Поиск типичных подпоследовательностей временного ряда

Время есть жизнь души, пребывающей в переходном движении от одного жизненного проявления к другому.

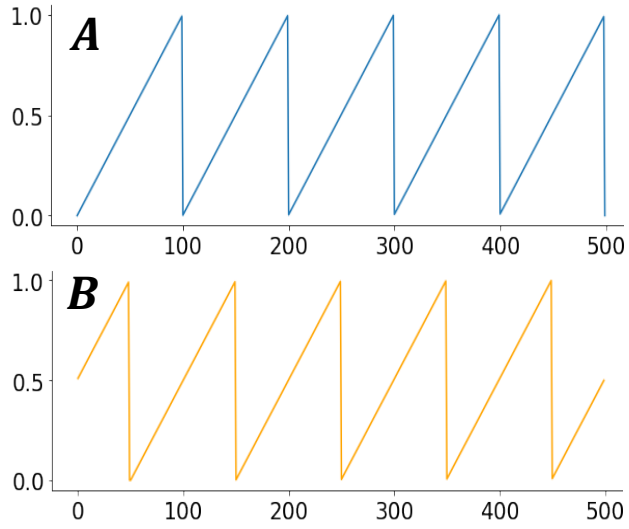
Плотин

Содержание

- Мера MPdist
- Сниппеты и алгоритм Snippet-Finder
- Применение сниппетов

Мера MPdist (Matrix Profile distance)*: неформальное определение

- Схожесть временных рядов A и B ($|A| = |B| = m$) по MPdist пропорциональна количеству в них подпоследовательностей длины ℓ ($3 \leq \ell \leq m$), близких в смысле нормализованного евклидова расстояния
- MPdist не удовлетворяет аксиоме треугольника
- MPdist устойчива к шумам, инвариантна к фазе и амплитуде рядов

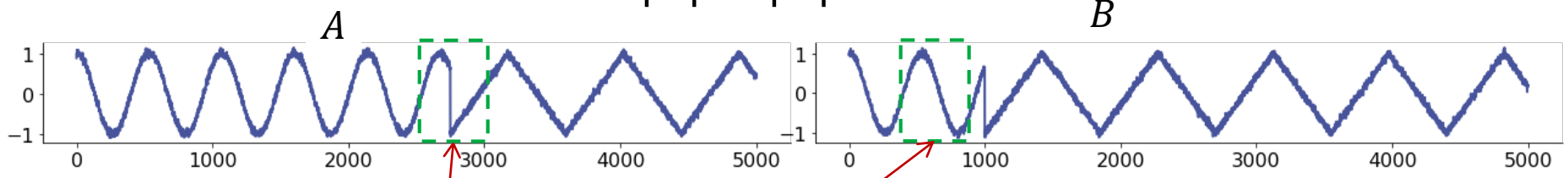


$\mathrm{ED}(A, B)$	11.2
MPdist(A, B)	**0**

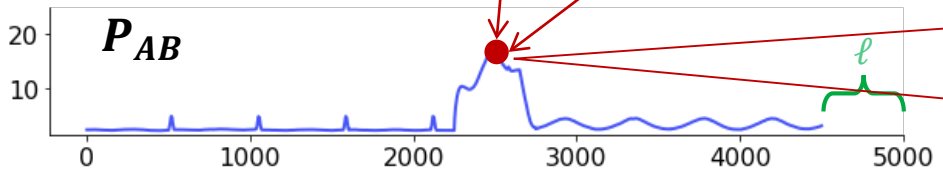
* Gharghabi S. *et al.* An ultra-fast time series distance measure to allow data mining in more complex real-world deployments. Data Min. Knowl. Discov. 2020. Vol. 34. P. 1104–1135. DOI: 10.1007/s10618-020-00695-8

Мера MPdist, формальное определение: P_{AB}

$$|A| = |B| = m$$



Значимая длина подпоследовательности: $3 \le \ell \le m$ (обычно $\lceil 0.3m \rceil < \ell \le \lceil 0.8m \rceil$)

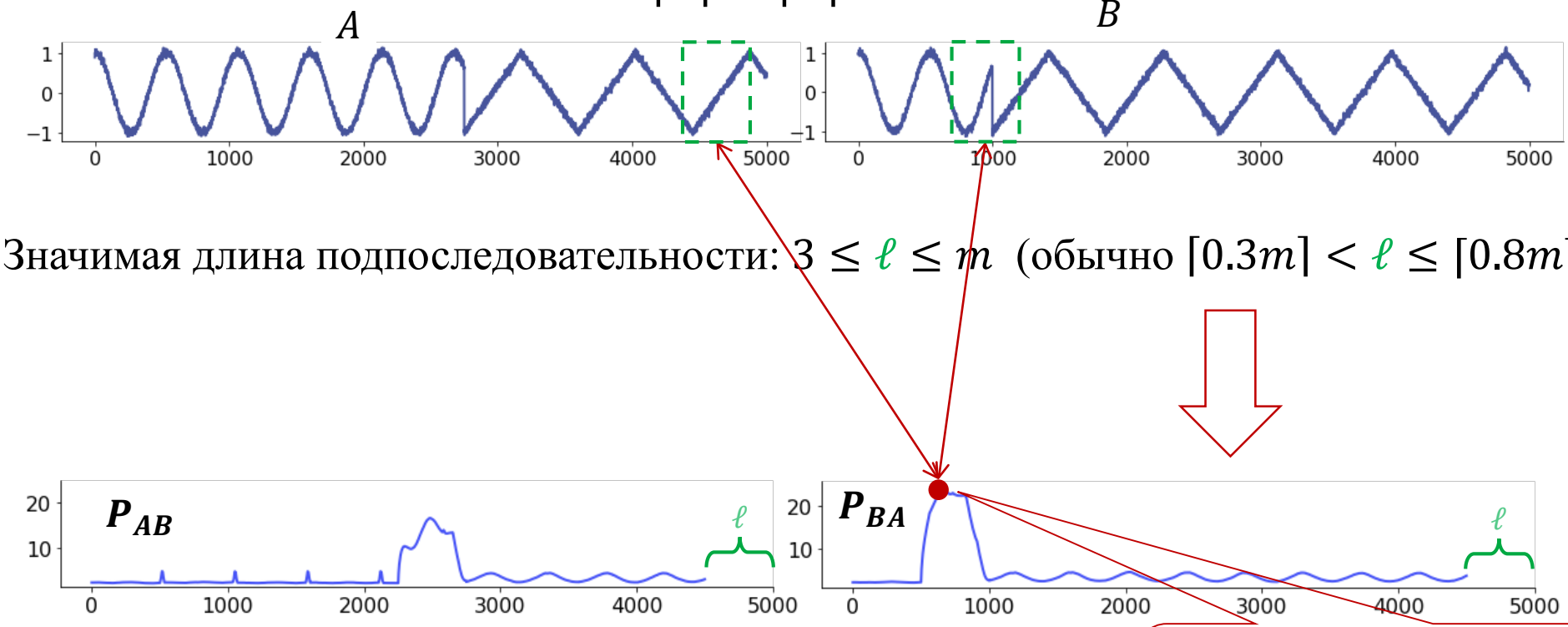


$$P_{AB}(i) = \mathrm{ED}_{\mathrm{norm}}\left(A_{i,\ell}, B_{\mathrm{nn}}\right)$$
$$B_{\mathrm{nn}} = \arg \min_{B_{j,\ell} \in S_B^{\ell}} \mathrm{ED}_{\mathrm{norm}}\left(A_{i,\ell}, B_{j,\ell}\right)$$

Нормализованное евклидово расстояние от i-й подпоследовательности длины ℓ из A до ее ближайшего соседа из B

Мера MPdist, формальное определение: P_{BA}

$$|A| = |B| = m$$

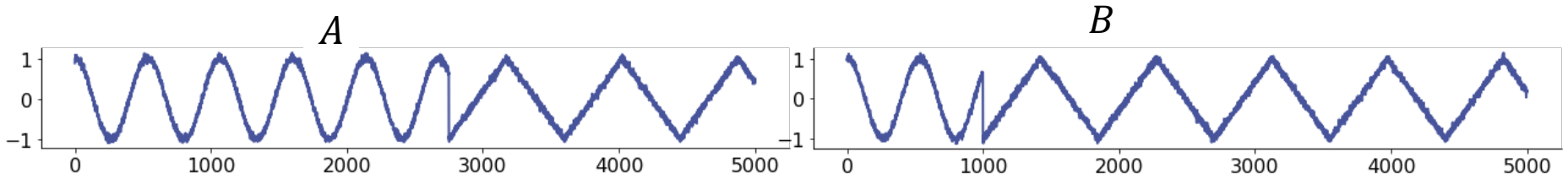


Значимая длина подпоследовательности: $3 \le \ell \le m$ (обычно $\lceil 0.3m \rceil < \ell \le \lceil 0.8m \rceil$)

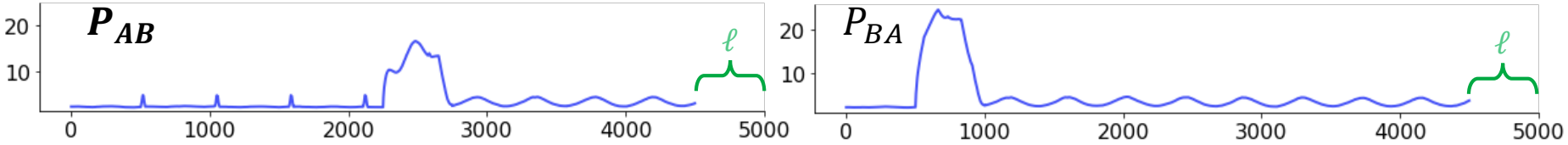
$$P_{BA}(j) = \mathrm{ED}_{\mathrm{norm}}\left(A_{\mathrm{nn}}, B_{j,\ell}\right)$$

$$A_{\mathrm{nn}} = \arg \min_{A_{i,\ell} \in S_A^{\ell}} \mathrm{ED}_{\mathrm{norm}}\left(A_{i,\ell}, B_{j,\ell}\right)$$

