

Поиск типичных подпоследовательностей временного ряда

дела



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

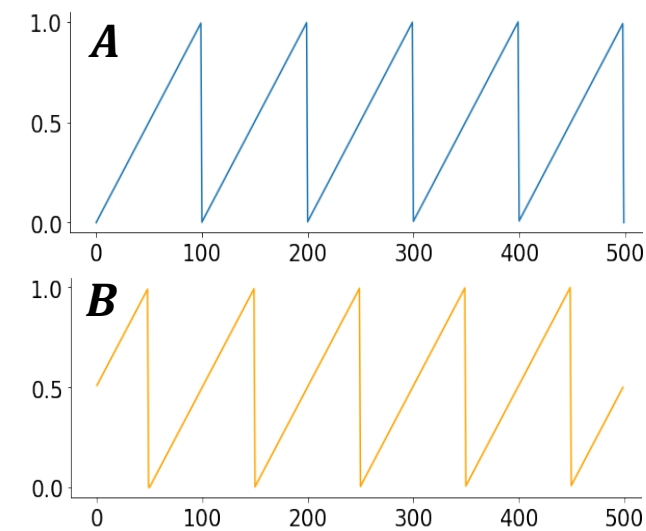
Плотин

Содержание

- Мера MPdist
- Снимпеты и алгоритм Snippet-Finder
- Применение снимпетов

Мера MPdist (Matrix Profile distance)*: неформальное определение

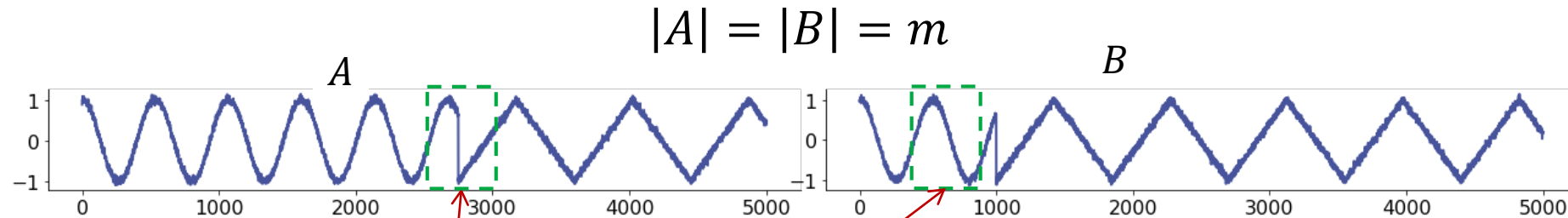
- Схожесть временных рядов A и B ($|A| = |B| = m$) по MPdist пропорциональна количеству в них подпоследовательностей длины ℓ ($3 \leq \ell \leq m$), близких в смысле нормализованного евклидова расстояния
- MPdist не удовлетворяет аксиоме треугольника
- MPdist устойчива к шумам, инвариантна к фазе и амплитуде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



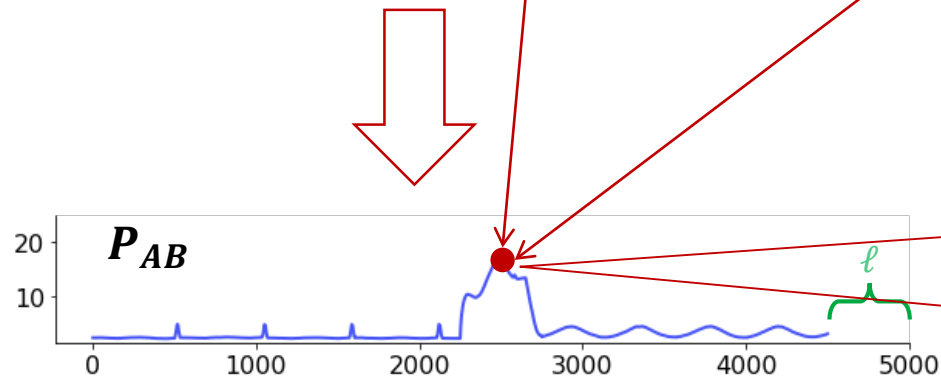
ED(A, B)	11.2
MPdist (A, B)	0

* 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](https://doi.org/10.1007/s10618-020-00695-8)

Мера MPdist, формальное определение: P_{AB}



Значимая длина подпоследовательности: $3 \leq \ell \leq m$ (обычно $[0.3m] < \ell \leq [0.8m]$)

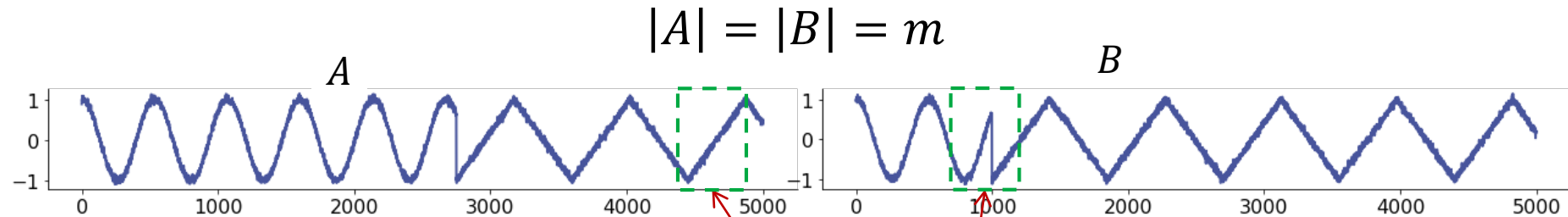


$$P_{AB}(i) = \text{ED}_{\text{norm}}(A_{i,\ell}, B_{\text{nn}})$$

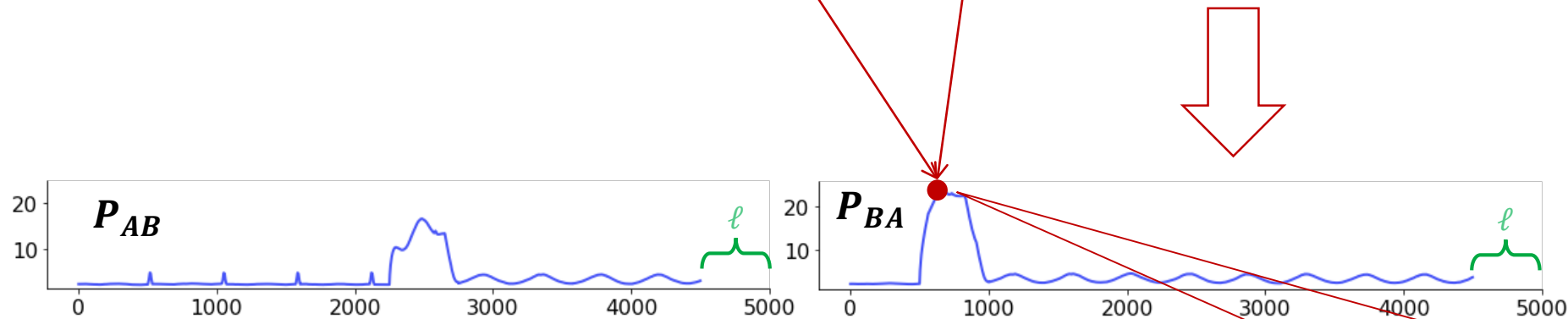
$$B_{\text{nn}} = \arg \min_{B_{j,\ell} \in S_B^\ell} \text{ED}_{\text{norm}}(A_{i,\ell}, B_{j,\ell})$$

