

# Содержание

<b>Аннотация</b>	<b>3</b>
<b>Ключевые слова</b>	<b>3</b>
<b>1 Введение</b>	<b>4</b>
1.1 Описание предметной области . . . . .	4
1.2 Постановка задачи . . . . .	5
1.3 Структура работы . . . . .	6
<b>2 Обзор литературы</b>	<b>7</b>
<b>3 Измерители редкости</b>	<b>8</b>
3.1 Описание популярных измерителей . . . . .	8
3.2 Новый измеритель ROAR . . . . .	10
<b>4 Описание бенчмарка</b>	<b>11</b>
4.1 Датасет . . . . .	11
4.2 Измерение перформанса . . . . .	11
4.3 Используемые измерители . . . . .	12
<b>5 Эксперименты</b>	<b>12</b>
5.1 Верификация SOTA-измерителей . . . . .	13
5.2 Оценка измерителей на бенчмарке . . . . .	13
<b>6 Выводы</b>	<b>14</b>
<b>Список литературы</b>	<b>16</b>

## **Аннотация**

Измерение редкости NFT является важной задачей, так как позволяет оценить стоимость соответствующего токена на рынке и детектировать возможную накачку цен. На данный момент в открытом доступе существует множество популярных реализаций измерителей редкости (Rarity.tools, OpenRarity, NFTGo, Kramer и другие), поэтому возникает задача оценки и сравнения самих измерителей. Однако, хотя теоретические методы для оценки эффективности измерителей редкости и существуют, они требуют доступ к значительному числу NFT коллекций, что затруднительно для человека, не специализирующегося в технологии блокчейна. Целью данной работы является создание бенчмарка, состоящего из 100 NFT коллекций, который позволит оценивать эффективность измерителей. Также, используя данный бенчмарк, планируется исследовать другие (в том числе и неинтерпретируемые) измерители редкости и сравнить их с state-of-the-art методами.

## **Ключевые слова**

Блокчейн, NFT, Редкость, Измерители редкости, Бенчмарк

# 1 Введение

## 1.1 Описание предметной области

Термин блокчейн впервые появился как название распределенной базы данных транзакций, используемый и реализованный для криптовалюты Bitcoin [7, 2]. Однако область применения данной технологии оказалась гораздо шире – сейчас блокчейн используется для обеспечения прозрачности в биомедицине [6], биржах, цепочках поставок [3] и т.д. Отдельную нишу заняли NFT — так называемые невзаимозаменяемые токены.

NFT — это определенный вид цифрового актива, каждый экземпляр которого уникален и не может быть заменен никакими другими токенами [9] или разделен. У каждого NFT есть уникальный цифровой идентификатор (сертификат), с помощью которого производится удостоверение права собственности и подлинности токена, благодаря чему NFT приобрело популярность в искусстве, где каждый токен соответствует произведению искусства, а также в других областях, где требуется подтверждение права владения через цифровой ресурс — например артефакты в видеоиграх, атрибуты виртуальной реальности или коллекции на блокчейне. Однако невзаимозаменяемые токены можно применять не только для удостоверения правообладания на соответствующий цифровой актив, но и в качестве инвестиции.

Большинство из NFT, отвечающие за произведения искусства, являются частью коллекции в рамках одного смарт-контракта [2] и могут быть куплены или проданы в любой момент времени на одной из множества онлайн-платформ, таких как OpenSea, Solarant и Kusama [13, 14]. При этом в рамках одной коллекции токены определяются набором уникальных черт или атрибутов (traits), которые фиксированы для данной конкретной коллекции. В зависимости от того, какие значения атрибутов принимает заданный токен, его можно считать более или менее редким относительно других элементов коллекции. На практике, стоимость токена неразрывно связана с его редкостью внутри коллекции: чем более редкий токен, тем, как правило, выше его стоимость на рынке. Именно поэтому возникает важная задача оценки редкости токенов по набору его черт.

На данный момент существует множество способов оценивать редкость токена (rarity), используя значения его атрибутов. Наиболее известными на данный момент являются измерители редкости Rarity.tools, OpenRarity, NFTGo, Kramer. Но недостатком является отсутствие простого и объективного метода оценивания измерителей редкости. Целью данной работы является составление бенчмарка на основе существующих популярных методов измерения редкости, который позволит оценивать новые измерители более объективно и срав-

нивать их с state-of-the-art методами. Также, в цели данной работы входит построение новых измерителей, которые потенциально будут лучше оценивать редкость токенов, чем известные подходы.

## 1.2 Постановка задачи

Будем рассматривать NFT коллекцию  $\mathbb{X}_N = \{X_n\}_{n=1}^N$ , состоящую из  $N$  токенов и  $T$  атрибутов (traits). Таким образом каждый токен  $X_i$  описывается с помощью  $T$  чисел (значений атрибутов) —  $X_i = (x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,T})$ .