Мера MPdist, формальное определение: P_{ABBA}

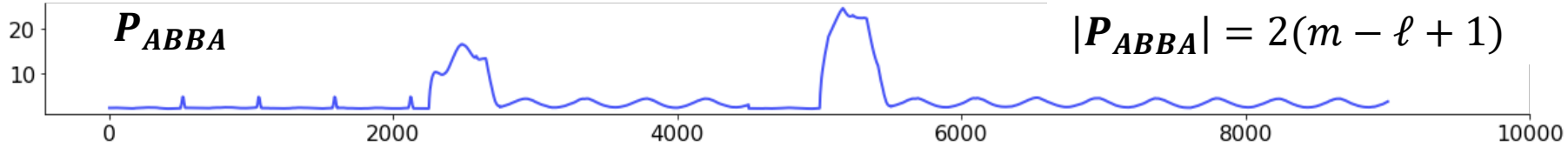


$$3 \leq \ell \leq m$$

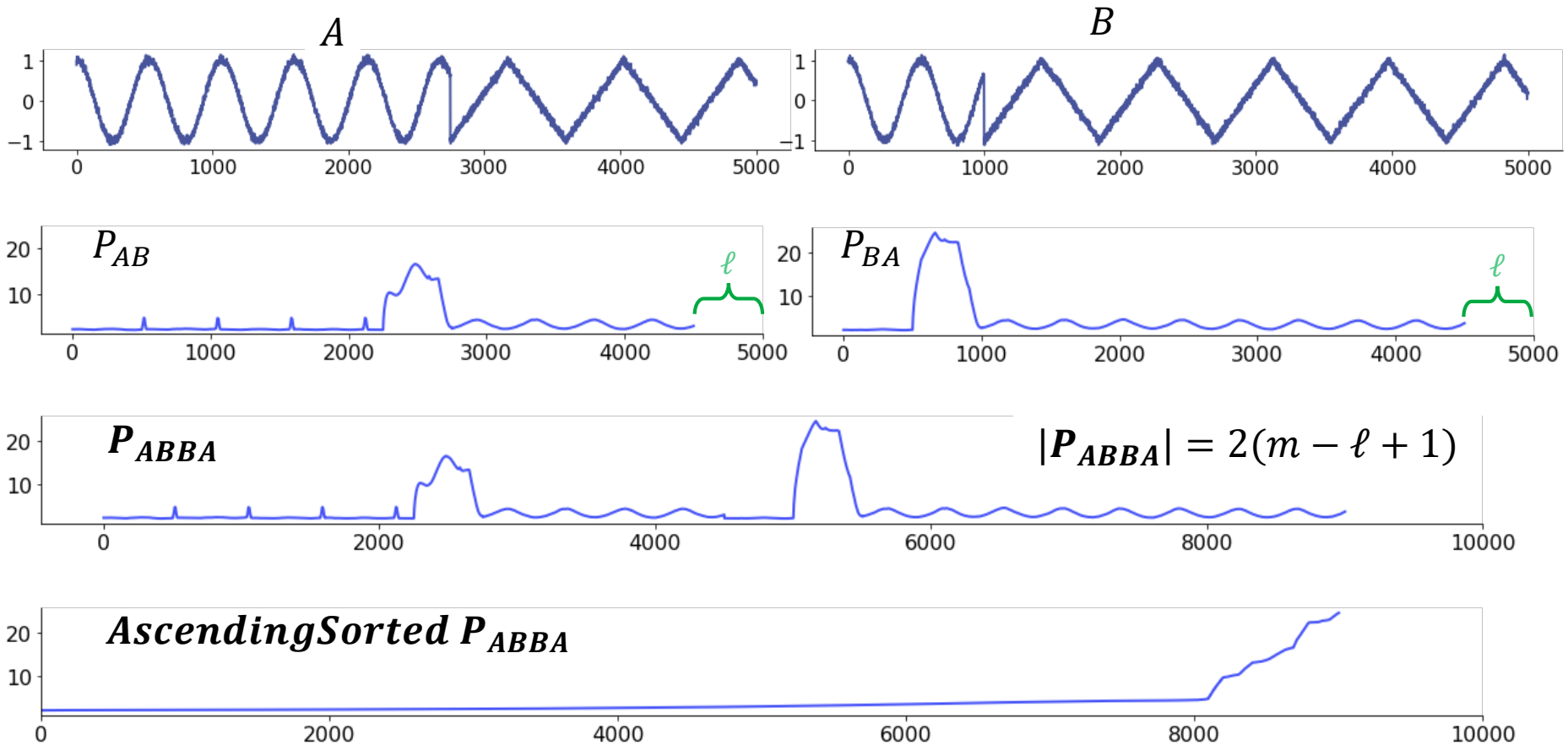


Конкатенация (склейка)

$$P_{ABBA} = P_{AB} \bullet P_{BA}$$



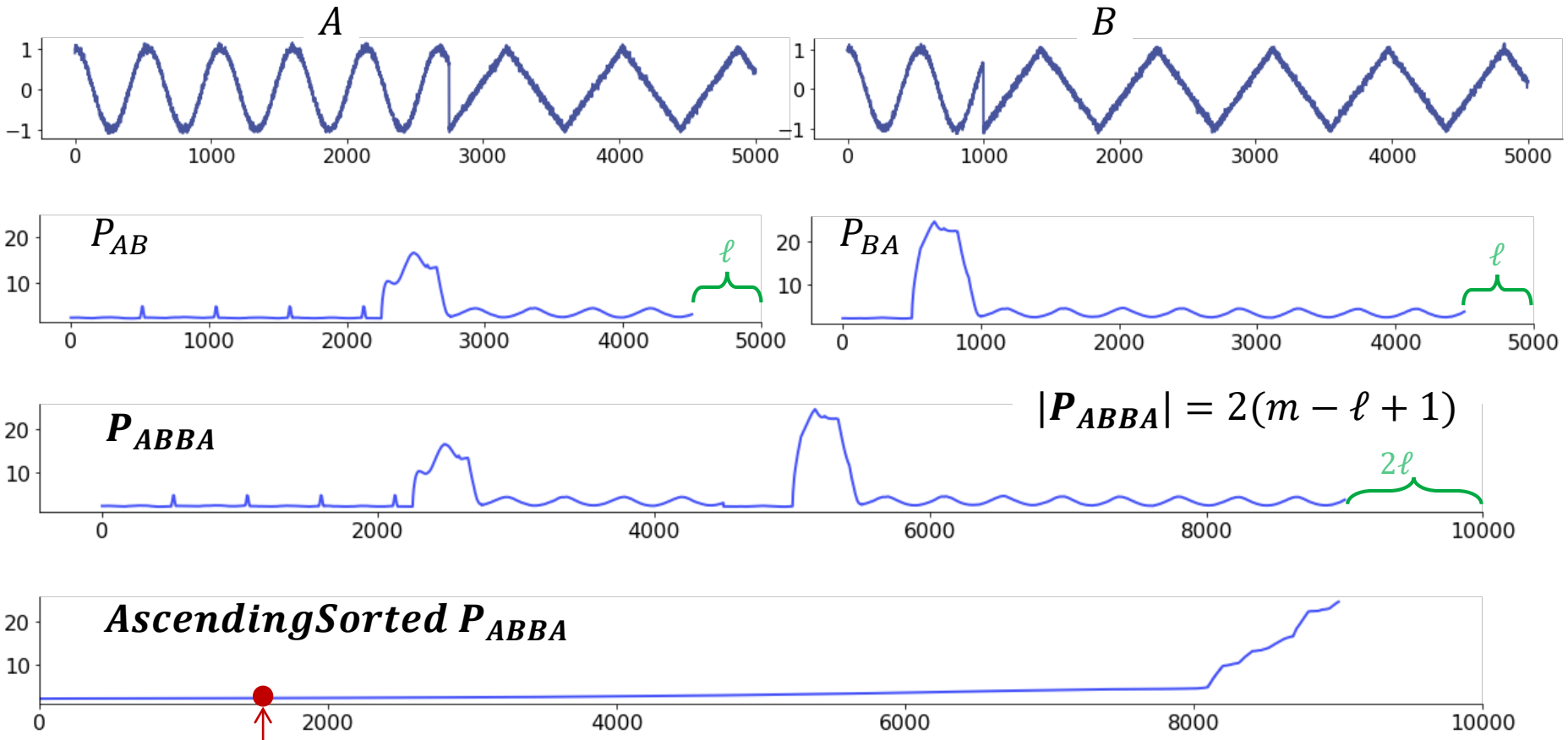
Мера MPdist, формальное определение: $Sorted\ P_{ABBA}$