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

Мера MPdist, формальное определение: P_{BA}



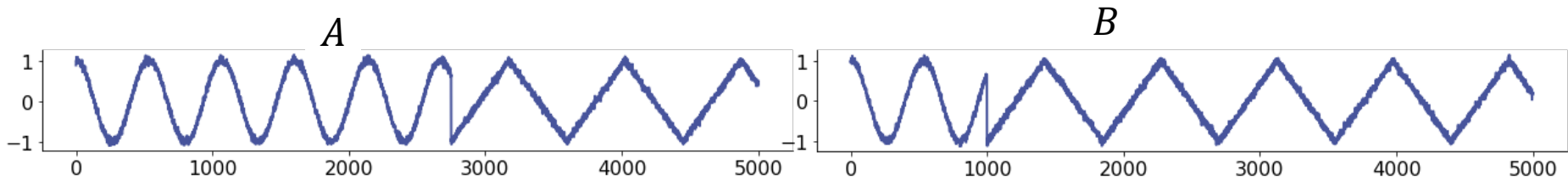
Значимая длина подпоследовательности: $3 \leq \ell \leq m$ (обычно $[0.3m] < \ell \leq [0.8m]$)



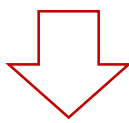
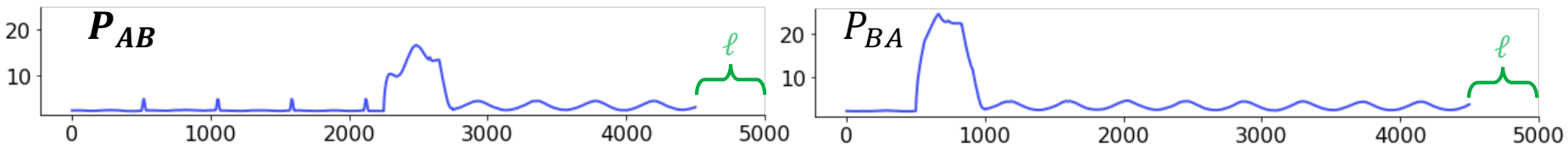
$$P_{BA}(j) = \text{ED}_{\text{norm}}(A_{\text{nn}}, B_{j,\ell})$$

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

Мера MPdist, формальное определение: P_{ABBA}

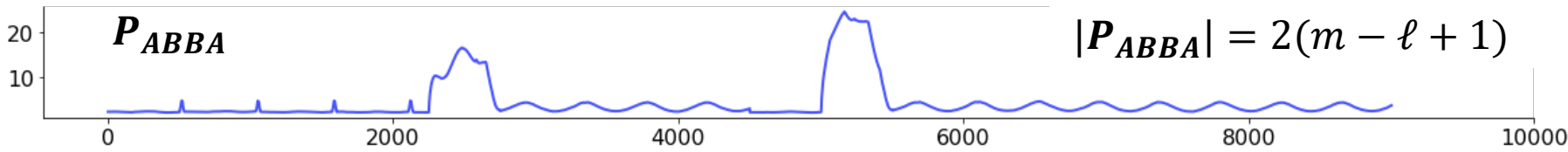


$3 \leq \ell \leq m$



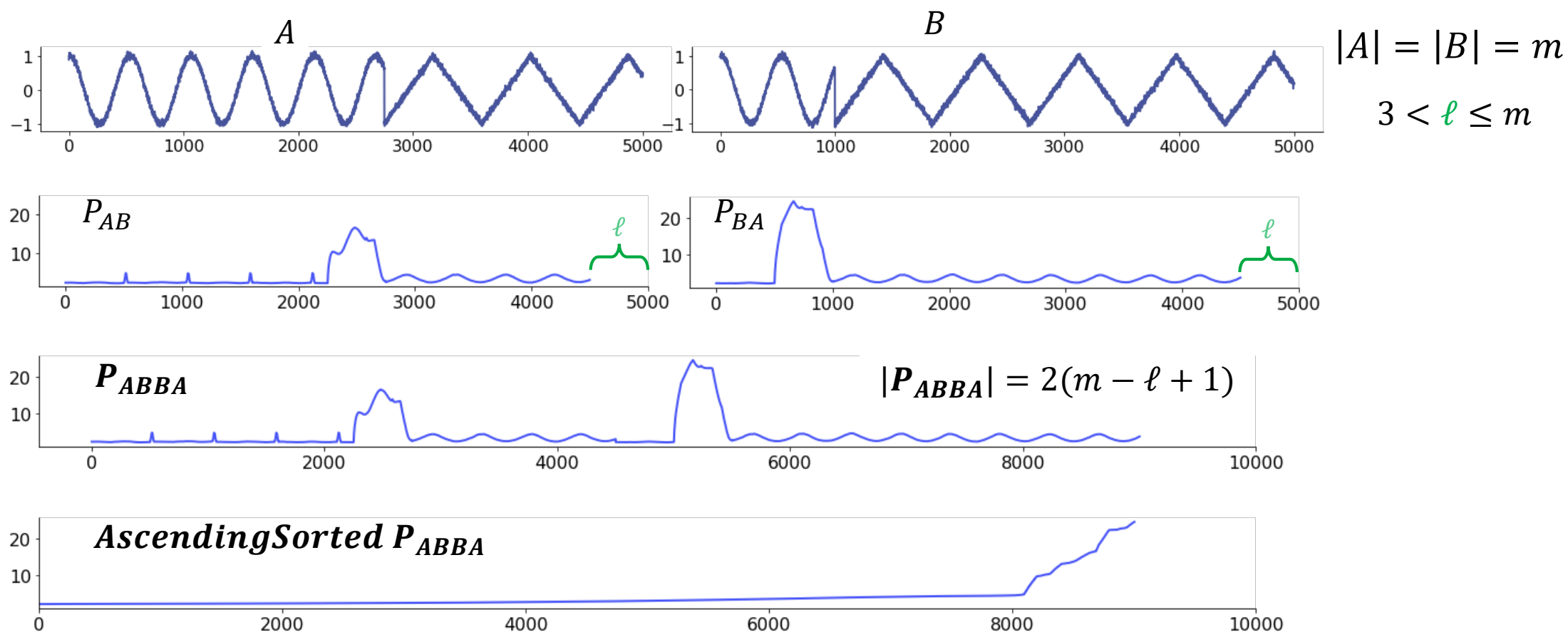
Конкатенация
(склейка)

