обращения 28.06.2023).
4. Franklin Allen, Xian Gu, Julapa Jagtiani, Fintech, Cryptocurrencies, and CBDC: Financial Structural

Transformation in China, *Journal of International Money and Finance*, Volume 124, 2022, 102625, ISSN 0261-5606, <https://doi.org/10.1016/j.jimonfin.2022.102625>. Available at <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261560622000286>.

5. Nández Alonso, S.L.; Jorge-Vazquez, J.; Reier Forradellas, R.F. Central Banks Digital Currency: Detection of Optimal Countries for the Implementation of a CBDC and the Implication for Payment Industry Open Innovation. *J. Open Innov. Technol. Mark. Complex.* 2021, 7, 72. <https://doi.org/10.3390/joitmc7010072>.

6. Концепция цифрового рубля - Банк России [Электронный ресурс]. 2021. Москва. Режим доступа: http://www.cbr.ru/Content/Document/File/120075/concept_08042021.pdf. (дата обращения 28.03.2023).

7. Цифровой рубль. Доклад для общественных консультаций [Электронный ресурс]. 2020. Москва. Режим доступа: http://www.cbr.ru/StaticHtml/File/112957/Consultation_Paper_201013.pdf. (дата обращения 28.03.2023).

8. Hamilton, C. (2023). Money is Morphing - Cryptocurrency can morph to be a sustainable alternative to traditional banking. *Notre Dame Journal of Law, Ethics & Public Policy*, 38.

9. Turi, A. N. (ed.). *Financial Technologies and DeFi: A Revisit to the Digital Finance Revolution*. – Springer Nature, 2023.

10. Sookram, P.C. (2023), "Blockchain and Crypto Exchange-traded Funds", Baker, H.K., Benedetti, H., Nikbakht, E. and Smith, S.S. (Ed.) *The Emerald Handbook on Cryptoassets: Investment Opportunities and Challenges*, Emerald Publishing Limited, Bingley, pp. 157-169, Available at <https://doi.org/10.1108/978-1-80455-320-620221011>.

11. Svoboda, A. Crypto Assets in Unit-Linked Life Insurance // *Journal of Insurance and Financial Management*. – 2023. – vol. 7. – no. 5.

12. Gemayel R., Franus T., Bowden J. Price discovery between Bitcoin spot markets and exchange traded products // *Economics Letters*. – 2023. – vol. 228. – p. 111152.

13. Кропотов, Ю.А. Обработка временных рядов с применением вейвлет-преобразований для повышения точности представления информации / Ю.А. Кропотов, А.А. Белов, А.Ю. Проскуряков // *Вестник Брянского государственного технического университета*. 2018. № 8 (69), с. 67-75.

14. Проскуряков, А.Ю. Функционально-дифференциальные модели экономических игр с запаздыванием в условиях цифровых технологий / А.Ю. Проскуряков, В.А. Ермолаев // *РИСК: Ресурсы, Информация, Снабжение, Конкуренция*, 2021. №1, с. 99-102.

15. Белов, А.А. Прогнозирование изменений параметров временных рядов в цифровых информационно-управляющих системах / А.А. Белов, Ю.А. Кропотов, А.Ю. Проскуряков // *Информационные системы и технологии*. – Орел: ОрелГТУ, 2019. №6(116). с. 55-65.

16. Кропотов, Ю. А. Прогнозирование изменений параметров временных рядов в цифровых информационно-управляющих системах / Ю.А. Кропотов, А.А. Белов, А.Ю. Проскуряков // *Системы управления, связи и безопасности*. 2017. №2, с. 1-17.

17. Проскуряков, А.Ю. Прогнозирование изменения параметров временных рядов в задачах цифровой экономики. Сборник научных трудов III Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития радиотехнических и инфокоммуникационных систем» «РАДИОИНФОКОМ-2017», МИРЭА, 2017, Часть 1. с. 80-93. ISBN 978-5-90363-127-8.