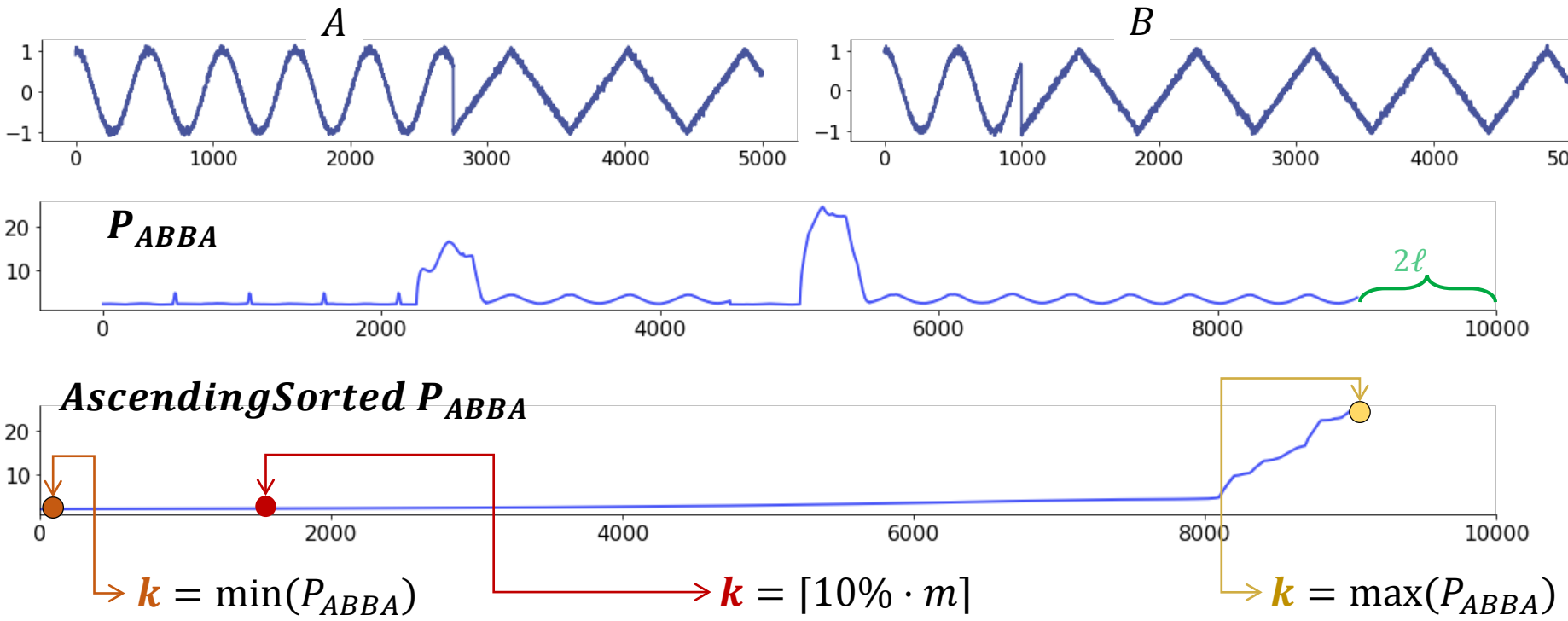
$$|A| = |B| = m$$

$$3 < \ell \leq m$$

Мера MPdist, формальное определение: $Sorted\ P_{ABBA}$



MPdist: Параметр k



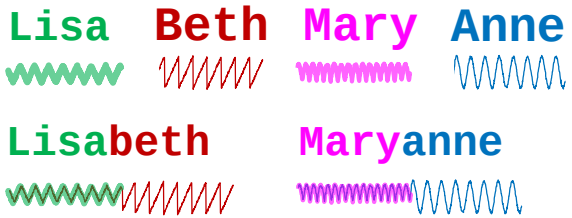
$$|A| = |B| = m$$

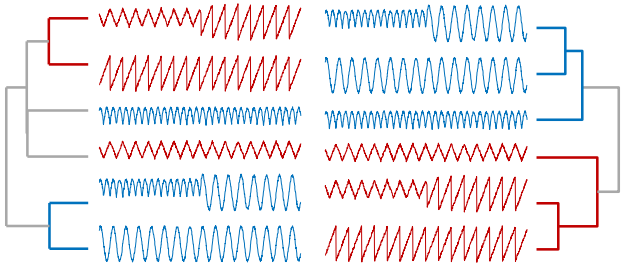
$$3 < \ell \leq m$$

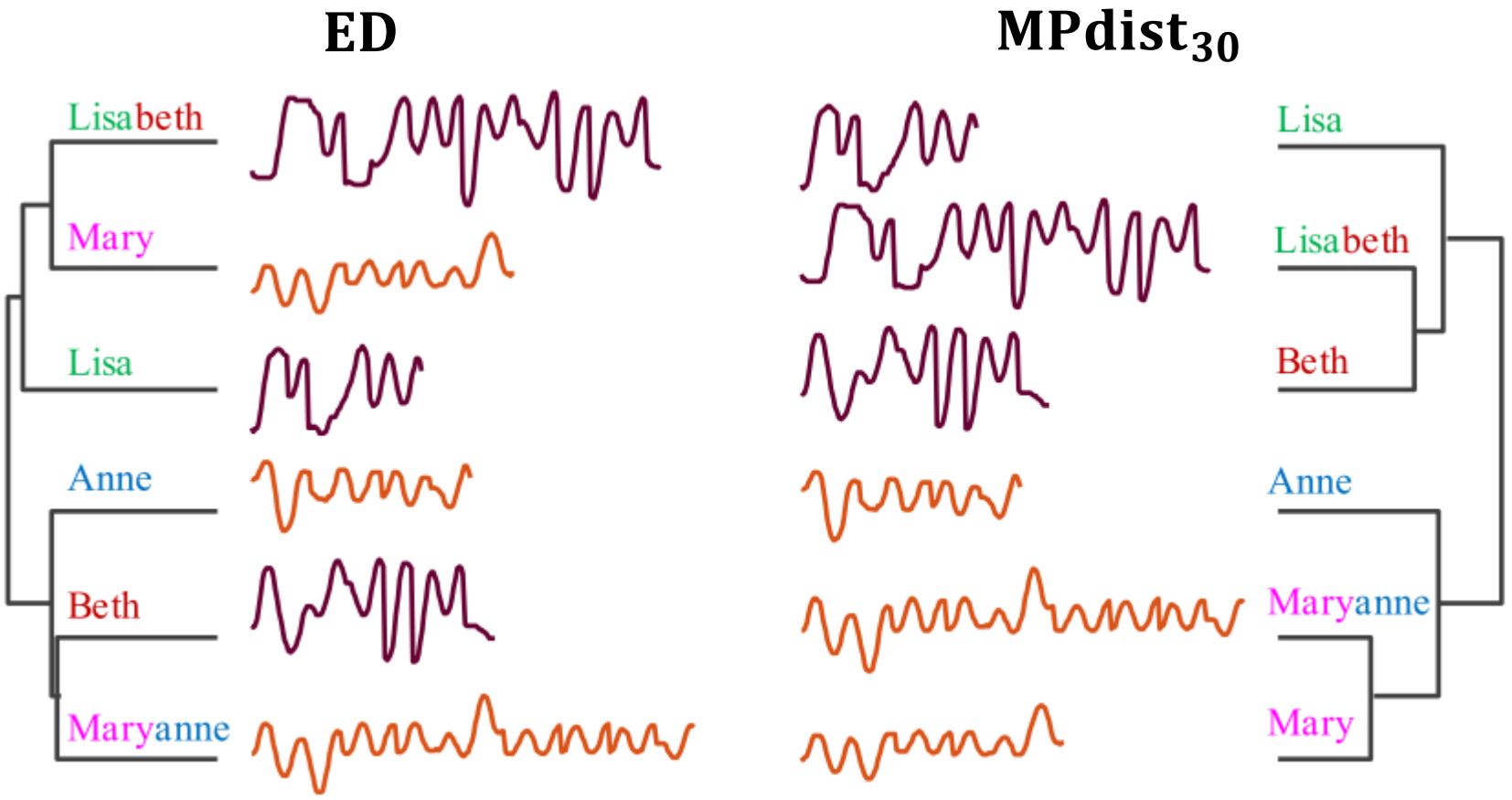
$$\mathbf{MPdist}_{\ell}(A, B) = AscendingSorted\ P_{ABBA}(k)$$

- $k = \min(P_{ABBA})$ – сходство многих рядов (ср. “a”, “the” в англ. тексте)
- $k = \max(P_{ABBA})$ – влияние шумов/выбросов во многих
- $k = \lceil 5\% \cdot 2m \rceil = \lceil 10\% \cdot m \rceil$ – подобрано эмпирически

Применение MPdist



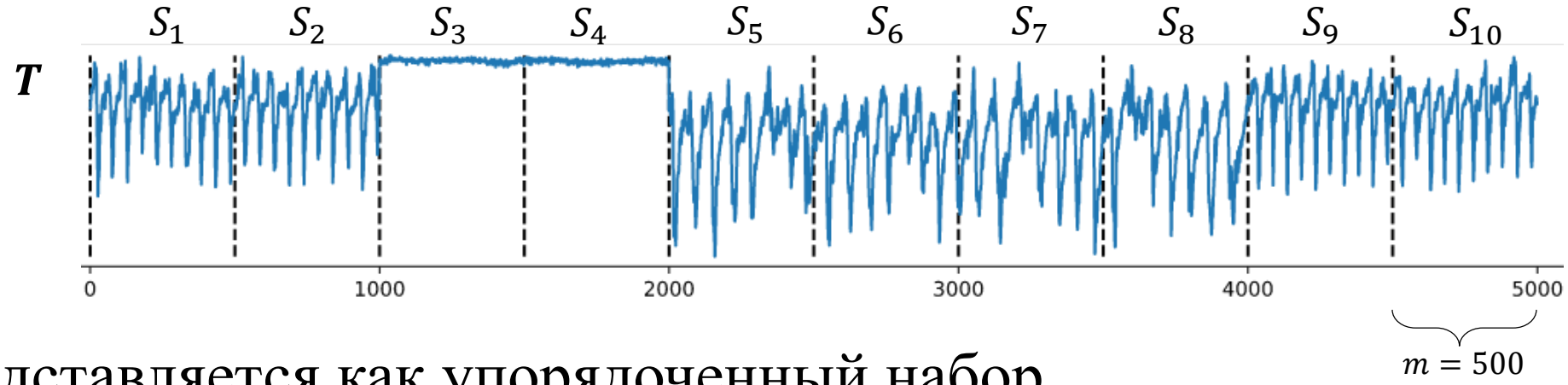




Содержание

- Мера MPdist
- **Сниппеты и алгоритм Snippet-Finder**
- Применение сниппетов

Сниппеты (snippets) – наиболее типичные подпоследовательности

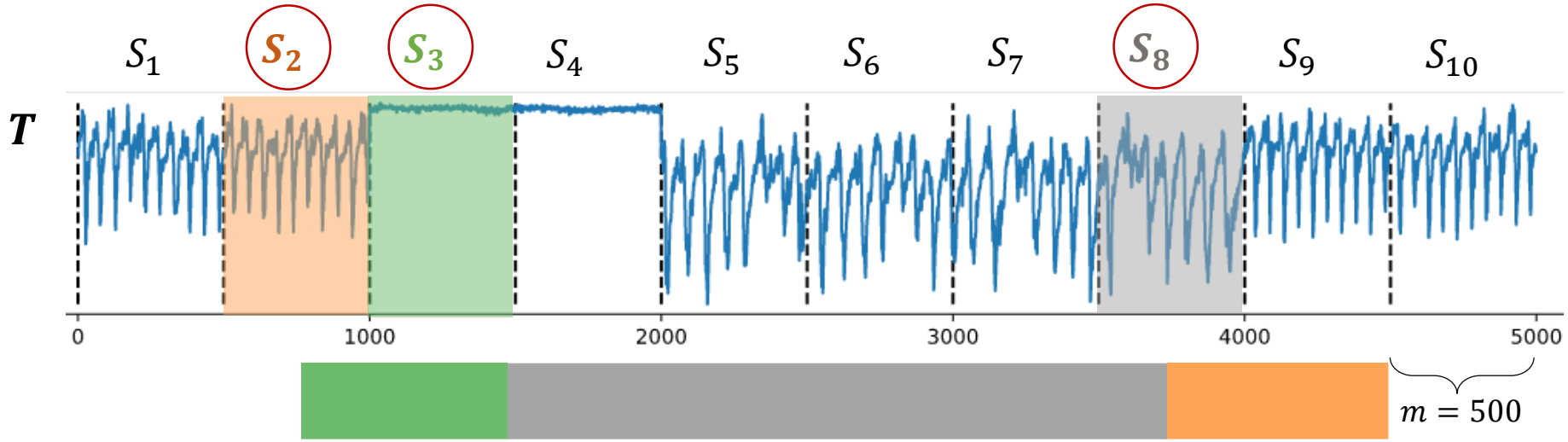


1. Ряд представляется как упорядоченный набор непересекающихся сегментов заданной длины:
   $S = \{S_i\}_{i=1}^{n/m}, S_i = T_{m(i-1)+1,m}$
   Если n не кратно m, то ряд дополняется нулями справа

Сниппетами будут избранные сегменты: те, на которые более похожи многие другие подпоследовательности ряда

Imani S. *et al.* Introducing time series snippets: a new primitive for summarizing long time series. Data Min. Knowl. Discov. 2020. 34(6). 1713–1743. DOI: 10.1007/s10618-020-00702-y

