

МОДЕЛЮВАННЯ ІНДИКАТОРІВ-ПЕРЕДВІСНИКІВ КРИЗ НА КРИПТОРИНКУ ЗАСОБАМИ ТЕОРІЇ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

Біткоїн являє собою електронну, та децентралізовану готівку, яка не має контролю з боку держави, банків, чи сторонніх організацій і покладається лише на криптографічні протоколи і розподілені мережі користувачів, що займаються видобутком, зберіганням, і виконують транзакції [1].

Ендо- та екзогенні фактори впливу на крипторинку зумовлюють небувалу волатильність цін на цьому ринку, що призводять до помітних втрат і дестабілізації світової фінансової системи в цілому. Отже, виявлення можливих трендів руху криптовалюти, побудова і моделювання індикаторів стійкості та попередження можливих кризових станів є надзвичайно актуальною проблемою. Наукова новизна цієї роботи полягає у тому, що вперше для упередження кризових явищ на ринку криптовалют використано рекурентний аналіз і ентропію перестановок [2]. Розрахунок цих мір складності системи в динаміці дозволяє використовувати їх у якості передвісників кризових явищ на крипторинку.

Ентропія перестановок (PermutationEntropy - PEn) [3]. Перестановочна ентропія вибірки порядку n визначається як Шеннонівська ентропія $n!$ перестановок, що визначаються відношеннями n посплідовних значень вибірки. Так, наприклад, перестановочна ентропія порядку $n = 2$, визначається так. Нехай у вибірці $\{x_k\}$ міститься N значень ряду, тобто $1 \leq k \leq N$. Порівнюємо два сусідніх значення x_k і x_{k+1} . Знаходимо число m_1 випадків у вибірці, коли $x_k < x_{k+1}$, і число випадків у вибірці m_2 , коли $x_{k+1} < x_k$. Якщо всі x_k розрізніми, тобто немає рівних значень x_k , тоді $m_1 + m_2 = N$, $p_{2,1} = m_1 / N$, $p_{2,2} = m_2 / N$, $m_1 + m_2$. Перестановочна ентропія порядку $n=2$, дорівнює: $H_2 = -p_{2,1} \log_2 p_{2,1} - p_{2,2} \log_2 p_{2,2}$.

Рекурентність (повторюваність) станів в значенні проходження подальшої траєкторії достатньо близько до попередньої є фундаментальною властивістю дисипативних динамічних систем. *Рекурентні діаграми* (Recurrenceplots) були введені для дослідження динаміки складних систем, яка представляється у m -вимірному фізичному просторі траєкторією фазового простору $X_i \in R^m$. Для кількісного опису динаміки рекурентної діаграми можуть бути використанні як вертикальні, так і горизонтальні лінії. Найпростіша міра кількісного аналізу, яка представляє собою скупчення рекурентних точок на рекурентній діаграмі називається коефіцієнтом рекурентності (recurrencerate - RR), що може бути представлений, як ймовірність того, що будь-який стан системи буде повторюватись. Частина рекурентних точок, що формують діагональні лінії мінімальної довжини, називається мірою *визначеності* (Determinism measure - DET).

За весь період достовірно зафіксованих у відкритому доступі (<https://finance.yahoo.com/cryptocurrencies>) щоденних значень ціни біткоіна (BTC) у відносних одиницях (16.07.2010 – 10.02.2018) зафіксовано п'ять кризових явищ:

- 1). Обвал ринку в квітні 2013 р.
- 2). Бульбашка 2013 р.
- 3). Крах біткоін біржі Mt. Gox у 2014 р.
- 4). Літній розпродаж 2017 р.
- 5). Великий «Китайський холод»

Для кожної кризи проводився їх кількісний аналіз: знаходились ентропія перестановок PEn та рекурентні міри RR та DET. Розрахунки проводились у рамках алгоритму рухомого вікна. Для цього обиралась частина ряду (вікно), для якого знаходились міри складності,

потім вікно зміщувалось вздовж часового ряду з кроком в один день і процедура повторювалась до вичерпання всього досліджуваного ряду. Далі, співставляючи динаміку власне часового ряду та відповідної міри складності, можна судити про характерну поведінку мір складності при змінах на крипторинку. Якщо та чи інша міра складності поводить себе визначеним чином для всіх кризових періодів, наприклад, зменшується чи зростає у передкризовий період, то вона може слугувати індикатором-передвісником такого кризового явища.

На рисунку у якості приклада наведена динаміка досліджуваних мір складності для четвертої та п'ятої кризи період з(22.04.2017 по 31.07.2017рр.) та(15.07.2017 по 10.02.2018рр.)

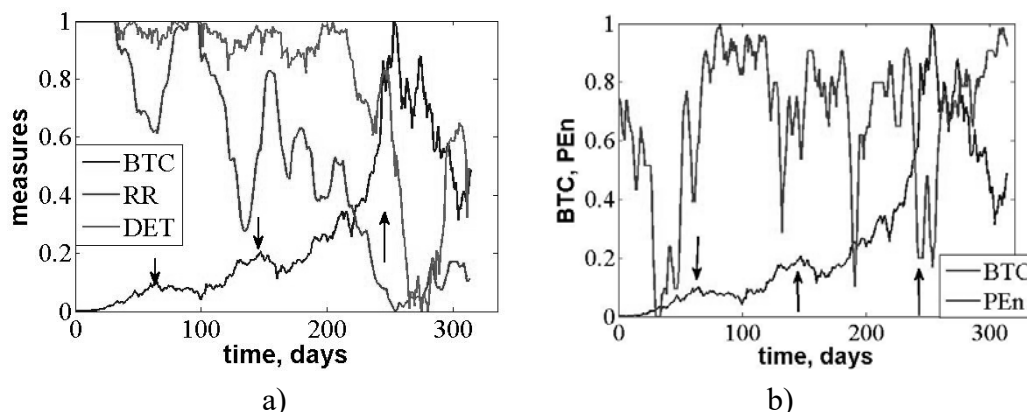


Рисунок. Динаміка мір рекурентності RR та детермінованості DET (a) і ентропії перемішування PEn (b) для четвертої та п'ятої криз. Стрілками відмічені: початок четвертої, п'ятої криз та пік п'ятої кризи відповідно.

З рисунку видно, що у передкризовий період вказані індикатори помітно спадають, сигналізуючи про можливу кризу. Обидва індикатори прогнозують подальше падіння ціни.

Таким чином, введені міри складності є індикаторами-передвісниками кризових явищ на крипторинку. Зрозуміло, що теорія складних систем дає широкий спектр методів і моделей для побудови альтернативних індикаторів пошук яких і планується проводити у майбутньому.

Список використаних джерел

1. Satoshi Nakamoto. Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System / NakamotoSatoshi - [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>
2. Соловйов В.М. Моделювання складних систем / В.М.Соловйов, О.А.Сердюк, Г.Б.Данильчук // Навчально-методичний посібник для самостійного вивчення дисципліни. – Черкаси : Видавець О. Ю. Вовчок, 2016. – 204 с.
3. Bandt, C., Pompe, B.: Permutation entropy: A natural complexity measure for time series. Phys. Rev. Lett. 88(17), 2-4 (2002)

Науковий керівник: Соловйов В.М., д.ф-м.н, професор, завідувач кафедри інформатики та прикладної математики ДВНЗ «Криворізький державний педагогічний університет»