Международная научная конференция Суперкомпьютерные дни в России 2023 Москва, 25-26 сентября 2023 г.

Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

Я.А. Краева, М.Л. Цымблер

Южно-Уральский государственный университет (Челябинск)

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 23-21-00465)

Диссонанс отражает аномалию ряда



Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами





Диссонанс отражает аномалию ряда



Диссонансы всевозможных длин в больших временных рядах



Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

25.09.2023

Задача поиска диссонансов всевозможных длин

- **Диссонанс** подпоследовательность ряда, отдаленная от ближайшего соседа не менее чем на порог *r*
- Дано: временной ряд *T* , диапазон длин диссонансов *minL*, ... , *maxL*
- Найти: $\mathcal{D} = \bigcup_{m=minL}^{maxL} D_m, D_m = \{d_1^m, d_2^m, ...\}, d_i^m диссонансы$



Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

его соседа не менее чем на порог r

^{25.09.2023}

Последовательные и параллельные алгоритмы поиска диссонансов



Фрагментация и сегментация ряда



Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

25.09.2023

Общая схема вычислений





Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

25.09.2023

Предобработка



¹ Zymbler M., Kraeva Y. High-Performance Time Series Anomaly Discovery on Graphics Processors. Mathematics 11(14). Article 3193. 2023. DOI: 10.3390/math11143193 (Top10% WoS)

Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

25.09.2023

Поиск диссонансов



Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

25.09.2023

Отбор и очистка диссонансов фрагмента



Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

25.09.2023



Отбор и очистка диссонансов в сегменте



Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

$$(j)(k)$$
 QTcol⁽ⁱ⁾(**tid**) = $\sum_{k=1}^{m} T_1^{(i)}(k) \cdot Chunk_{tid}^{(j)}(k)$

25.09.2023

Очистка диссонансов ряда



Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

25.09.2023

Очистка диссонансов



Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

25.09.2023

Эксперименты

Аппаратные платформы

Лобачевский, ННГУ

1 узел: 2×Sandy Bridge E5-2660 с **3×NVIDIA Kepler K20X** (2 688 CUDA-ядер, @0.732 GHz, 1.3 TFLOPS)

Ломоносов-2, МГУ

1 узел: 1×Xeon Gold 6126 с **2×NVIDIA Tesla P100** (3 584 CUDA-ядер, @1.19 GHz, 4 TFLOPS)

Данные

Ряд	Длина ряда, n	Диапазон длин диссонансов, minLmaxL	ſ
ECG ¹⁾			ЭКГ взрослого чел
GAP ²⁾	$2 \cdot 10^{6}$	64128	Энергопотреблени
MGAB ³⁾			Синтетический ряд

Показатели

Быстродействие: усредненное время работы алгоритма по 10 запускам без I/O

– Ускорение:
$$s(p) = {t_1/t_p}$$
, где t_1 – время на одном GPU, t_p – время

¹⁾ Lu Y. et al. Matrix Profile XXIV: Scaling Time Series Anomaly Detection to Trillions of Datapoints and Ultra-fast Arriving Data Streams. ACM SIGKDD 2022. pp. 1173-1182. ²⁾ Linardi M. et al. Matrix Profile X: VALMOD - Scalable Discovery of Variable-Length Motifs in Data Series. SIGMOD 2018. pp. 1053-1066. ³⁾ Mackey M.C. et al. Oscillation and chaos in physiological control systems. Science 197 (4300), 287–289 (1977).

Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

Тредметная область

овека

ие частного дома во Франции

д на основе уравнения Макки–Гласса

на p GPU

25.09.2023

Ускорение и быстродействие: ряд ECG



Ускорение и быстродействие: ряд GAP



Ускорение и быстродействие: ряд MGAB



Заключение

- Предложен новый параллельный алгоритм поиска диссонансов в больших временных рядах на вычислительном кластере с GPU-узлами
- Проведены вычислительные эксперименты на реальных и синтетических рядах, показывающие высокую масштабируемость алгоритма
- Будущие исследования: применение алгоритма в нейросетевой модели для поиска аномалий в режиме онлайн

Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

Спасибо за внимание! Вопросы? Яна Александровна Краева kraevaya@susu.ru

25.09.2023 19/19

Размер кандидатов



Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

25.09.2023

Основные работы по теме исследования

Алгоритм	Платформа	Критика		
Последовательный алгоритм				
Nakamura T. <i>, et al.</i> MERLIN : parameter-free discovery of arbitrary length anomalies in massive time series archives. IEEE ICDM 2020. pp. 1190-1195.	CPU	Квадратичная сложность от длины ряда		
Параллельные алгоритмы				
DRAG: Yankov D., <i>et al</i> . Disk aware discord discovery: finding unusual time series in terabyte sized datasets. Knowl. Inf. Syst. 17(2): 241-262. 2008.	CPU	Симуляция MapReduce		
PDD: Huang T. <i>, et al</i> . Parallel discord discovery. PAKDD 2016. LNCS 9652. Springer, 2016. pp. 233-244.	Spark	Низкая производительность ввиду большого количества обменов между узлами		
PhiDD: Zymbler M., <i>et al.</i> A Parallel Approach to Discords Discovery in Massive Time Series Data. Computers, Materials & Continua 66(2): 1867-1876. 2021.	Кластер Intel Xeon Phi	Квадратичная пространственная сложность от длины ряда		
KBF_GPU: Thuy T.T.H., <i>et al</i> . A new discord definition and an efficient time series discord detection method using GPUs. ICSED 2021. pp. 63-70.	GPU	Полный перебор подпоследовательностей ряда		
Zhu B., <i>et al.</i> A GPU Acceleration framework for motif and discord based pattern mining. IEEE Trans. on Parallel and Distr. Systems 32(8): 1987-2004. 2021.	GPU	Поиск одного (самого важного) диссонанса ряда		
PD3 : Zymbler M., Kraeva Ya. Parallel algorithm for time series discord discovery on a graphics processor. Pattern Recognition and Image Analysis 33(2). 2023.	GPU	Ручной подбор длины диссонанса и порога		

Постановка задачи

- **Диссонанс**¹⁾ подпоследовательность ряда, расстояние от которой до ближайшего соседа не ниже порога *r*
- **Дано:** временной ряд *T*, длина диссонанса *m*, порог *r*
- Найти: $D = \{d_1, d_2, ...\}, d_i \in D \Leftrightarrow \forall s \in T \min_{s \cap d_i = \emptyset} \text{dist}(d_i, s) \ge r$



Количество подпоследовательностей: N = n - m + 1

¹⁾ Yankov D., Keogh E.J., Rebbapragada U. Disk aware discord discovery: finding unusual time series in terabyte sized datasets. Knowl. Inf. Syst. 17(2): 241-262. 2008.

Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

25.09.2023

PD3 (Parallel <u>D</u>RAG-based <u>D</u>iscord <u>D</u>iscovery): Ручной подбор *r*



Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

25.09.2023

PD3 (Parallel <u>D</u>RAG-based <u>D</u>iscord <u>D</u>iscovery): Ручной подбор *m*



Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

Подбор порога *r*



Автоматизированный поиск аномалий временных рядов на графическом эпроцессоре

17.03.2023

PALMAD: Parallel Arbitrary Length MERLIN-based Anomaly Discovery

- Применение ED²_{norm} в качестве функции расстояния¹⁾ 1. $\mathrm{ED}_{\mathrm{norm}}^{2}(T_{i,m}, T_{j,m}) = 2m \left(1 - \frac{T_{i,m} \cdot T_{j,m} - m\mu_{i}\mu_{j}}{m\sigma_{i}\sigma_{i}}\right)$
- Сокращение избыточных вычислений μ и σ при вычислении ${
 m ED}_{
 m norm}^2$ 2. **Лемма.** Пусть даны ряд T, |T| = n и подпоследовательности $T_{i,m}$ и $T_{i,m+1}$. Тогда

$$\mu_{T_{i,m+1}} = \frac{1}{m+1} (m\mu_{T_{i,m}} + t_{i+m}), \quad \sigma_{T_{i,m+1}}^2 = \frac{m}{m+1} (\sigma_{T_{i,m}}^2)$$

- 3. Автоматизированный подбор порога r
- Тепловая карта диссонансов 4.

¹⁾ Mueen A. et al. Fast approximate correlation for massive time-series data. SIGMOD 2010. pp. 171-182. ACM (2010). https://doi.org/10.1145/1807167.1807188

Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

$+\frac{1}{m+1}(\mu_{T_{i,m}}-t_{i+m})^2).$

25.09.2023

Сокращение избыточных вычислений $\overline{\mu}$ и $\overline{\sigma}$



Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

25.09.2023

Производительность: сравнение с KBF_GPU¹⁾



¹⁾ Thuy T.T.H. et al. A new discord definition and an efficient time series discord detection method using GPUs. ICSED 2021. pp. 63–70. <u>https://doi.org/10.1145/3507473.3507483</u>.

Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

так и по среднему времени на поиск одного диссонанса

25.09.2023

Производительность: сравнение с Zhu et al.¹⁾



¹⁾ Zhu B. et al. A GPU Acceleration framework for motif and discord based pattern mining. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems 32(8): 1987-2004. 2021. <u>https://doi.org/10.1109/TPDS.2021.3055765</u>.

Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

25.09.2023

Discord Heatmap



Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

25.09.2023

Discord ranking







Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

25.09.2023

Выявление аномалий в машиностроении





Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами



25.09.2023

Поиск аномалий во временных рядах из цифровой индустрии



Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

25.09.2023

PD3: Parallel DRAG-based Discord Discovery



Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

ложноположительных

ряда отбросить

За одно сканирование

множество кандидатов

ряда сформировать

За одно сканирование

Отбор кандидатов

<u>пока</u> не конец ряда T: текущая подпоследовательность sКандидат := TRUE <u>для всех</u> $c_i \in C$ <u>и</u> $s \cap c_i = \emptyset$ <u>если</u> dist(s, c_i) < r <u>то</u> $C \coloneqq C \setminus c_i$; Кандидат \coloneqq FALSE <u>если</u> Кандидат = TRUE <u>то</u> $C \coloneqq C \cup s$



Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами



36/19

25.09.2023

Отбор кандидатов

<u>пока</u> не конец ряда T: текущая подпоследовательность sКандидат := TRUE <u>для всех</u> $c_i \in C$ <u>и</u> $s \cap c_i = \emptyset$ <u>если</u> dist $(s, c_i) < r$ <u>то</u> $C \coloneqq C \setminus c_i$; Кандидат \coloneqq FALSE <u>если</u> Кандидат = TRUE <u>то</u> $C \coloneqq C \cup s$



Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами



Отбор кандидатов

<u>пока</u> не конец ряда T: текущая подпоследовательность sКандидат := TRUE <u>для всех</u> $c_i \in C \ \underline{u} \ s \cap c_i = \emptyset$ <u>если</u> dist $(s, c_i) < r \ \underline{to}$ $C \coloneqq C \setminus c_i$; Кандидат \coloneqq FALSE <u>если</u> Кандидат = TRUE <u>то</u> $C \coloneqq C \cup s$



Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами



25.09.2023

Очистка кандидатов





Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

Очистка кандидатов

 $\mathcal{D} \coloneqq \mathcal{C}$ <u>пока</u> не конец ряда T: текущая подпоследовательность s<u>для всех</u> $d_i \in \mathcal{D}$ <u>и</u> $s \cap d_i = \emptyset$ <u>если</u> dist $(s, d_i) < r$ <u>то</u> $\mathcal{D} \coloneqq \mathcal{D} \setminus d_i$



Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами



40/20

25.09.2023

Предобработка: вычисление $\overline{\mu}$ и $\overline{\sigma}$



Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

25.09.2023

PD3: Отбор кандидатов, блочное распараллеливание



Автоматизированный поиск аномалий временных рядов на графическом Эпроцессоре

17.03.2023

PD3: Очистка кандидатов



Автоматизированный поиск аномалий временных рядов на графическом Эпроцессоре

17.03.2023

Производительность: влияние длины сегмента



Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

Синтетические временные ряды

25.09.2023

Масштабируемость: влияние длины ряда



Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

25.09.2023

Масштабируемость: влияние диапазона длин диссонансов



Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

25.09.2023

Efficient parallelization of PALMAD for a multi-GPU cluster node

- Non-swappable host memory for data from GPU •
- CUDA stream for each GPU

S

'stem:

S



lacksquare

Asynchronous CUDA kernels

- **for** (int i = 0; i < nGPUs; i++) { cudaSetDevice(i); cudaMalloc(...); cudaMallocHost(...); cudaStreamCreate(&streams[i]);
- **for** (int i = 0; i < nGPUs; i++) { cudaSetDevice(i);

cudaDeviceSynchronize();

Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

Asynchronous CPU-GPU data transfers

cudaMemcpyAsync(..., cudaMemcpyHostToDevice, streams[i]);

```
kernel<<<grid, block, 0, streams[i]>>>(...);
```

cudaMemcpyAsync(..., cudaMemcpyDeviceToHost, streams[i])



25.09.2023

PD3: Parallel DRAG-based Discord Discovery



Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

$$QTrow^{(i)}(tid) = QTrow^{(i)}(tid - 1) - T_{tid-1}^{(i)}(1) \cdot Chunk_{tid-1}^{(j)}(1) + T_{tid}^{(i)}(m) \cdot Chunk_{tid}^{(j)}(m)$$

25.09.2023

PADDi: node level



Поиск аномалий в больших временных рядах на кластере с GPU узлами

49/19

25.09.2023