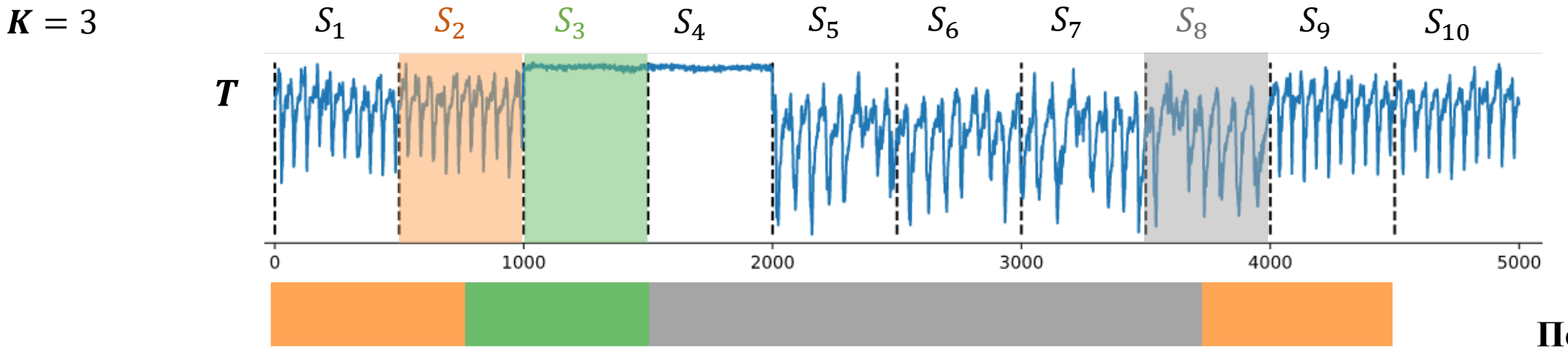
Сниппеты (snippets) – наиболее типичные подпоследовательности



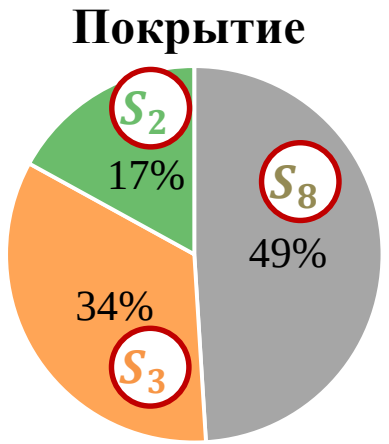
1. Ряд представляется как упорядоченный набор непересекающихся сегментов заданной длины
2. Для каждого сегмента найдем его ближайших соседей в смысле MPdist

Imani S. *et al.* Introducing time series snippets: a new primitive for summarizing long time series. Data Min. Knowl. Discov. 2020. 34(6). 1713–1743. DOI: 10.1007/s10618-020-00702-y

Сниппеты (snippets) – наиболее типичные подпоследовательности



1. Ряд представляется как упорядоченный набор непересекающихся сегментов заданной длины
2. Для каждого сегмента найдем его ближайших соседей в смысле MPdist
3. Для каждого сегмента найдем его покрытие (долю от $|S_T^m| = n - m + 1$) и возьмем в качестве сниппетов top-K сегментов по покрытию



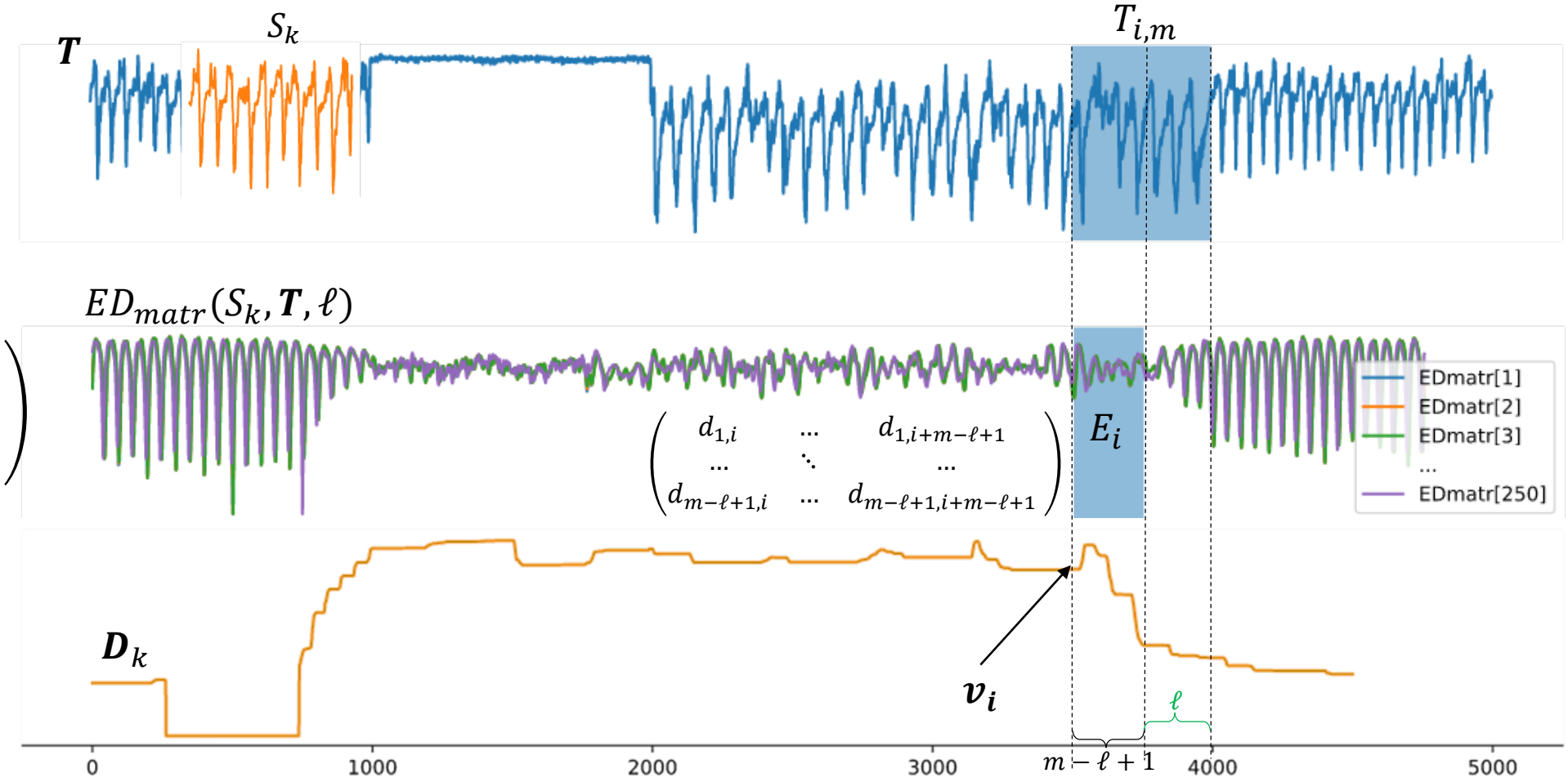
Imani S. *et al.* Introducing time series snippets: a new primitive for summarizing long time series. Data Min. Knowl. Discov. 2020. 34(6). 1713–1743. DOI: 10.1007/s10618-020-00702-y

Алгоритм Snippet-Finder: MPdist профили

ED_{matr}

$$\begin{pmatrix} d_{1,1} & \cdots & d_{1,n-\ell+1} \\ \cdots & \ddots & \cdots \\ d_{m-\ell+1,1} & \cdots & d_{m-\ell+1,n-\ell+1} \end{pmatrix}$$

$$d_{i,j} = \mathrm{ED}_{\mathrm{norm}}(S_{i,\ell}, T_{j,\ell})$$



$$\boldsymbol{D_k}(S_k, \boldsymbol{T}) = [v_1, v_2, \ldots, v_{n-m+1}], \qquad \boldsymbol{v_i} = \mathrm{MPdist}_{\ell}(S_k, T_{i,m})$$

Алгоритм Snippet-Finder

Algorithm 1 SNIPPETFINDER (IN T, m, K; OUT C_T^m)

1: $C_T^m \leftarrow \varnothing$; $M \leftarrow \overline{+\infty}$
2: $D \leftarrow$GETALLPROFILES(T, m)
3: **while** $|C_T^m| \neq K$ **do**
4: $minArea \leftarrow +\infty$
5: **for** $i \leftarrow 1$ **to** n/m **do**
6: $ProfileArea \leftarrow \sum_{j=1}^{n-m} \min(D_i(j), M_j)$
7: **if** $ProfileArea < minArea$ **then**
8: $minArea \leftarrow ProfileArea$; $idx \leftarrow i$
9: $M \leftarrow \{\min(D_{idx}(i), M_i)\}_{i=1}^{n-m}$
10: $C \leftarrow T_{m\cdot(idx-1)+1,\,m}$; $C.index \leftarrow idx$
11: $C_T^m \leftarrow C_T^m \cup C$
12: **for** $i \leftarrow 1$ **to** K **do**
13: $f \leftarrow |\{t \in D_{C_i.index} \mid t = M_i\}|$
14: $C_i.frac \leftarrow f/(n-m+1)$
15: **return** C_T^m

$$i = 1: \quad C_1 = \arg\min_{1 \le j \le n/m} ProfileArea(\{D_j\})$$

$$i = 2: \quad C_2 = \arg\min_{1 \le j \le n/m} ProfileArea(\{D_{C_1}, D_j\})$$

$$3 \le i \le K: \quad C_i = \arg\min_{1 \le j \le n/m} ProfileArea(\{D_{C_1}, \ldots, D_{C_{i-1}}, D_j\})$$

Algorithm 2 GETALLPROFILES (IN T, m; OUT D)

1: $D \leftarrow \varnothing$
2: **for** $i \leftarrow 1$ **to** n/m **do**
3: $D_i \leftarrow$MPDISTPROFILE$(T, T_{m\cdot(i-1)+1,\,m})$
4: $D \leftarrow D \cup D_i$
5: **return** D

Algorithm 3 MPDISTPROFILE (IN T, Q; OUT MPD)

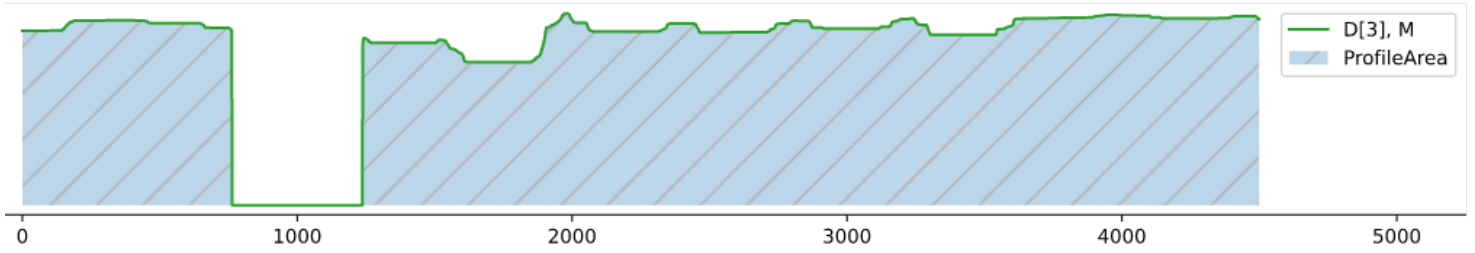
1: $MPD \leftarrow \varnothing$
2: **for** $i \leftarrow 1$ **to** $n - \ell$ **do**
3: $d_i \leftarrow \text{MPdist}_\ell(T_{i,m}, Q)$
4: $MPD \leftarrow MPD \cup d_i$
5: **return** MPD