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

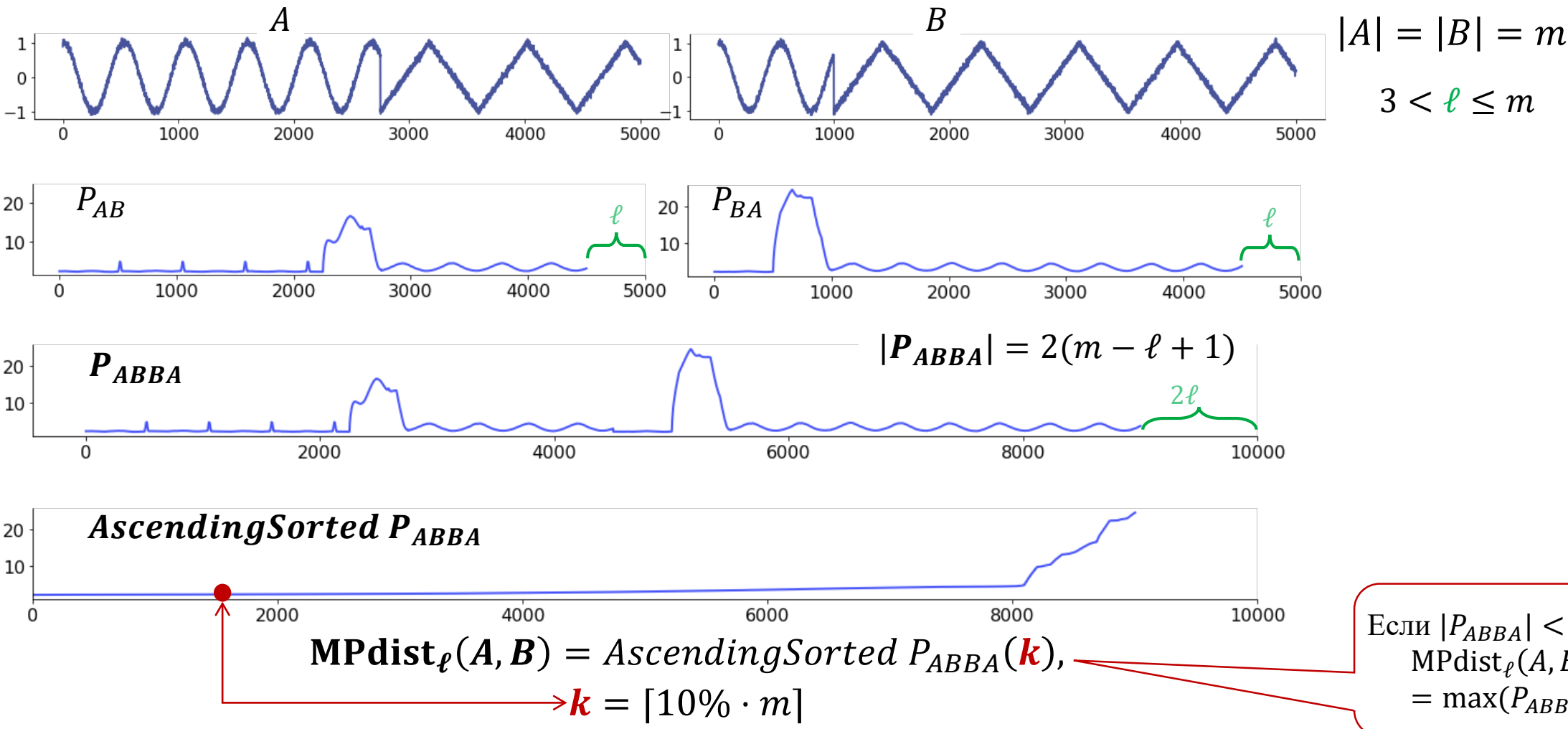


$|P_{ABBA}| = 2(m - \ell + 1)$

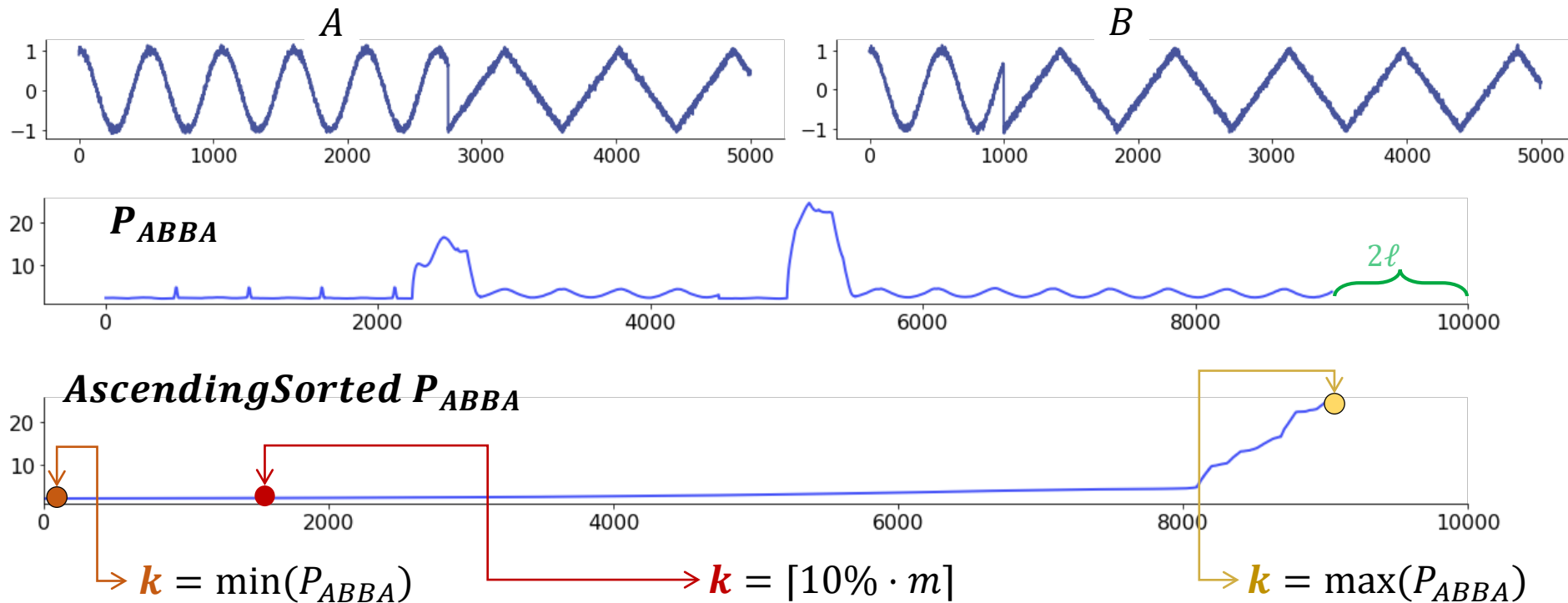
Мера MPdist, формальное определение: $Sorted P_{ABBA}$