**Определение 1.** Метрикой редкости для заданной коллекции  $\mathbb{X}_N$  называется произвольная неотрицательная функция  $R : \mathbb{X}_N \rightarrow \mathbb{R}_{\geq 0}$ .

Большее значение функции редкости  $R(X_i)$  соответствует большей редкости данного токена и, потенциально, более высокой стоимости.

Для того, чтобы оценить качество данного измерителя (функции редкости)  $R$ , необходимо иметь информацию о совершенных сделках. Пусть всего было совершено  $D$  сделок с использованием токенов из множества  $\mathbb{X}_N$ ,  $d$ -ая из которых была совершена в момент времени  $t_d$ , в которой продавался токен  $t_d$  за стоимость  $p_d$ . Таким образом множество сделок задается как  $\mathbb{D} = \{(t_d, i_d, p_d)\}_{d=1}^D$ . Введем теперь три функции:

**Определение 2.** Назовем функцией относительной редкости такую функцию  $\varphi : [0, +\infty) \times [0, +\infty) \rightarrow \mathbb{R}$ , которая удовлетворяет следующим трем свойствам:

- $\varphi(R_1, R_2) \rightarrow +\infty$  при  $R_1 \rightarrow +\infty$
- $\varphi(R_1, R_2) \rightarrow +\infty$  при  $R_2 \rightarrow 0$
- $\varphi(R_1, R_2) = -\varphi(R_2, R_1)$

**Определение 3.** Назовем функцию  $\psi : (0, +\infty] \times (0, +\infty)$  функцией относительной стоимости, если она удовлетворяет тем же 3 свойствам, что и в определении 1.

**Определение 4.** Пусть  $k : \mathbb{R} \times \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}_{\geq 0}$ . Тогда  $k$  назовем весовой функцией по времени, если  $\forall t_1, t_2, t_3, t_4$ , т.ч.  $|t_1 - t_2| < |t_3 - t_4| \implies k(t_1, t_2) < k(t_3, t_4)$ .

Теперь можно сформулировать показатель эффективности функции редкости  $R$  на определенной коллекции  $\mathbb{X}_N$ . Пусть вектора  $\varphi, \psi, k \in \mathbb{R}^{P \times 1}$ , где  $P = \frac{N(N-1)}{2}$  определены следующим образом:

$$\varphi_p = \varphi(R(X_{i_p}, R(X_{j_p})))$$

$$\psi_p = \psi(p_{i_p}, p_{j_p})$$

$$k_p = k(t_{i_p}, t_{j_p})$$

Где  $(i_p, j_p)_{p=1}^P$  пробегают все возможные пары номеров токенов. Тогда:

**Определение 5.** Показателем эффективности (performance measure) функции редкости  $R$  относительно коллекции  $\mathbb{X}_N$  называется:

$$F(R, \mathbb{X}_N) = \text{corr}(\varphi, \psi, k)$$

, где  $\text{corr}(\varphi, \psi, k)$  — взвешенная корреляция по весам  $k$ .

В данной работе будет использовать:

- $\varphi(R_1, R_2) = \ln \frac{1+R_1}{1+R_2}$  в качестве функции относительной редкости
- $\psi(p_1, p_2) = \ln \frac{p_1}{p_2}$  в качестве функции относительной редкости
- $k(t_1, t_2) = \frac{3}{4} \left( 1 - \frac{|t_1 - t_2|}{h} \right)^2$ , где  $|t_1 - t_2| < h = 7$  (дней). Данная функция называется ядром Епанечникова и именно ее будем использовать в качестве весовой функции по времени.

Целью данной работы является построение бенчмарка, по которому можно оценивать показатель эффективности измерителей редкости — функцию  $F(R, \mathbb{X}_N)$ , а также построение метрики редкости, которая будет лучше (то есть больше относительно функции  $F$ ) текущих state-of-the-art подходов.

### 1.3 Структура работы

Работа организована следующим образом. В разделе 1 приведено описание предметной области, а также формальная постановка задачи. Обзор соответствующей литературы приведен в разделе 2. Описание основных из существующих методов измерения редкости, а также предложенного в данной работе метода ROAR можно найти в разделе 3. Описание бенчмарка, а также используемые методы оценки качества измерителей приведены в разделе 4. Проведенные эксперименты и верификация используемых реализаций измерителей подробно описаны в разделе 5. Выводы и основные результаты работы разъяснены в разделе 6.

## 2 Обзор литературы

Главная цель данной работы состоит в составлении бенчмарка, с помощью которого можно оценивать эффективность измерителей редкости, а также в построении и исследовании новых измерителей. Так или иначе, при оценивании стоимости NFT в рамках коллекции используется связь между редкостью токена и его стоимостью.