Алгоритм Snippet-Finder: Поиск сниппета top-1

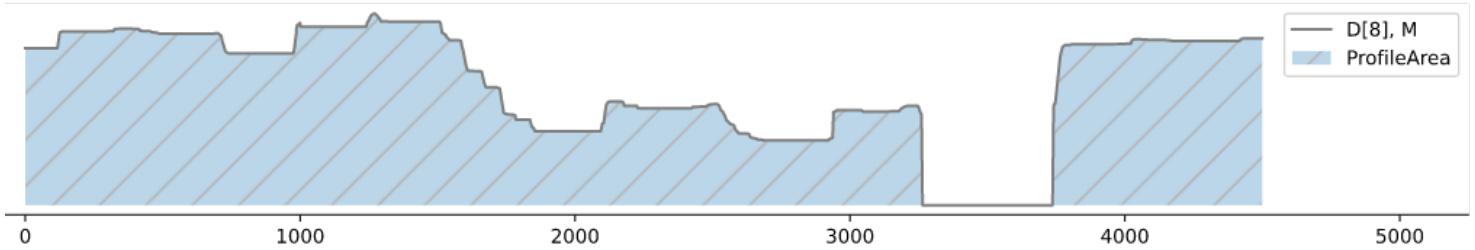
Поиск C_1

i	$ProfileArea$
1	60813
2	60371
3	74451
4	75141
5	56766
6	57729
7	58713
8	53769
9	62127
10	61286

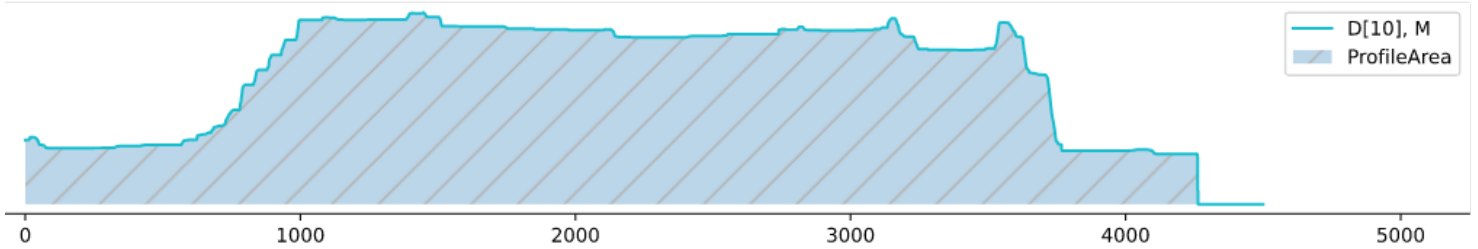
$C_1.index = 8$



$ProfileArea(\{D_3\}) = 74451$

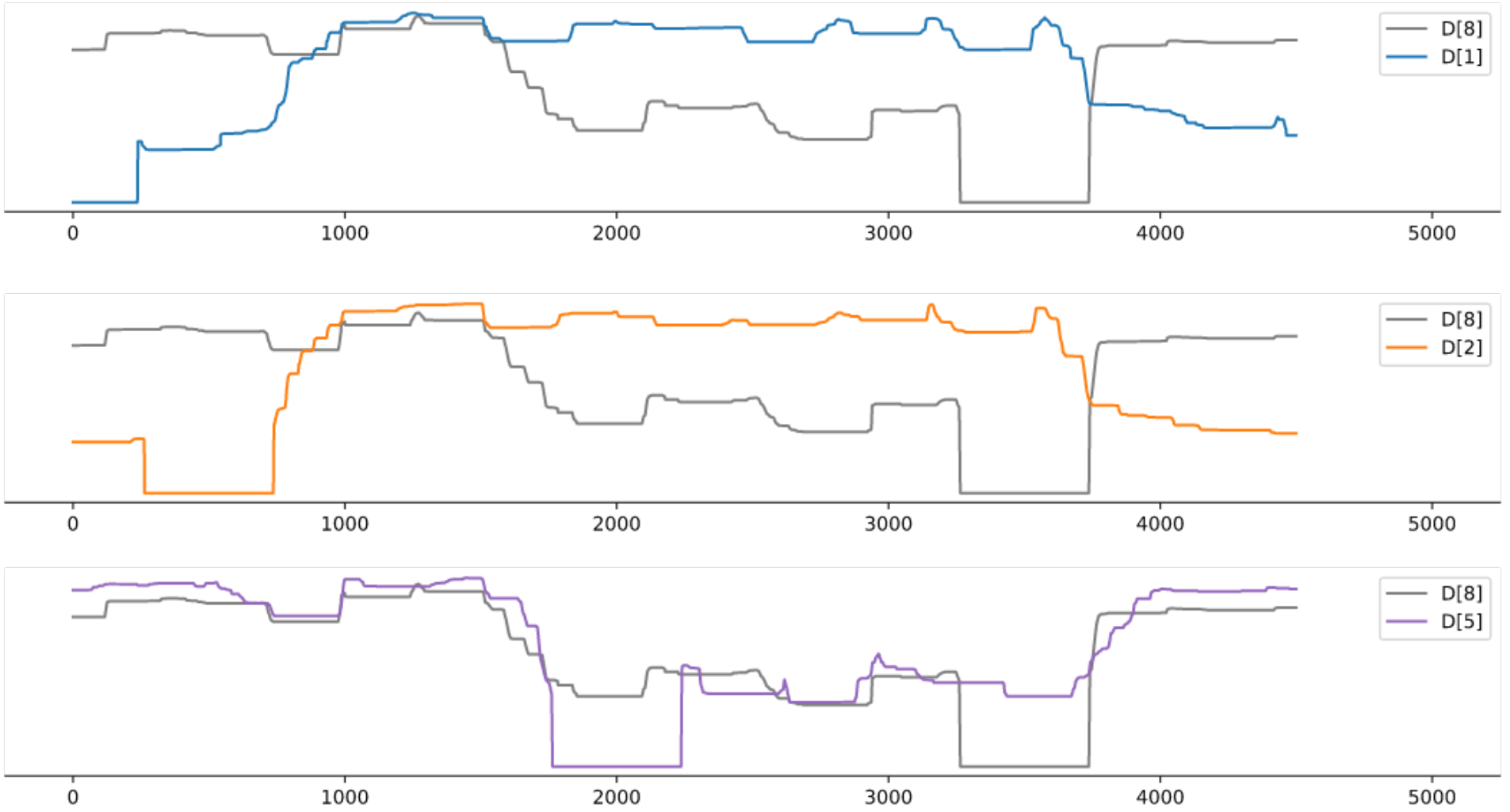


$ProfileArea(\{D_8\}) = 53769$



$ProfileArea(\{D_{10}\}) = 61286$

Алгоритм Snippet-Finder: Поиск сниппета top-2

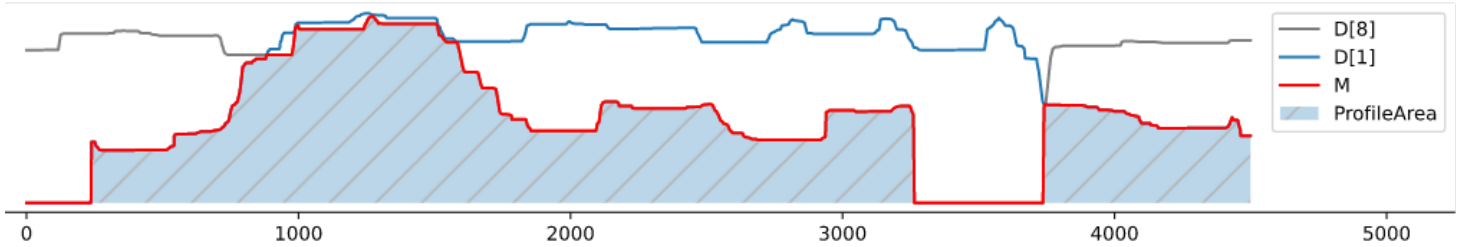


Алгоритм Snippet-Finder: Поиск сниппета top-2

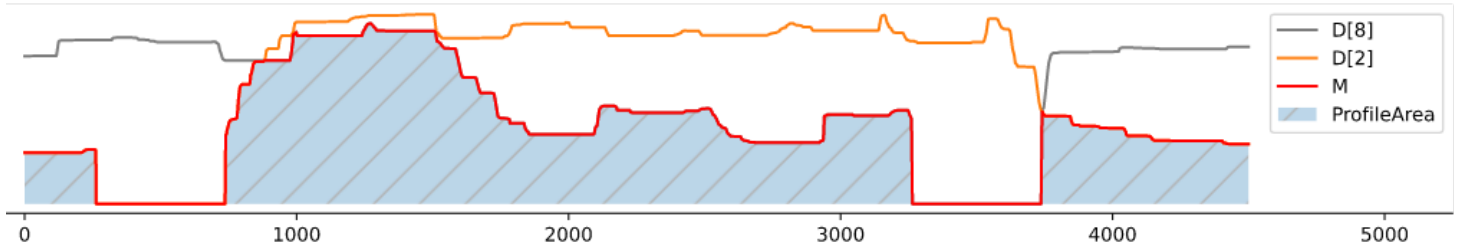
Поиск C_2

i	$ProfileArea$
1	38394
2	35769
3	45629
4	45908
5	48857
6	49264
7	48975
9	36684
10	36482