18. Kropotov, Y.A. Method for forecasting changes in time series parameters in digital information management systems / Y.A. Kropotov, A.Y. Proskuryakov, A.A. Belov // *Computer Optics*, 2018, Vol. 42, no. 6, P. 1093-1100 (DOI: 10.18287/2412-6179-2018-42-6-1093-1100).

19. Proskuryakov, A.Y. Research and Forecasting of Changes in the Parameters of Time Series and Continuous Functions in Information Systems / A.Y. Proskuryakov, Y.A. Kropotov // 2018 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC) Publisher: IEEE DOI: 10.1109/RPC.2018.8482226.

20. Proskuryakov, A. Predictive-Free Methods for Digital Financial Asset Management and Delayed Functional-Differential Economic Game Models / A. Proskuryakov, D. Beylekchi, S. Uvaisov // *Proceedings of ITNT 2021 – 7th IEEE International Conference on Information Technology and Nanotechnology*, 2021 DOI 10.1109/ITNT52450.2021.9649433.

21. База данных котировок // Финан.ру — финансовый портал [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.finam.ru/profile/mosbirzhafyuchersy/si/export> (дата обращения 29.03.2023).

Modeling and verification of robotic trading systems algorithms for cryptoasset management

Proskuryakov A.Yu.

Murom Institute (branch) "Vladimir State University named after Alexander G. and Nikolai G. Stoletov"

For a preliminary assessment of the prospects of implementation and efficiency of the development of trading robots for assets based on blockchain technologies, it was necessary to simulate their behavior in the market under conditions close to real time. Accordingly, it was necessary to verify the algorithmic logic of robots functioning in line to the proposed methodology of designing trading systems for cryptoasset management.

The paper presents the results of modeling and verification of trading robot algorithms using synthetic stress tests. These synthetic stress tests demonstrated high performance indicators, allowing to select the optimal parameters of the robot configuration according to the market conditions and investors' requirements. The boundaries of applicability of the developed digital financial assets control systems were determined in accordance with the given deposit size, value step and profit.

Keywords: trading algorithms verification, digital financial assets, trading decision making, trading robots, trading strategies, cryptocurrency.

References

1. CoinGecko. Financial markets integrator [Electronic resource]. URL: <https://www.coingecko.com/ru/global-charts> (access date: 28.03.2023).
2. Albychev, A.S. Research environment of operational and computational architecture of information support for digital currency of the central bank / A.S. Albychev, S.A. Kudz // *Russian Technological Journal*. 2023, 11(3):7-16. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2023-11-3-7-16>.
3. Bindseil, Ulrich. Tiered CBDC and the Financial System (January, 2020). [Electronic resource]. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3513422> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3513422> (access date: 28.03.2023).
4. Franklin Allen, Xian Gu, Julapa Jagtiani, Fintech, Cryptocurrencies, and CBDC: Financial Structural Transformation in China, *Journal of International Money and Finance*, Volume 124, 2022, 102625, ISSN 0261-5606, <https://doi.org/10.1016/j.jimonfin.2022.102625>. Available at <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261560622000286>.