Связь между стоимостью и редкостью имеет место не только в контексте невзаимозаменяемых токенов, но и во многих других областях. В статье «The market value of rarity» [4] авторы исследуют связь между редкостью и ценой на примере чеканных монет и приходят к выводу, что редкость обладает повышенным спросом со стороны покупателей, непосредственно влияя на стоимость. Утверждается, что потребители могут ценить эксклюзивность обладания редким предметом, следовательно редкость сама по себе является показателем качества.

Еще одной причиной, почему измерение редкости представляет из себя важную задачу, является избежание проблем с накачиванием стоимости NFT. В статье «NFT Wash Trading. Quantifying suspicious behaviour in NFT markets» [12], авторы подробно рассматривают подверженность рынка NFT мошенническим и манипулятивным схемам, таким как wash-trading. Wash-trading заключается в искусственном «накачивании» стоимости токенов, с помощью манипуляций с историей торгов (что создает мнимый спрос на NFT) или других методов. Метрики редкости дают возможность обходить такие схемы, детектируя несоответствие стоимости токена и его значения редкости.

На данный момент уже существует множество открытых реализаций измерителей редкости. Одним из наиболее популярных методов является Rarity.tools, основная идея которого заключается в аккумуляции редкости по каждому признаку независимо. Более подробно принцип работы Rarity.tools описан в статье «Ranking Rarity: Understanding Rarity Calculation Methods» [11]. В статьях «Proposal: Add Trait Count to OpenRarity» [10], «KRAMER: Interpretable Rarity Meter for Crypto Collectibles» [5] и «NFTGo: The World's Leading NFT Data Intelligence Provider» [8] подробно описывается принцип работы еще трех популярных методов — OpenRarity, KRAMER и NFTGo. Именно эти 4 измерителя были выбраны в качестве базовых для построения бенчмарка и с ними планируется сравнивать новые измерители.

## 3 Измерители редкости

В разделе 1 уже было приведено формальное определение измерителей редкости, а также способов их сравнения на основе взвешенной корреляции (показатели эффективности). В данном разделе будет приведен обзор уже существующих измерителей, а также представлен новый измеритель под названием ROAR (Rating over all Rarities).

### 3.1 Описание популярных измерителей

Все нижеперечисленные подходы к измерению редкости NFT подразумевают вычисление редкости на основе черт (traits) в рамках одной конкретной коллекции, которую мы обозначим  $\mathbb{X}_N = \{X_n\}_{n=1}^N$ , где  $X_n = (x_{n,1}, \dots, x_{n,T})$ . Таким образом  $N$  – число токенов в коллекции,  $T$  – количество различных атрибутов (черт),  $X_n$  обозначает  $n$ -й токен, а  $x_{n,i}$  обозначает значение  $i$ -го атрибута у  $n$ -го токена.

#### 1 Rarity.tools

Данный измеритель устроен следующим образом: сначала мы считаем «редкость» каждого конкретного атрибута по отдельности, а затем складываем получившиеся значения для получения итоговой редкости NFT. При этом «редкость» каждого атрибута считается как обратная частота его встречаемости в коллекции. Более формально:

**Определение 6.** Измеритель **Rarity.tools**  $R_{rt}$  для заданного токена  $X_k \in \mathbb{X}_N$  определяется как  $R_{rt} = \sum_{t=1}^T \text{score\_rt}_t(X_k)$ , где

$$\text{score\_rt}_t(X_k) = \frac{N}{|\{x \in X_{N,t} | x = x_{k,t}\}|}$$

#### 2 Kramer

Данный измеритель работает следующим образом: сначала мы считаем количество очков (значение  $\text{score\_kr}$ ) для каждого атрибута  $t$  по отдельности, затем берем средневзвешенное таким образом, чтобы максимизировать значение показателя эффективности  $F$ . Таким образом,  $\text{score\_kr}$  у некоторых атрибутов может оказаться более значимым, чем у других

Основной момент заключается в том, каким именно образом мы считаем очки для атрибутов. Делается это по турнирной схеме: допустим для атрибута  $t$  есть  $G$  уникальных значений, при этом  $N_1, \dots, N_G$  – количество вхождений соответствующего значения в коллекции. Тогда в попарном сравнении всех групп  $(i, j) : 1 \leq i < j \leq G$  группа  $i$

получает  $\frac{N_i}{N_i+N_j}$  очков. В конечном итоге группа  $k$  заработает  $a_k = \frac{1}{G-1} \left( -\frac{1}{2} + \sum_{g=1}^G \frac{N_g}{N_k+N_g} \right)$  очков. Обозначим  $s_k = \frac{a_k}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^G a_i N_i}$  — отнормированное количество очков по всем группам.