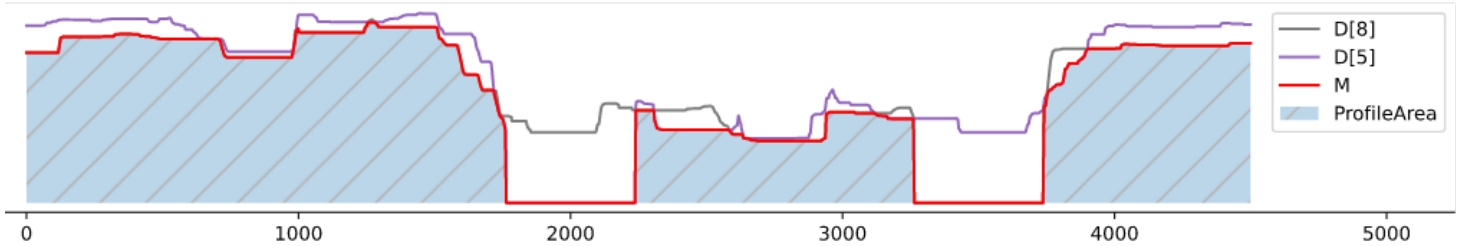
$C_2.index = 2$



$ProfileArea(\{D_8, D_1\}) = 38394$

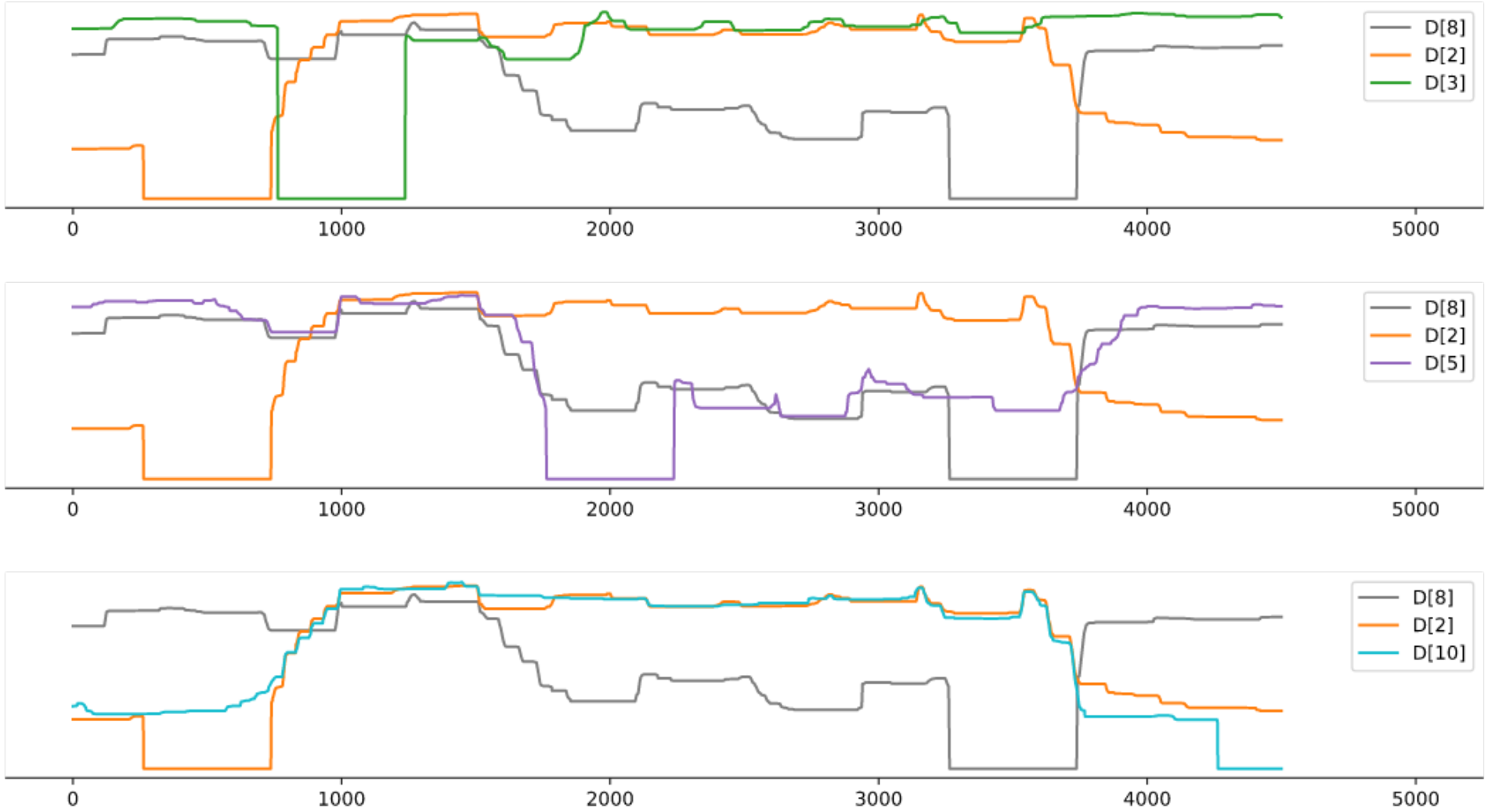


$ProfileArea(\{D_8, D_2\}) = 35769$



$ProfileArea(\{D_8, D_5\}) = 48867$

Алгоритм Snippet-Finder: Поиск сниппета top-3

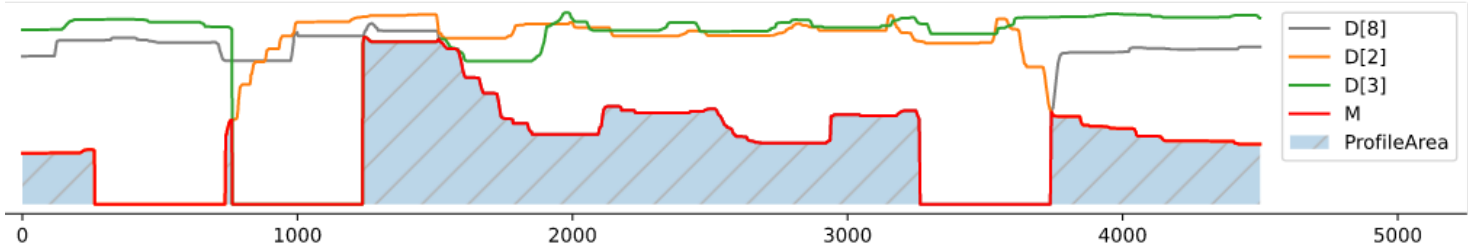


Алгоритм Snippet-Finder: Поиск сниппета top-3

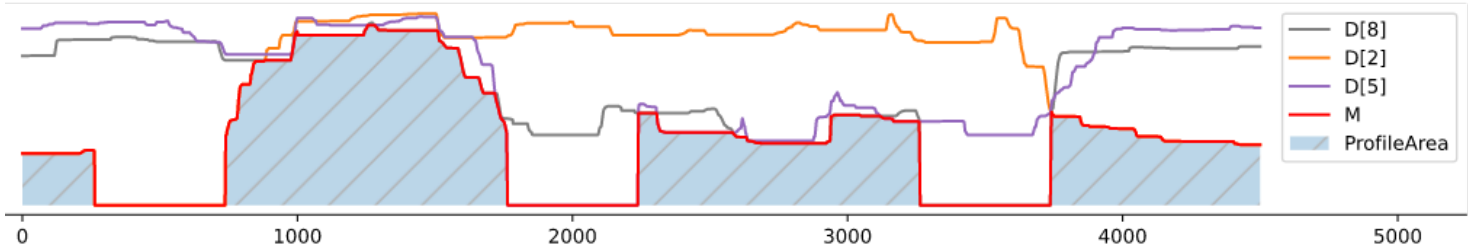
Поиск C_3

i	$ProfileArea$
1	34475
3	27899
4	27908
5	31168
6	31532
7	31672
9	31654
10	33044

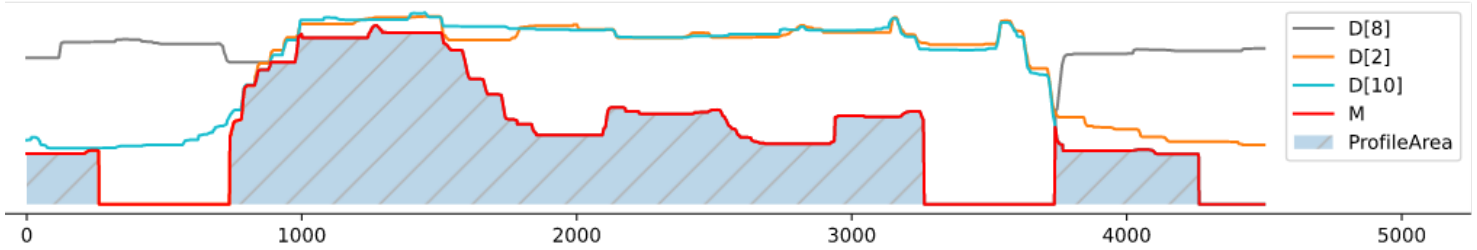
$C_3.index = 3$