Мера MPdist, формальное определение: *Sorted P_{ABBA}*



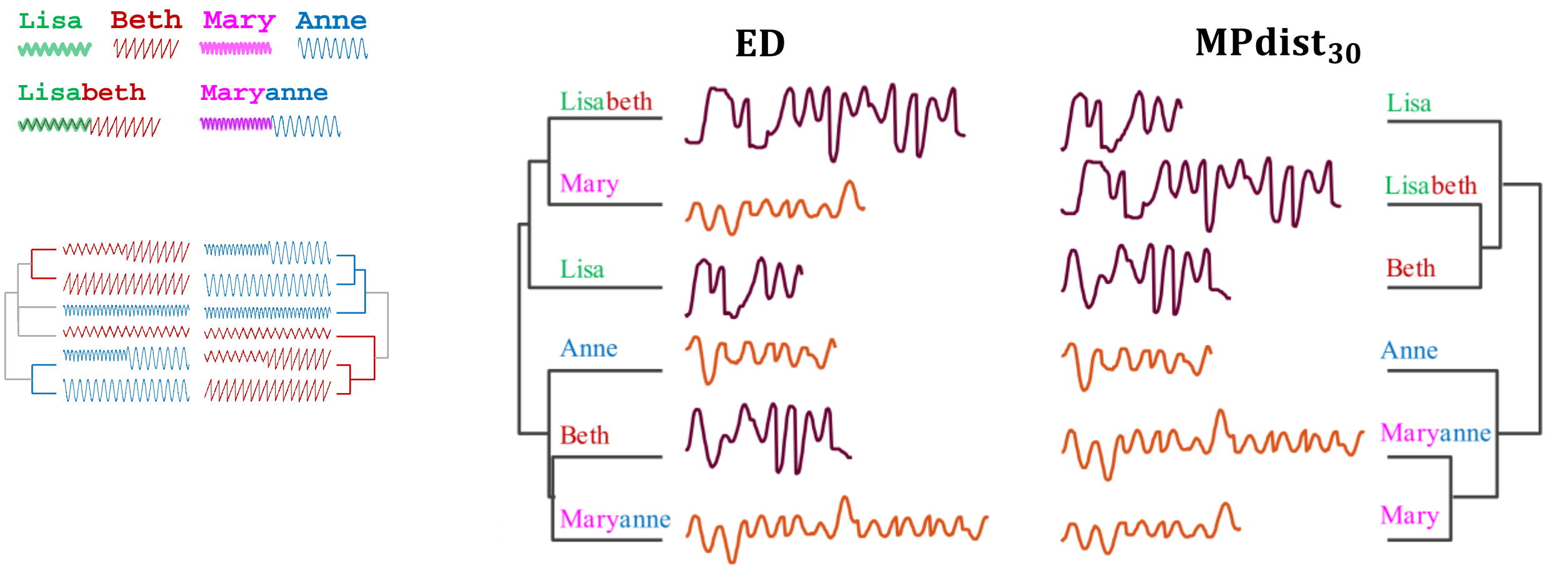
MPdist: Параметр k



$$MPdist_{\ell}(A, B) = AscendingSorted P_{ABBA}(k)$$

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

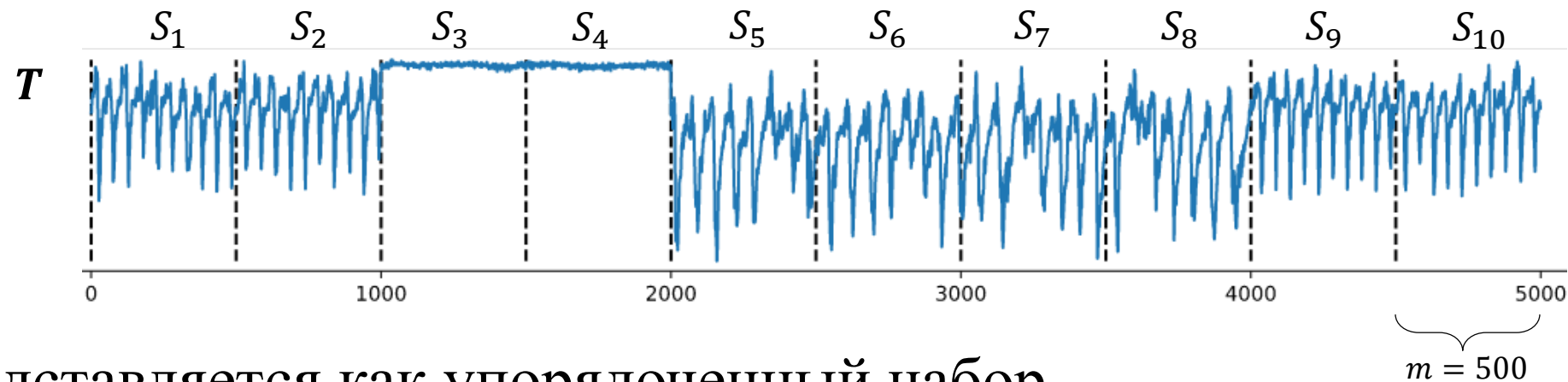
Применение MPdist



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:

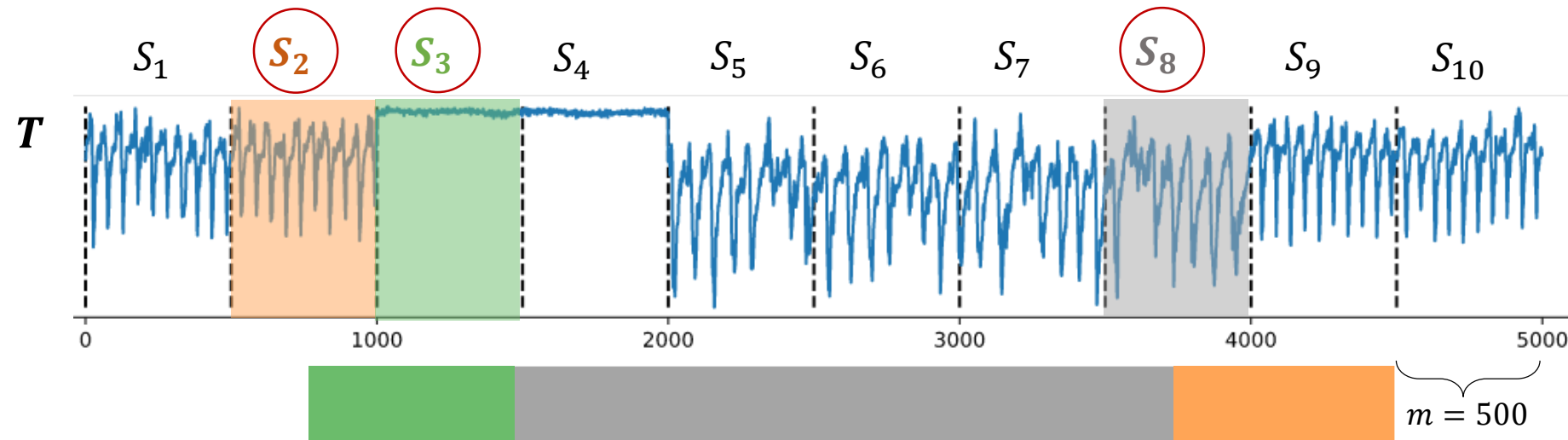
$$S = \{S_i\}_{i=1}^{n/m}, S_i = T_{m(i-1)+1, m}$$

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](https://doi.org/10.1007/s10618-020-00702-y)

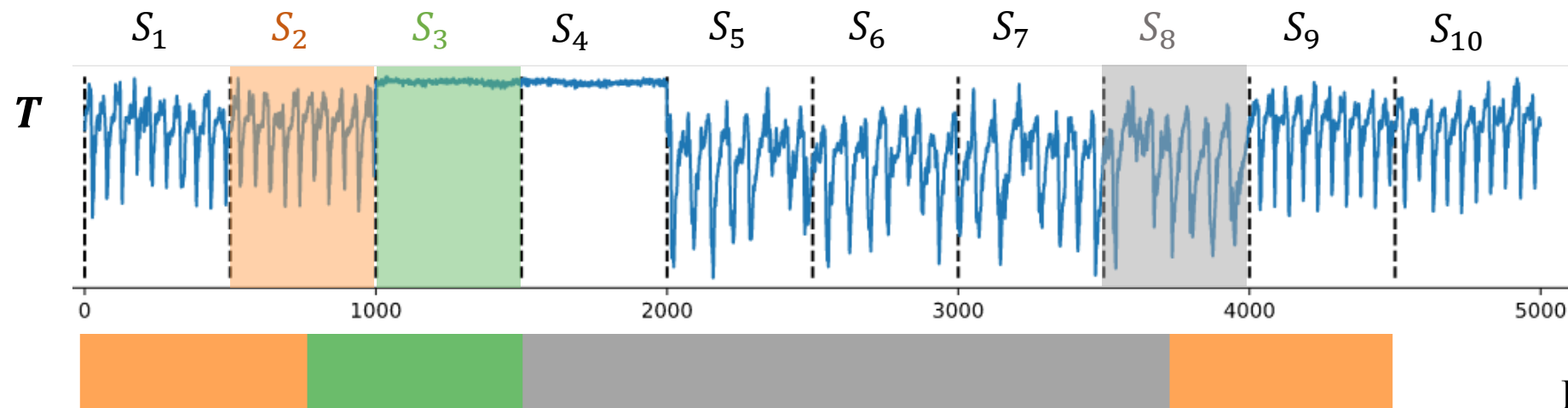
Сниппеты (snippets) – наиболее типичные подпоследовательности



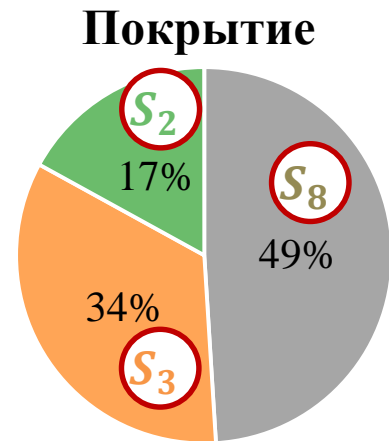
1. Ряд представляется как упорядоченный набор непересекающихся сегментов заданной длины
2. Для каждого сегмента найдем его ближайших соседей в смысле MPdist

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](https://doi.org/10.1007/s10618-020-00702-y)