Индивидуальным счетом черты  $t$  у токена  $X_n$  назовем  $\text{score\_kr}_t(X_n) = s_k$ , где  $k$  — номер группы  $x_{n,t}$ . обозначим через  $\mathcal{R} = \{R | R = \sum_{t=1}^T \omega_t \cdot \text{score\_kr}_t, \omega_i \geq 0\}$ . Тогда формально измеритель можно определить как:

**Определение 7.** **Kramer** редкостью  $R_{\text{kr}}$  для токена  $X_n$  называется величина:

$$R_{\text{kr}}(X_n) = \sum_{t=1}^T \omega_t \cdot \text{score\_kr}_t(X_n)$$

, где  $(\omega_1, \dots, \omega_T)$  — решение оптимизационной задачи  $F(R; \mathbb{X}_N) \rightarrow \max_{R \in \mathcal{R}}$

### 3 OpenRarity

В данном подходе редкость каждого токена внутри коллекции оценивается с помощью информационной энтропии. К сожалению, в оригинальной статье авторы не предъявляют явной формулы для вычисления **OpenRarity**, поэтому в данной работе будет использоваться наша интерпретация данного измерителя, которая, стоит отметить, была верифицирована и согласуется с данными, которые доступны в открытом доступе.

Во-первых, выяснилось, что **OpenRarity** игнорирует пропущенные черты (которые в данных отмечены как **None**). Введем следующим обозначения для токена  $X_n \in \mathbb{X}_N$ :

$$P(x_{n,t}) = \frac{|\{x_{k,t} = x_{n,t}\}|}{N}$$

$$I(X_n) = \sum_{t=1}^T -\log P(x_{n,t}) \cdot [x_{n,t} \neq \text{None}]$$

$$\mathbb{E}I(X) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T -\log P(x_{n,t}) \cdot [x_{n,t} \neq \text{None}]$$

Ванильная версия **OpenRarity** предполагает подсчет редкость следующим образом:

$R_{\text{or},0}(X_n) = \frac{I(X_n)}{\mathbb{E}I(X)}$ . Однако, авторы предложили две эвристики:

1) **DoubleSort**: введем дополнительный атрибут «количество уникальных черт», то есть  $x_{n,0} = \sum_{t=1}^T [|\{x_{k,t} = x_{n,t}\}| = 1]$ . Затем, упорядочим токены по ключу  $(x_{n,0}, I(X_n))$ . Таким образом, информационная энтропия играет роль при сравнении токенов  $X_n$  и  $X_m$  только в том случае, если число уникальных черт у  $X_n$  и  $X_m$  совпадает, то есть  $x_{n,0} = x_{m,0}$ .



2) **Trait Count**: добавим дополнительный атрибут «число черт, не равных `None`», то есть  $x_{n,T+1} = \sum_{t=1}^T [x_{n,t} \neq \text{None}]$ . Затем, посчитаем ванильный **OpenRarity** над чертами  $1, \dots, T + 1$ .

Стоит отметить, что эвристика **DoubleSort** не считает значение редкости, а лишь ранжирует NFT друг относительно друга. Поэтому было решено ввести дополнительное слагаемое  $\text{reg}(X_n) = x_{n,0} \cdot \frac{(T+1) \log N}{I(X)}$ . Теперь можно формально определить итоговый измеритель **OpenRarity**:

**Определение 8.** Значением редкости **OpenRarity** для токена  $X_n \in \mathbb{X}_N$  называется величина  $R_{\text{or}}(X_n) = R_{\text{or},0}(X_n) + \text{reg}(X_n)$ .

#### 4 NFTGo

В данном подходе для оценки редкости NFT вычисляется расстояние Жаккара между набором значений атрибута конкретного токена и всей коллекцией. Расстоянием Жаккара для двух множеств  $A$  и  $B$  называется величина  $\text{JD}(A, B) = 1 - \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|}$ . В случае с NFT формула для вычисления расстояния Жаккара принимает вид:

$$\text{JD}(X_i, X_j) = \frac{\sum_{t=1}^T [x_{i,t} = x_{j,t}]}{2T - \sum_{i=1}^T [x_{i,t} = x_{j,t}]}$$

Формальное определение измерителя редкости **NFTGo** принимает вид:

**Определение 9.** **NFTGo** редкостью токена  $X_n \in \mathbb{X}_N$  называется величина  $R_{\text{go}}(X_k) = \text{normalize} \left( \sum_{n=1}^N (1 - \text{JD}(X_k, X_n)) \right)$ , где функция **normalize** масштабирует значения  $R_{\text{go}}$  таким образом, чтобы минимальное значение было равно 0, а максимальное — 100.