$ProfileArea(\{D_8, D_2, D_3\}) = 27899$

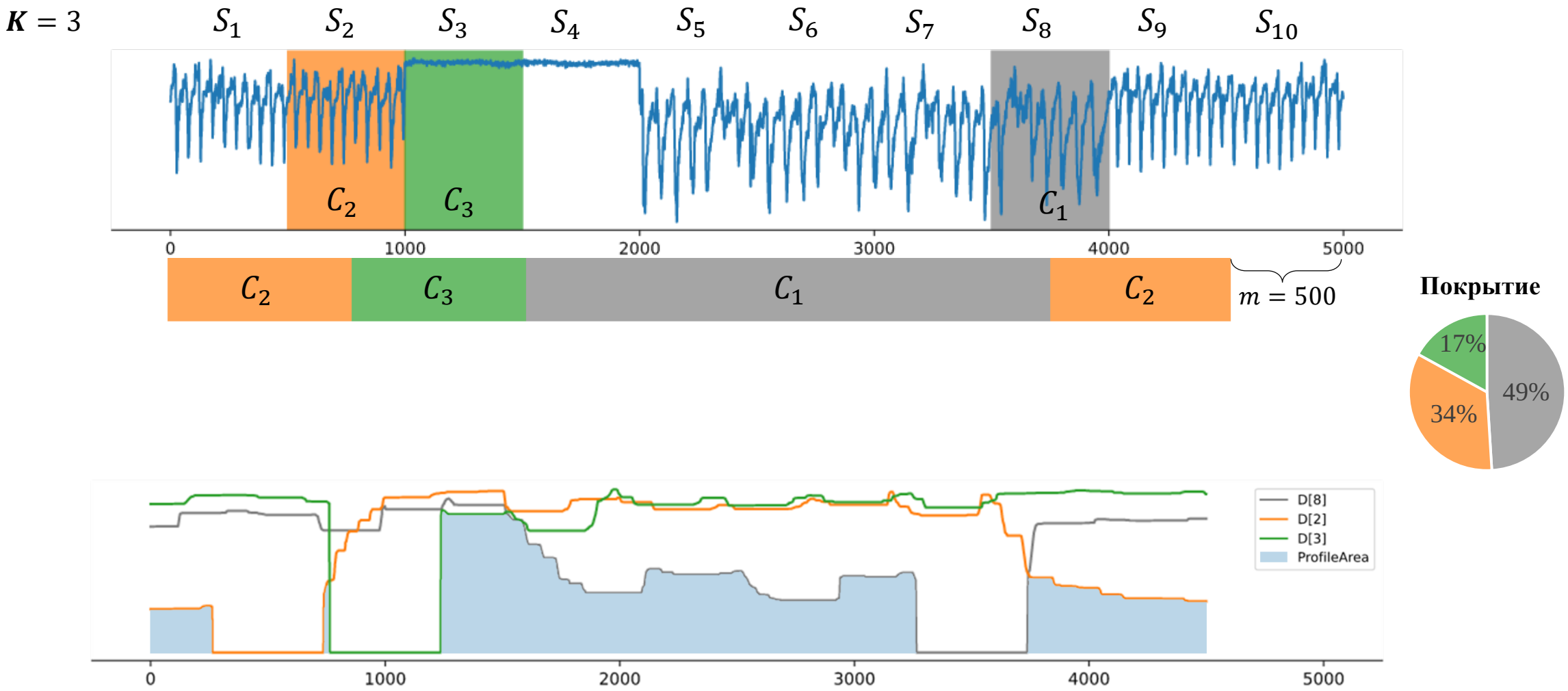


$ProfileArea(\{D_8, D_2, D_5\}) = 31168$

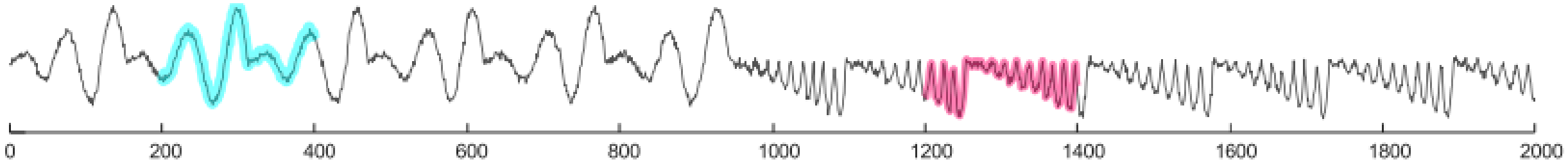


$ProfileArea(\{D_8, D_2, D_{10}\}) = 33044$

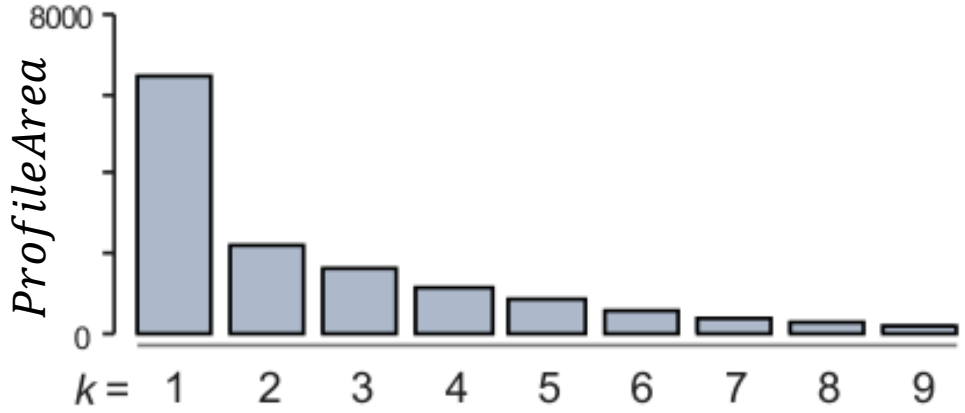
Алгоритм Snippet-Finder: итог

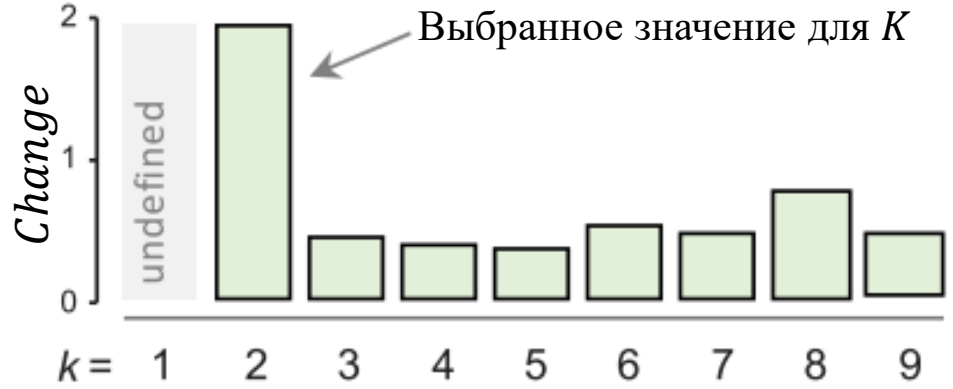


Подбор количества сниппетов *K*



$$Change_k = \frac{ProfileArea_{k-1}}{ProfileArea_k} - 1$$





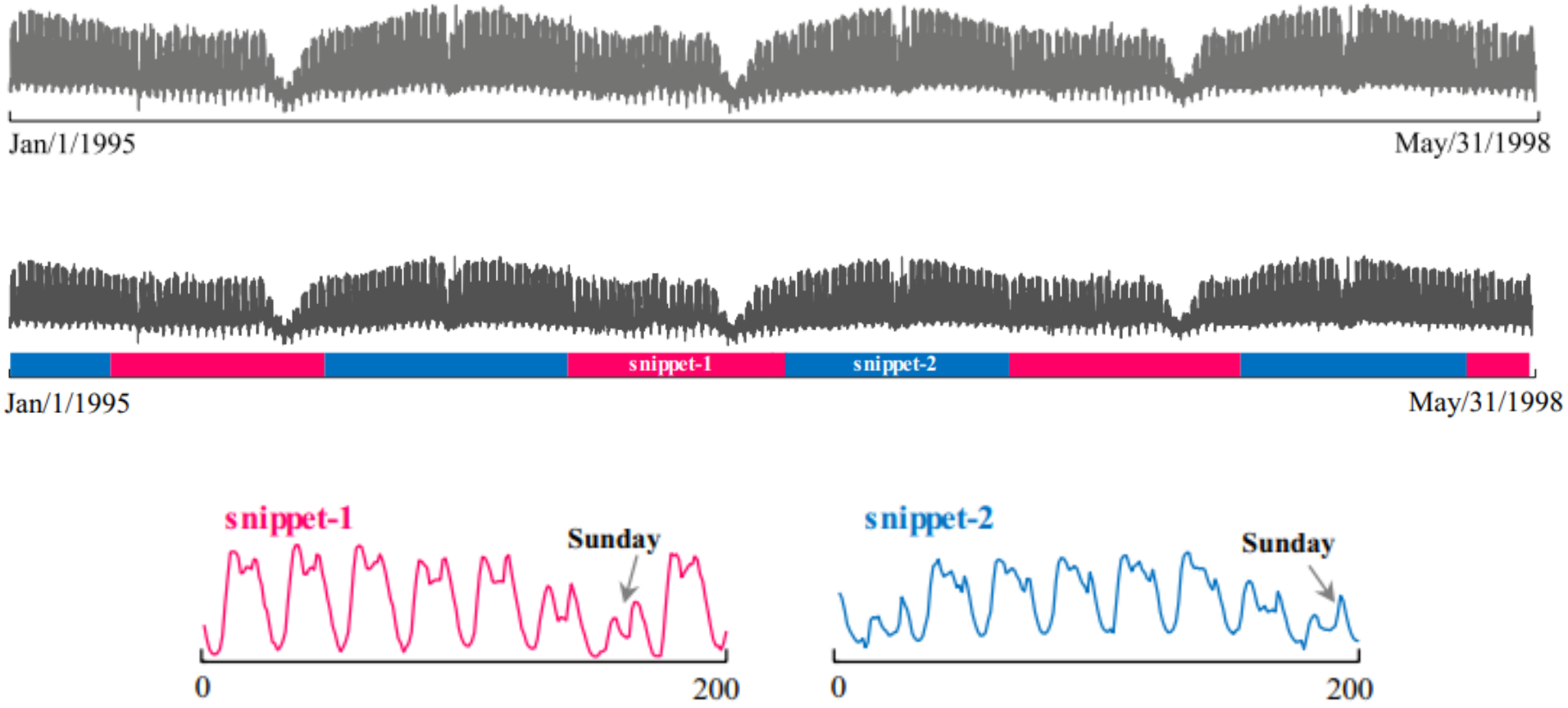
Большой пик на k-м значении показывает предпочтительное K