Сниппеты (snippets) – наиболее типичные подпоследовательности

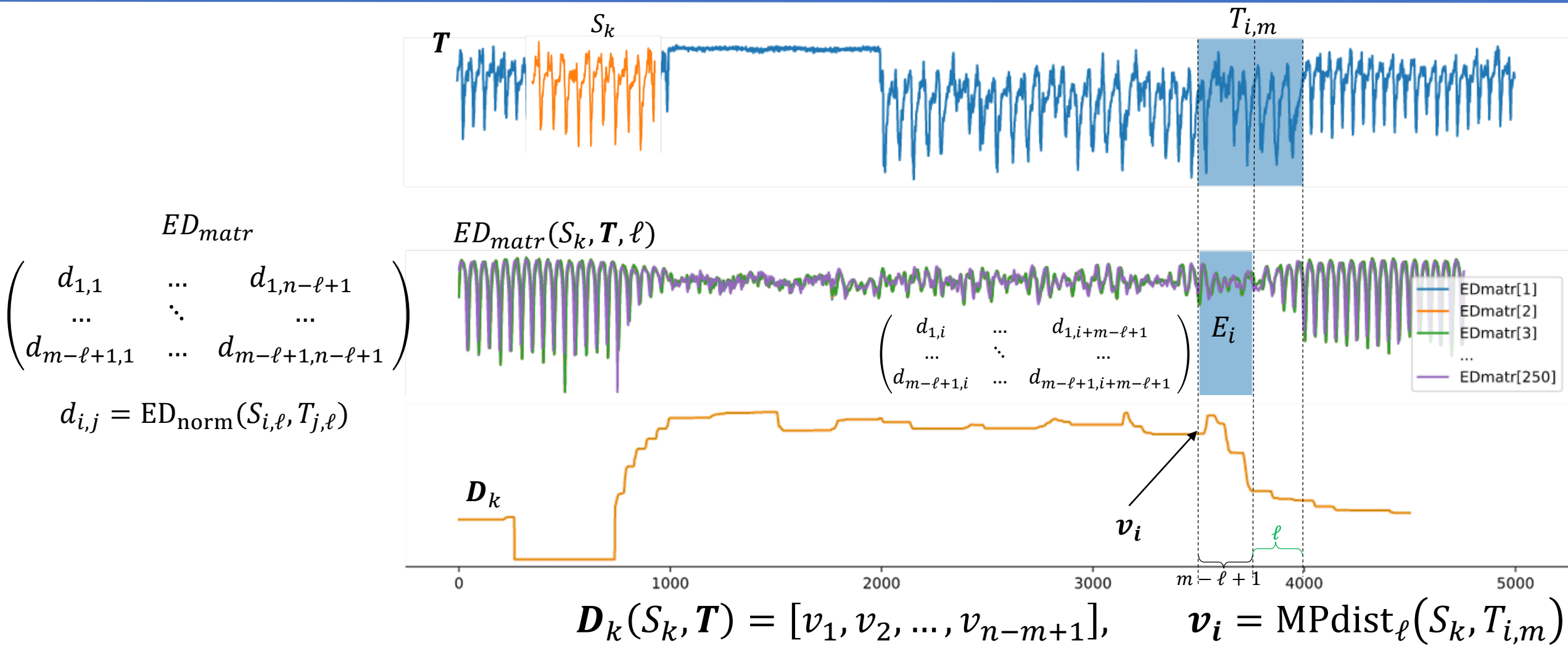
 $K = 3$ 

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](https://doi.org/10.1007/s10618-020-00702-y)

Алгоритм Snippet-Finder: MPdist профили



Алгоритм Snippet-Finder

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

```

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

```

$i = 1:$ $C_1 = \arg \min_{1 \leq j \leq n/m} \text{ProfileArea}(\{D_j\})$
 $i = 2:$ $C_2 = \arg \min_{1 \leq j \leq n/m} \text{ProfileArea}(\{D_{C_1}, D_j\})$
 $3 \leq i \leq K:$ $C_i = \arg \min_{1 \leq j \leq n/m} \text{ProfileArea}(\{D_{C_1}, \dots, D_{C_{i-1}}, D_j\})$

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

```

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

```

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

```

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

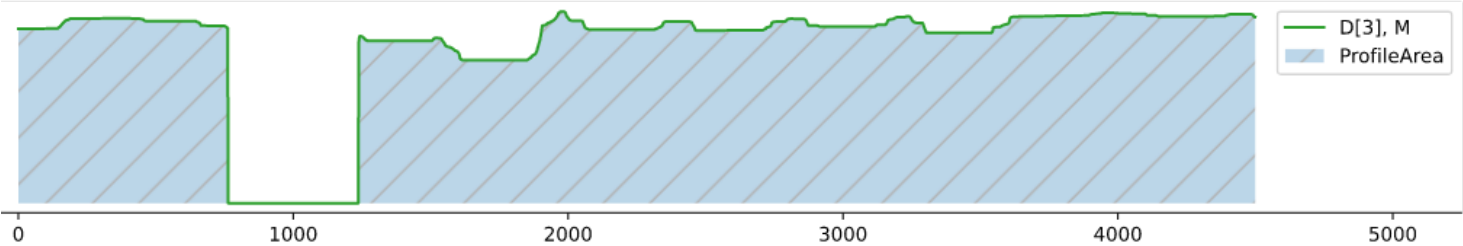
```