### 3.2 Новый измеритель ROAR

Для того, чтобы можно было более комплексно оценивать новые измерители редкости, мы решили предложить новый измеритель на основе уже существующих state-of-the-art подходов. Обозначим  $\mathcal{R}_{\text{tr}}$  — набор линейных комбинаций с неотрицательными коэффициентами следующих признаков: `score_rtt`, `score_krt`, `score_ort = -log P(xn,t)[xn,t ≠ None]`, `Rgo`, `traits_count`. Тогда:

**Определение 10.** **ROAR** редкостью  $R_{\text{tr}}$  конкретного токена  $X_n \in \mathbb{X}_N$  называется величина:  $R_{\text{tr}}(X_n) = R(X_n)$ , где  $R = \arg \max_{R \in \mathcal{R}_{\text{tr}}} F(R; \mathbb{X}_N)$

Таким образом, ROAR измеритель является наилучшей линейной комбинацией из всех признаков, которые используются state-of-the-art измерителями редкости. Данный измеритель является **обучаемым** и подбор соответствующих параметров линейной комбинации осуществляется на обучающей выборке.

## 4 Описание бенчмарка

### 4.1 Датасет

Датасет состоит из 100 NFT коллекций, данные которых были собраны с открытых маркетплейсов, таких как OpenSea. В собранном нами репозитории для каждой коллекции содержится: общая информация о коллекции (название, адрес соответствующего смарт контракта, так называемый **symbol** — сокращенное название, а также общий размер коллекции), информация про каждый из токенов, а также данные о торгах. Для каждого токена указаны тип и значение каждого из его атрибутов (traits), текстовое описание и разного рода метаинформация, которая в данной работе явным образом не используется. В отдельной папке для каждой коллекции собраны данные о торгах, которые содержат набор транзакций, в каждой из которой указаны: идентификатор продаваемого токена, стоимость заключенной сделки в ETH, номер блока (по которому можно оценить время сделки), а также другая метаинформация (адреса покупателей и получателей, название маркетплейса и т.д.).

Сами коллекции содержат от 2027 до 28170 NFT, каждый из которых описывается некоторым числом черт, колеблющимся от 2 до 67. Для фиксированной коллекции набор черт не меняется с течением времени, являясь, таким образом, неизменной характеристикой. При этом транзакции, разумеется, фиксированными не являются и совершаются с течением времени. Для исследовательских целей было решено рассматривать транзакции, совершенные до ноября 2023 года включительно. Данные торгов содержат от 971 до 130426 сделок на коллекцию.

### 4.2 Измерение перформанса

Некоторые измерители редкости, которые мы рассматриваем в данной работе, являются **обучаемыми** (например **Kramer** и **ROAR**), то есть им необходимо подобрать параметры, обладая частью информации о прошедших транзакциях. Таким образом, для измерения перформанса, данные о торгах будут разделены на обучающую и тестовую выборку в соотношении 70% и 30% соответственно. При этом в тестовую выборку пойдут 30% наиболее

поздних транзакций, то есть разбиение происходит в хронологическом порядке.

Для оценки качества нового измерителя редкости, было решено использовать функциональный показатель **performance profile**, который будет вычисляться на тестовой выборке. Формально его можно определить следующим образом:

**Определение 11.** Профилем производительности (**performance profile**) измерителя редкости  $R_m$  среди множества измерителей  $R_1, \dots, R_M$  называется отображение  $\rho : [0, 2] \rightarrow [0, 1]$ , определенное следующим образом:

$$\rho(\tau; R_m) = \frac{1}{C} \sum_{c=1}^C [F_{m,c} + \tau \geq \max \{F_i, c\}_{i=1}^M]$$

, где  $[A]$  — индикатор события  $A$ , а  $F_{m,c} = F(R_m, \mathbb{X}^c)$  — показатель эффективности измерителя  $R_m$  на коллекции  $\mathbb{X}^c$ .

По определению профиль производительности (**performance profile**) отображает долю коллекций, на которых данный измеритель редкости показывает результат «не сильно хуже», чем наилучший из state-of-the-art подходов. При этом под «не сильно хуже» понимается, что показатель эффективности  $F$  данного измерителя если и не превосходит наилучший из SOTA подходов, то по крайней мере отличается от него не больше чем на  $\tau$ , то есть  $F_{m,c} + \tau \geq \max \{F_i, c\}_{i=1}^M$ . Данная характеристика позволяет более качественно сравнить новый измеритель редкости с уже имеющимися, чем обычные численные характеристики, такие как усредненный показатель эффективности по всем коллекциям.

### 4.3 Используемые измерители

На данный момент, в ROAR бенчмарке для измерения **performance profiles** используется 4 наиболее популярных измерителя редкости — Rarity.tools, Kramer, OpenRarity, NFTGo, а также нововведенный ROAR. На тестовых данных измеряются показатели эффективности каждого из измерителей — матрица  $(F_{m,c})_{m,c=1}^{M,C}$ , после чего на графике отображаются **performance profiles**. По аналогии с precision-recall или ROC кривыми, измеритель тем лучше, чем ближе его кривая «прижимается» к левому верхнему углу  $(0, 0) - (1, 0) - (1, 1)$ .