Содержание

- Мера MPdist
- Сниппеты и алгоритм Snippet-Finder
- **Применение сниппетов**

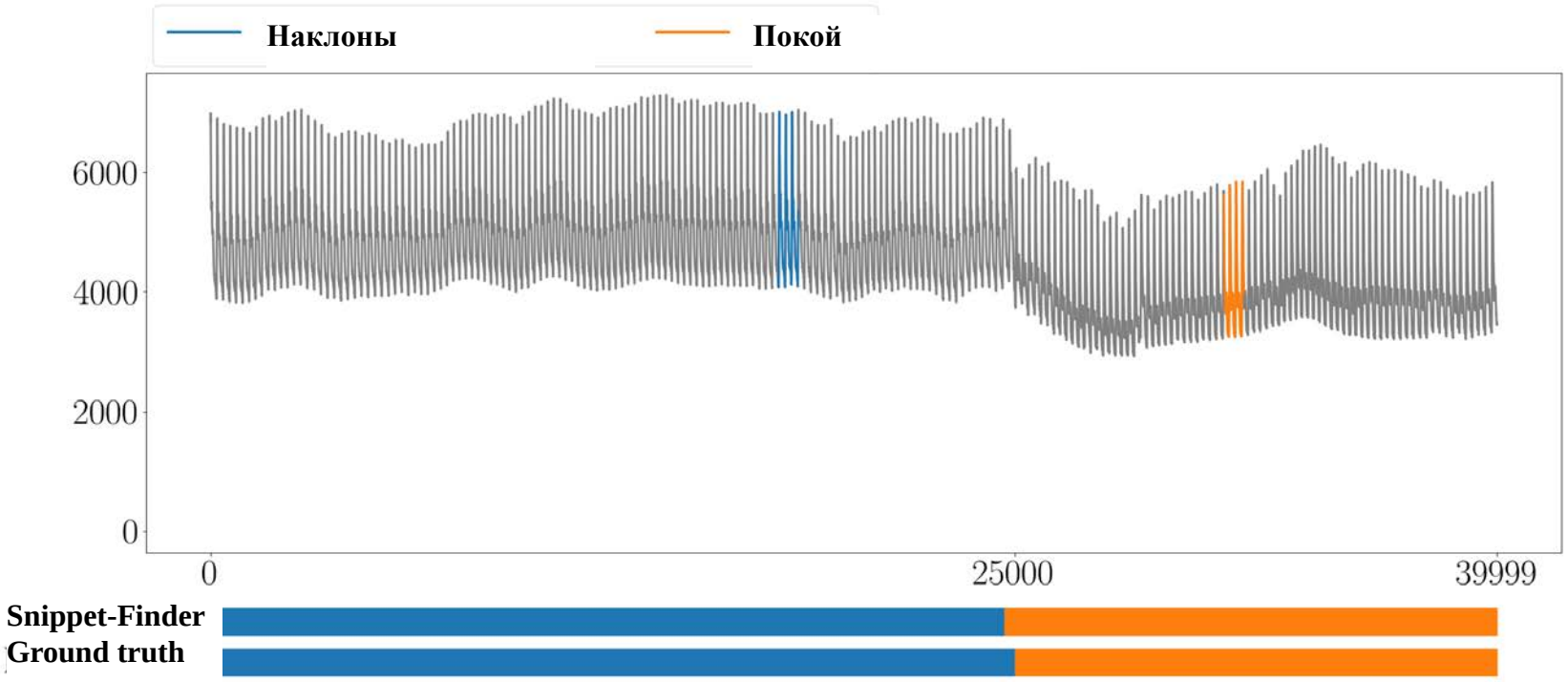
Применение сниппетов

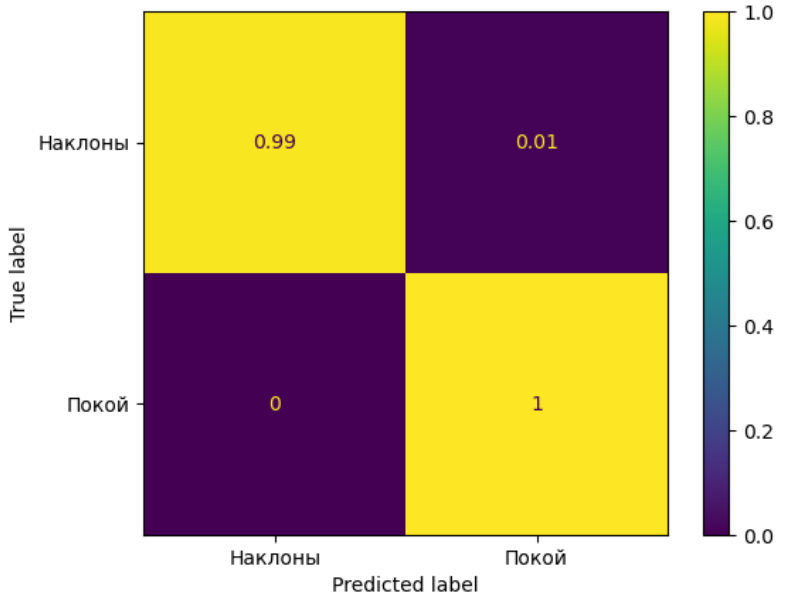
Энергопотребление города в Италии за 3 года



Сниппеты показывают типичное поведение в теплые и холодные сезоны

Применение сниппетов: распознавание активностей

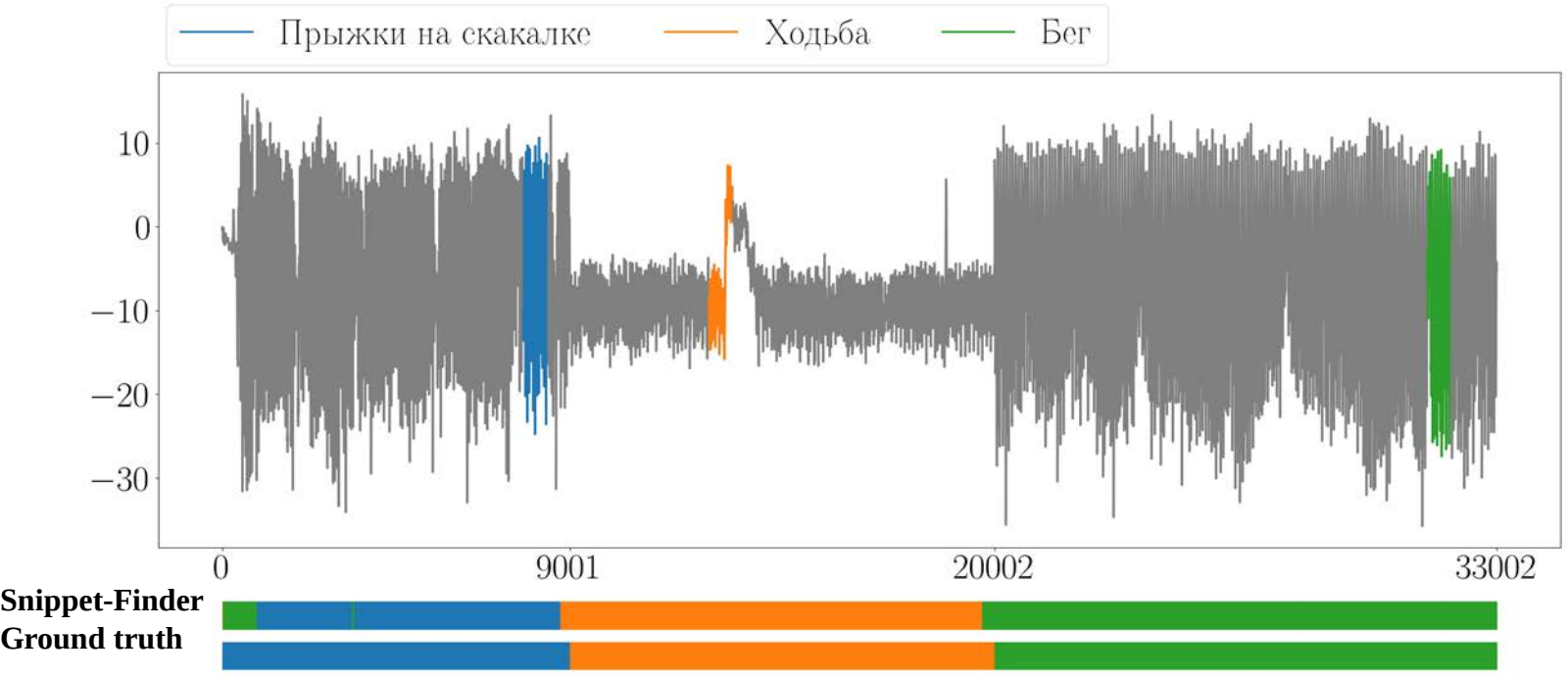


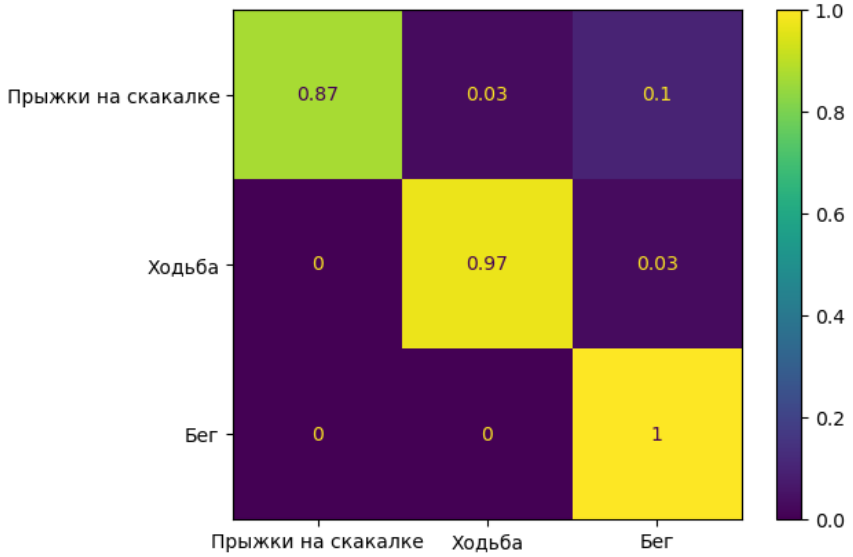


Активность	Precision	Recall	F1
Наклоны	1	0.99	0.99
Покой	0.98	1	0.99

* Imani S., et al. Introducing time series snippets: a new primitive for summarizing long time series. Data Min. Knowl. Discov. 34(6): 1713-1743 (2020). DOI: 10.1007/s10618-020-00702-y

Применение сниппетов: распознавание активностей

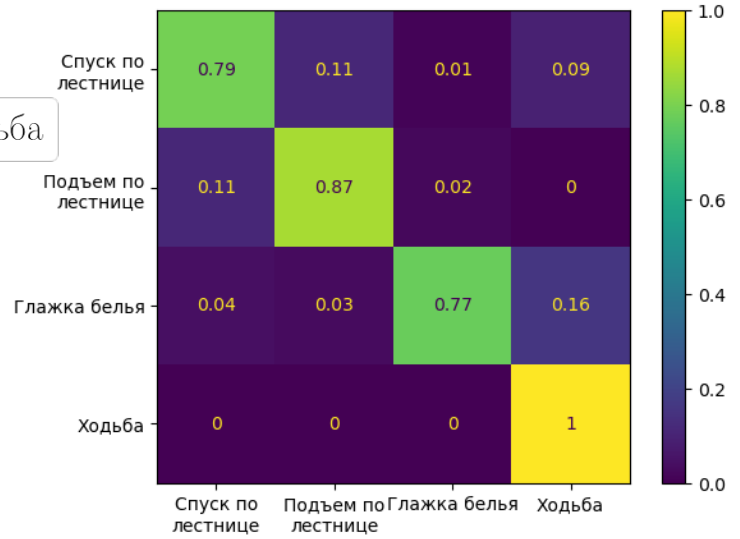




Активность	Precision	Recall	F1
Прыжки на скакалке	1	0.87	0.93
Ходьба	0.98	0.97	0.97
Бег	0.77	1	0.87

* Reiss A., Stricker D. Introducing a new benchmarked dataset for activity monitoring. ISWC 2012, Newcastle, UK, June 18-22, 2012. 108–109. IEEE (2012). DOI: 10.1109/ISWC.2012.13

Применение сниппетов: распознавание активностей



Активность	Precision	Recall	F1
Спуск по лестнице	0.80	0.79	0.80
Подъем по лестнице	0.87	0.87	0.87
Глажка белья	0.97	0.77	0.86
Ходьба	0.86	1	0.92

* Reiss A., Stricker D. Introducing a new benchmarked dataset for activity monitoring. ISWC 2012, Newcastle, UK, June 18-22, 2012. 108–109. IEEE (2012). DOI: 10.1109/ISWC.2012.13

Литература

1. Gharghabi S., Imani S., Bagnall A.J., Darvishzadeh A., Keogh E.J. An ultra-fast time series distance measure to allow data mining in more complex real-world deployments. Data Min. Knowl. Discov. 2020. 34, pp. 1104–1135. https://doi.org/10.1007/s10618- 020-00695-8.
2. Imani S., Madrid F., Ding W., Crouter S.E., Keogh E.J. Matrix Profile XIII: Time series snippets: A new primitive for time series data mining. Proc. of the 2018 IEEE Int. Conf. on Big Knowledge, ICBK 2018, Singapore, 17–18 November 2018. pp. 382–389. https://doi.org/10.1109/ICBK.2018.00058.
3. Imani S., Madrid F., Ding W., Crouter S.E., Keogh E.J. Introducing time series snippets: a new primitive for summarizing long time series. Data Min. Knowl. Discov. 2020. 34. pp. 1713–1743. https://doi.org/10.1007/s10618-020-00702-y.