Алгоритм Snippet-Finder: Поиск снippetsа top-1

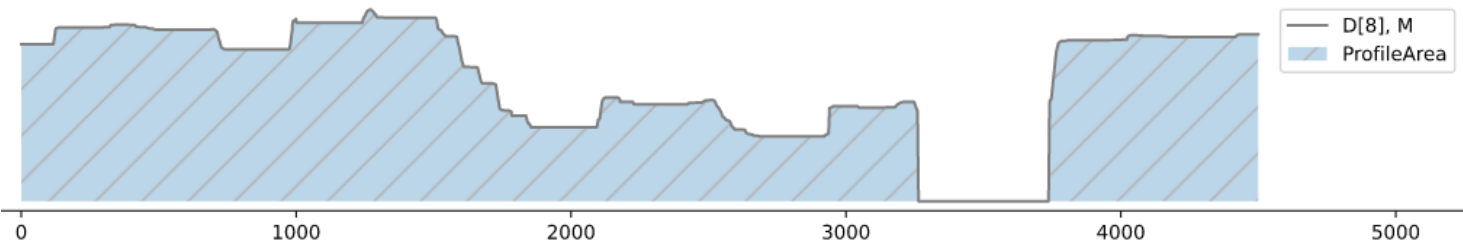
Поиск C_1

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

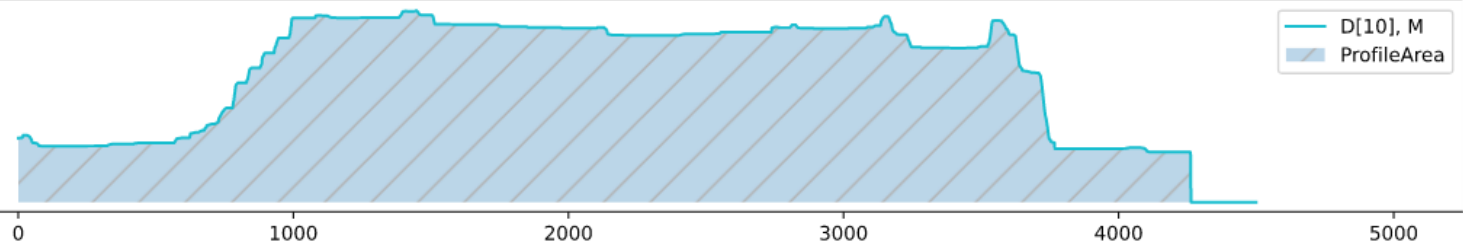
$C_1.index = 8$



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

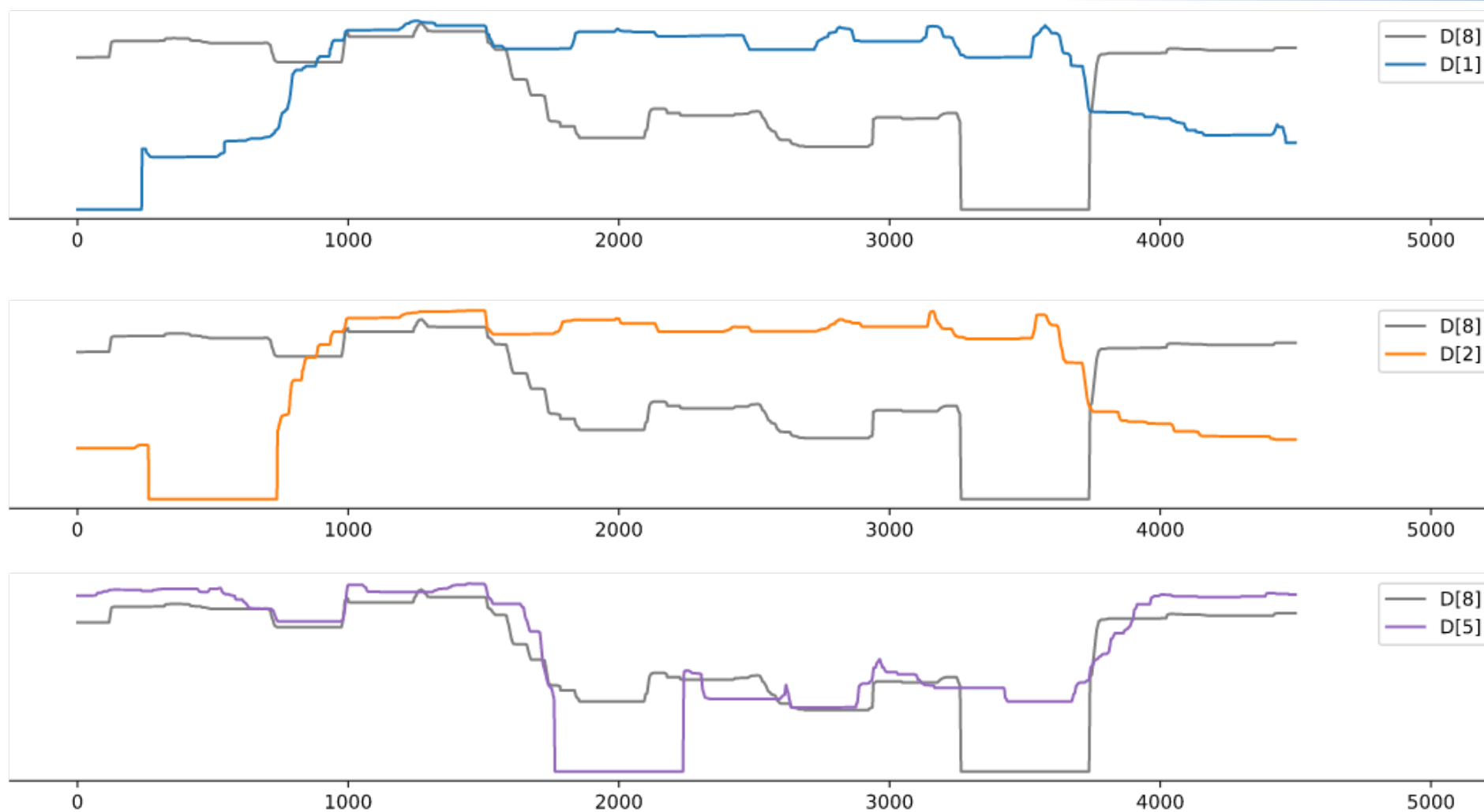


$ProfileArea(\{D_8\}) = 53769$



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

Алгоритм Snippet-Finder: Поиск снippetsа top-2

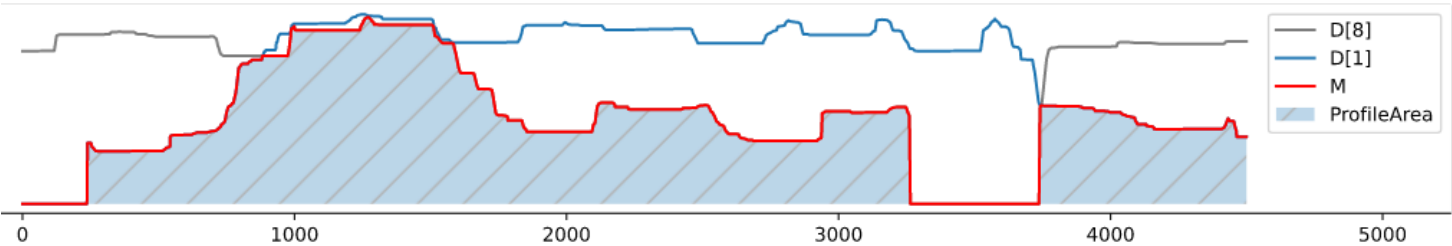


Алгоритм Snippet-Finder: Поиск снippetsа top-2

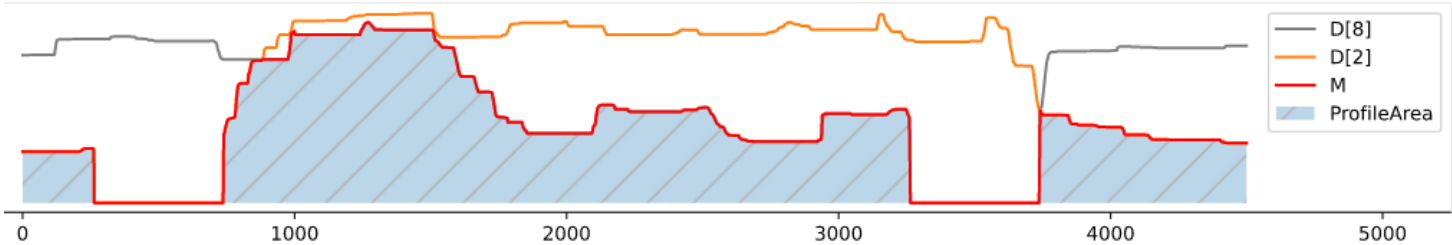