## 5 Эксперименты

Для того, чтобы показать практическую применимость приведенного бенчмарка, а также сравнить между собой имеющиеся state-of-the-art измерители редкости + нововведен-

ный **ROAR**, были проведены численные эксперименты. Исходный код, а также инструкция для воспроизведения нижеприведенных результатов содержится в нашем репозитории [1].

## 5.1 Верификация SOTA-измерителей

Для проведения экспериментов было необходимо использовать программную реализацию каждого из известных state-of-the-art подходов: **OpenRarity**, **Kramer**, **Rarity.tools** и **NFTGo**. К сожалению, в открытом доступе не нашлось официальных реализаций данных методов, поэтому пришлось использовать свои собственные имплементации. Поэтому было крайне важно провести верификацию нашего программного кода, чтобы проверить, соответствуют ли наши оценки редкости истинным. Отмечу, что наша реализация основывается на формулах и подходах, описанных в разделе 3.1.

**Rarity.tools** предоставляет графический интерфейс, который отображает редкость каждого NFT в коллекции, а также отдельный вклад каждого атрибута. Мы проанализировали две произвольным образом выбранные коллекции на соответствие значений редкости — все значения совпали.

Метод **Kramer** описан в подробностях в [5], с приведенными значениями редкости для коллекций MAYC и BAYC. Значения редкости, вычисленные нашей реализацией оказались консистентны со значениями, приведенными в статье.

Истинные значения редкости **OpenRarity** для двух эвристик (**DoubleSort** и **Trait Count**) приведены на маркетплейсе OpenSea. Наши значения в точности совпали с указанными на сайте.

**NFTGo** на своем сайте предоставляет доступ к API для получения редкости токенов. Мы обнаружили расхождения нашей реализации и истинной в небольшом проценте коллекций и NFT ( $< 5\%$ ), что указывает на возможные ошибки в методах или данных с чьей-либо стороны. Тем не менее, было решено не отказываться от нашей реализации из-за очень маленького процента несоответствий.

## 5.2 Оценка измерителей на бенчмарке

Профили производительности (**performance profiles**) четырех state-of-the-art методов, а также нововведенного метода **ROAR** представлены на графике 5.1. Как можно видеть, измеритель **ROAR** показывает лучший результат примерно на половине тестовой выборки (даже чуть больше половины), при этом никогда не отставая от наилучшего измерителя более чем на 0.2. Следующий по профилю производительности за **ROAR** следует **Kramer**,

а затем **Rarity.tools**. Метод **NFTGo**, как следует из графика, показывает наихудший перформанс.