5. Nájuez Alonso, S.L.; Jorge-Vazquez, J.; Reier Forradellas, R.F. Central Banks Digital Currency: Detection of Optimal Countries for the Implementation of a CBDC and the Implication for Payment Industry Open Innovation. *J. Open Innov. Technol. Mark. Complex.* 2021, 7, 72. <https://doi.org/10.3390/joitmc7010072>.
6. CONCEPTION OF THE DIGITAL RUBLE - Bank of Russia [Electronic resource]. 2021. Moscow. URL: http://www.cbr.ru/Content/Document/File/120075/concept_08042021.pdf (access date: 28.03.2023).
7. Digital ruble. Report for public consultations [Electronic resource]. 2020. Moscow. URL: http://www.cbr.ru/StaticHtml/File/112957/Consultation_Paper_201013.pdf (access date: 28.03.2023).
8. Hamilton, C. (2023). Money is Morphing - Cryptocurrency can morph to be a sustainable alternative to traditional banking. *Notre Dame Journal of Law, Ethics & Public Policy*, 38.
9. Turi, A. N. (ed.). *Financial Technologies and DeFi: A Revisit to the Digital Finance Revolution*. – Springer Nature, 2023.
10. Sookram, P.C. (2023), "Blockchain and Crypto Exchange-traded Funds", Baker, H.K., Benedetti, H., Nikbakht, E. and Smith, S.S. (Ed.) *The Emerald Handbook on Cryptoassets: Investment Opportunities and Challenges*, Emerald Publishing Limited, Bingley, pp. 157-169, Available at <https://doi.org/10.1108/978-1-80455-320-620221011>.
11. Svoboda, A. Crypto Assets in Unit-Linked Life Insurance // *Journal of Insurance and Financial Management*. – 2023. – vol. 7. – no. 5.
12. Gemayel R., Franus T., Bowden J. Price discovery between Bitcoin spot markets and exchange traded products // *Economics Letters*. – 2023. – vol. 228. – p. 111152.
13. Kropotov, Yu. A. Processing of time series using wavelet transforms to improve the accuracy of information representation / Yu.A. Kropotov, A.A. Belov, A.Yu. Proskuryakov // *Bulletin of Bryansk State Technical University*. 2018. no. 8 (69), pp. 67-75.
14. Proskuryakov, A.Yu. Functional-differential models of economic games with lagging in digital technology / A.Yu. Proskuryakov, V.A. Ermolaev // *RISK: Resources, Information, Supply, Competition*, 2021. no. 1, pp. 99-102.
15. Belov, A.A. Prediction of changes in the parameters of time series in digital information and control systems / A.A. Belov, Yu.A. Kropotov, A.Yu. Proskuryakov // *Information Systems and Technologies*. - Orel: Orel State Technical University, 2019, no. 6(116), pp. 55-65.
16. Kropotov, Yu.A. Prediction of changes in the parameters of time-series in digital information and control systems / Yu.A. Kropotov, A.A. Belov, A.Yu. Proskuryakov // *Control, communication and security systems*, 2017, no. 2, pp. 1-17.
17. Proskuryakov, A.Yu. Predicting changes in the parameters of time-series in the tasks of digital economy. *Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference "Actual Problems and Prospects of Development of Radio Engineering and Infocommunication Systems" "RADIOINFORMCOM-2017"*, MIREA, 2017, Part 1. pp. 80-93. ISBN 978-5-90363-127-8.
18. Kropotov, Y.A. Method for forecasting changes in time series parameters in digital information management systems / Y.A. Kropotov, A.Y. Proskuryakov, A.A. Belov // *Computer Optics*, 2018, Vol. 42, no. 6, P. 1093-1100 (DOI: 10.18287/2412-6179-2018-42-6-1093-1100).
19. Proskuryakov, A.Y. Research and Forecasting of Changes in the Parameters of Time Series and Continuous Functions in Information Systems / A.Y. Proskuryakov, Y.A. Kropotov // 2018 3rd Russian-Pacific Conference on Computer Technology and Applications (RPC) Publisher: IEEE DOI: 10.1109/RPC.2018.8482226.
20. Proskuryakov, A. Predictive-Free Methods for Digital Financial Asset Management and Delayed Functional-Differential Economic Game Models / A. Proskuryakov, D. Beylekchi, S. Uvaisov // *Proceedings of ITNT 2021 – 7th IEEE International Conference on Information Technology and Nanotechnology*, 2021 DOI 10.1109/ITNT52450.2021.9649433.
21. Quote Database // Finam.ru - financial portal [Electronic resource]. URL: <https://www.finam.ru/profile/mosbirzha-fyuchersy/si/export> (access date: 29.03.2023).