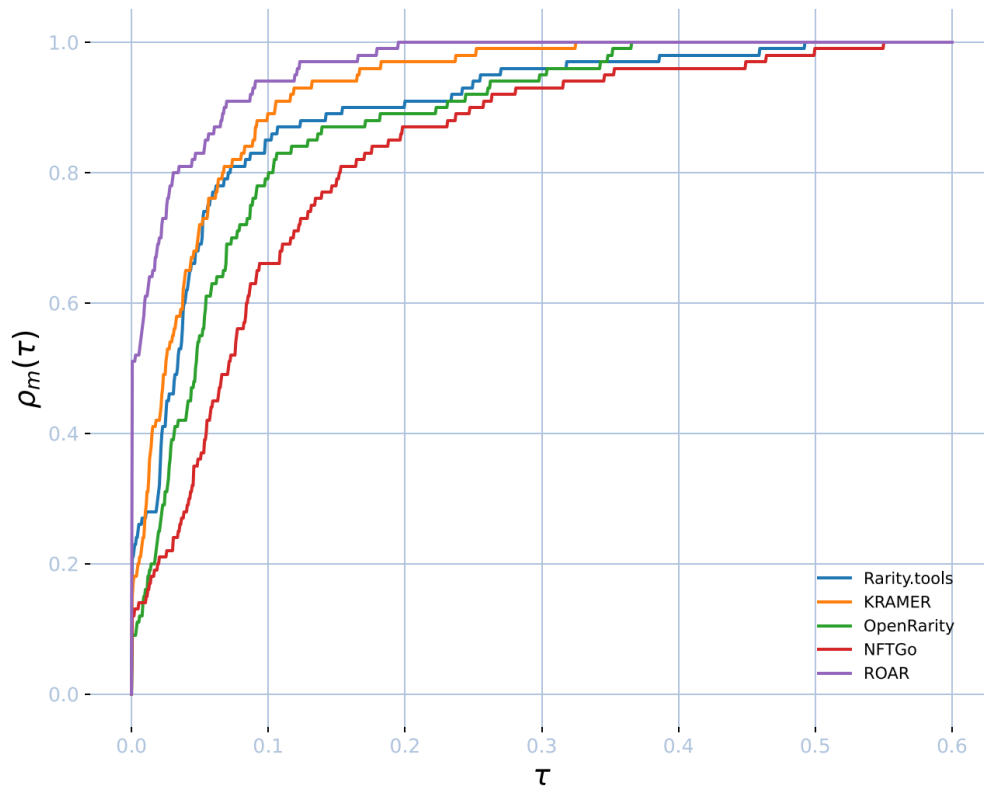


Рис. 5.1: Rarity meters performance profiles for ROAR benchmark

Интересно посмотреть на то, как изменяется профиль производительности (**performance profiles**) в зависимости от добавления в **OpenRarity** предложенных авторами эвристик. На графике 5.2 отмечены 4 случая: ванильный OpenRarity (**Original**), эвристика **Double Sort**, эвристика **Trait Count**, а также **Production** метод, который на данный момент является дефолтным на маркетплейсе OpenSea и включает в себя комбинацию сразу двух эвристик. Как можно видеть на графике 5.2, лучше всего работает модификация **Production** сразу с двумя эвристиками, что экспериментально подтверждает их эффективность.

## 6 Выводы

Измерители редкости являются важным прикладным инструментом в индустрии NFT для оценки редкости токенов и прогнозирования их будущей стоимости. В данной работе представлен бенчмарк (ROAR benchmark), состоящий из множества NFT коллекций на платформе Ethereum, позволяющий измерять профили производительности (performance profiles) для новых измерителей и сравнивать различные измерители между собой. ROAR benchmark — это простой в использовании инструмент, который поможет исследователям

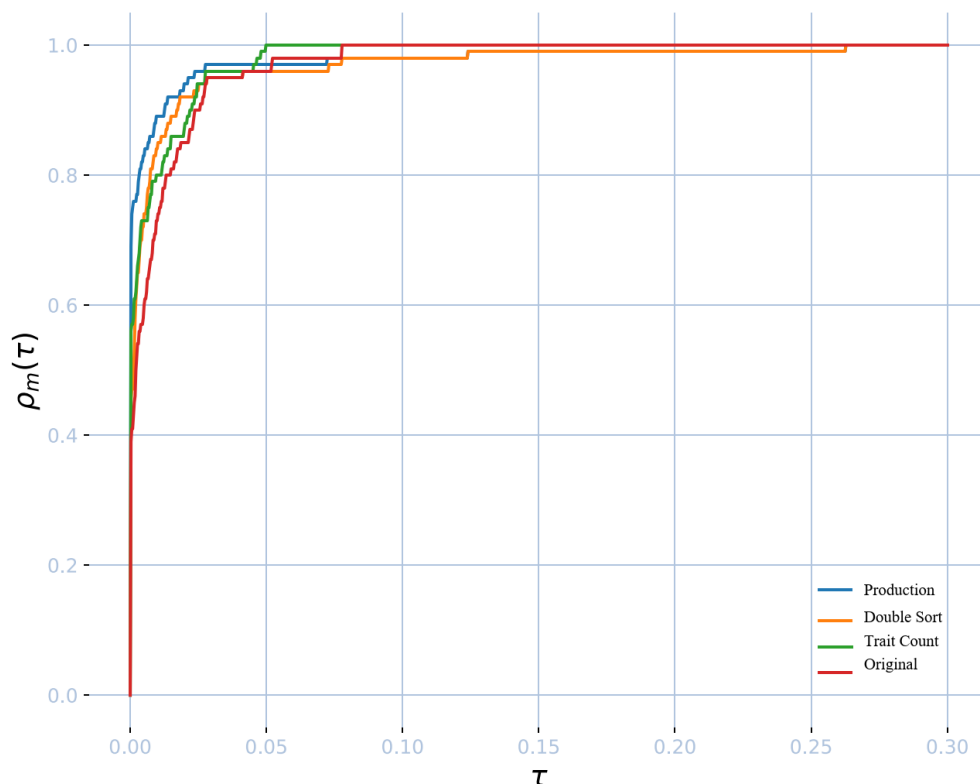


Рис. 5.2: Performance profiles of OpenRarity rarity meters modifications for ROAR benchmark

тестировать новые способы оценивания редкости токенов, такие как OpenRarity, Rarity.tools, Kramer и NFTGo.

Также в данной работе был предложен новый измеритель — ROAR, который является ансамблем над другими state-of-the-art измерителями и заметно превосходит их в качестве, показывая потенциал в этой области исследований. На основе результатов, описанных в данной работе, была написана статья «ROAR: A Benchmark for NFT Rarity Meters» (Belousov, Shuklin, Yanovich), принятая на конференцию IEEE ICBC 2024, которая будет опубликована в сборнике.

Нестандартные схемы транзакций могут означать подозрительное поведение пользователей и накачку цен на NFT. Профили производительности потенциально могут помочь в обнаружении аномалий в поведении пользователей, таким образом заменяя традиционные методы, такие как детектирование сообществ.

## Список литературы

- [1] Dmitry Belousov, Maksim Shuklin, Alexander Stepin и Yury Yanovich. *ROAR benchmark*. Вер. 1.0.0. Март 2024. URL: <https://github.com/fasghq/ROAR-benchmark>.
- [2] Vitalik Buterin. *On Public and Private Blockchains - Ethereum Blog*. 2015. URL: <https://blog.ethereum.org/2015/08/07/on-public-and-private-blockchains/>.
- [3] Johannes Hinckeldeyn и Kreutzfeldt Jochen. “(Short paper) developing a smart storage container for a blockchain-based supply chain application”. В: *2018 Crypto valley conference on blockchain technology (CVCBT)*. 2018, с. 97–100.
- [4] Kenneth Koford и Adrian E. Tschoegl. “The market value of rarity”. В: *Journal of Economic Behavior & Organization* 34.3 (март 1998), с. 445–457. ISSN: 0167-2681. DOI: [10.1016/S0167-2681\(97\)00084-X](https://doi.org/10.1016/S0167-2681(97)00084-X).
- [5] Mikhail Krasnoselskii, Yash Madhwal и Yury Yanovich. “KRAMER: Interpretable Rarity Meter for Crypto Collectibles”. В: *IEEE Access* 11 (2023), с. 4283–4290. ISSN: 2169-3536. DOI: [10.1109/ACCESS.2023.3236080](https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3236080). URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10014994/>.
- [6] Polina Mamoshina, Lucy Ojomoko, Yury Yanovich, Alex Ostrovski, Alex Botezatu, Pavel Prikhodko, Eugene Izumchenko, Alexander Aliper, Konstantin Romantsov, Alexander Zhebrak, Iraneus Obioma Ogu и Alex Zhavoronkov. “Converging blockchain and next-generation artificial intelligence technologies to decentralize and accelerate biomedical research and healthcare”. В: *Oncotarget* 9.5 (январь 2018), с. 5665–5690. ISSN: 1949-2553. DOI: [10.18632/oncotarget.22345](https://doi.org/10.18632/oncotarget.22345). URL: <http://www.oncotarget.com/fulltext/22345>.
- [7] Satoshi Nakamoto. “Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System”. В: *Cryptography Mailing list at https://metzdowd.com* (март 2009). URL: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>.
- [8] NFTGo. *NFTGo: The World’s Leading NFT Data Intelligence Provider*. URL: <https://docs.nftgo.io/>.
- [9] Luis Oliveira, Ingrid Bauer, Liudmila Zavolokina и Gerhard Schwabe. “To token or not to token: Tools for understanding blockchain tokens”. В: *International Conference on Information Systems 2018, ICIS 2018*. 2018, с. 1–17. ISBN: 9780996683173.
- [10] OpenRarity. *Proposal: Add Trait Count to OpenRarity*. 2022. URL: [https://mirror.xyz/openrarity.eth/oNo7AmgXopMCKq95gv\\_XeOp5pKQ\\_qHWKzTV11DpFxE](https://mirror.xyz/openrarity.eth/oNo7AmgXopMCKq95gv_XeOp5pKQ_qHWKzTV11DpFxE).

- [11] Rarity.tools. *Ranking Rarity: Understanding Rarity Calculation Methods*. 2021. URL: <https://raritytools.medium.com/ranking-rarity-understanding-rarity-calculation-methods-86ceaeb9b98c>.
- [12] Victor von Wachter, Johannes Rude Jensen, Ferdinand Regner и Omri Ross. “NFT Wash Trading: Quantifying suspicious behaviour in NFT markets”. B: *SSRN Electronic Journal* (февр. 2022). DOI: [10.48550/arxiv.2202.03866](https://arxiv.org/abs/2202.03866). URL: <https://arxiv.org/abs/2202.03866v1>.
- [13] Gavin Wood. “Polkadot: Vision for a Heterogeneous Multi-Chain Framework”. B: *Whitepaper* (2017), с. 1—21. ISSN: 1932-7447. DOI: [10.1021/acs.jpcc.6b00269](https://github.com/w3f/polkadot-white-paper/raw/master/PolkaDotPaper.pdf). URL: <https://github.com/w3f/polkadot-white-paper/raw/master/PolkaDotPaper.pdf>.
- [14] Anatoly Yakovenko. *Solana: A new architecture for a high performance blockchain*. 2018. URL: <https://solana.com/solana-whitepaper.pdf>.