Поиск C_2

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

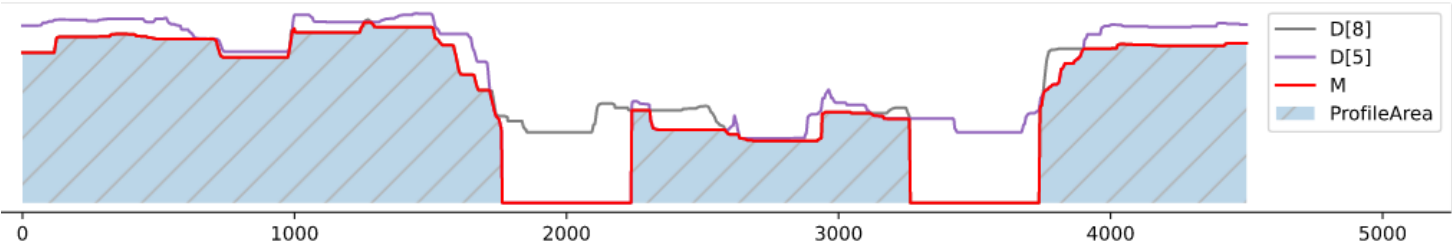
$C_2.index = 2$



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

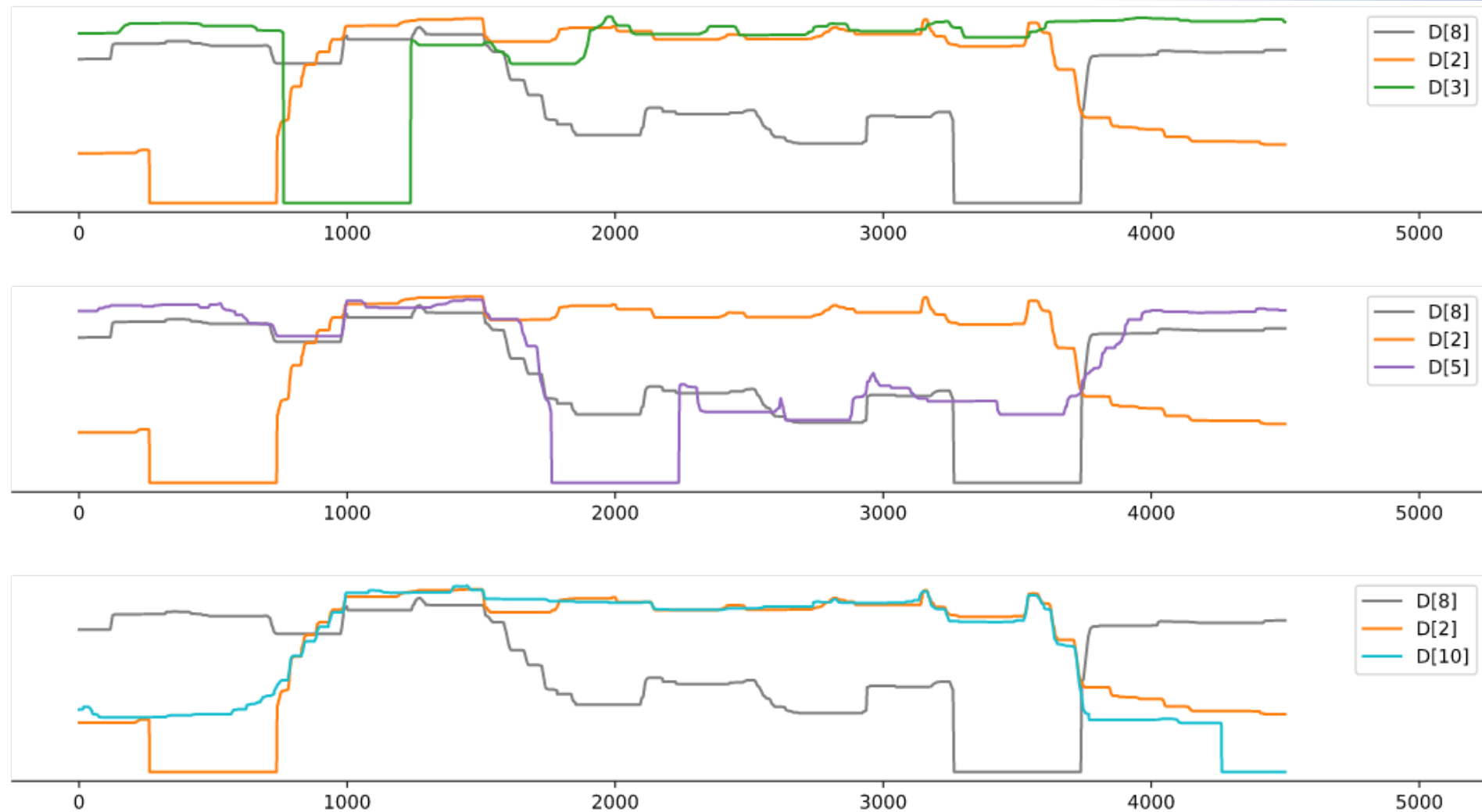


$ProfileArea(\{D_8, D_2\}) = 35769$



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

Алгоритм Snippet-Finder: Поиск снippetsа top-3

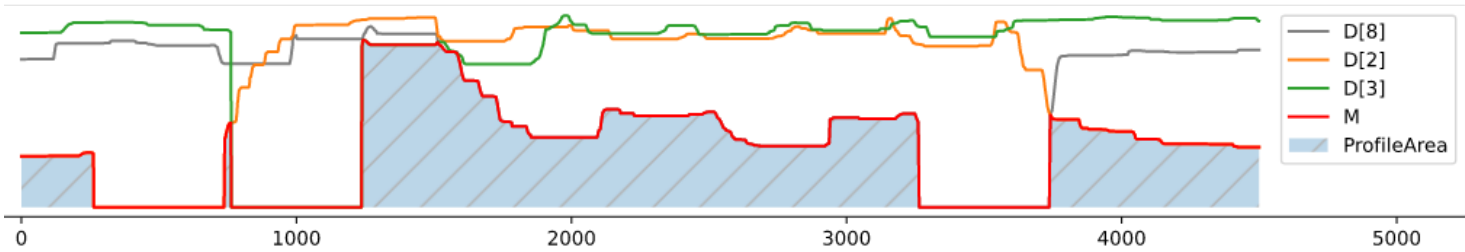


Алгоритм Snippet-Finder: Поиск снippetsа top-3

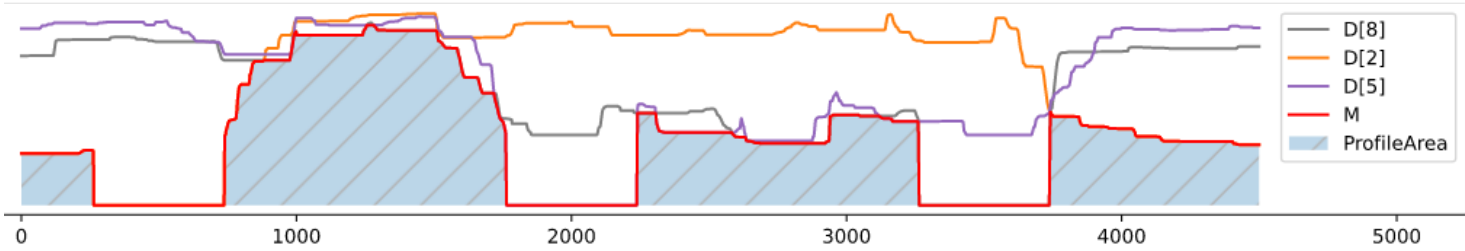
Поиск C_3

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

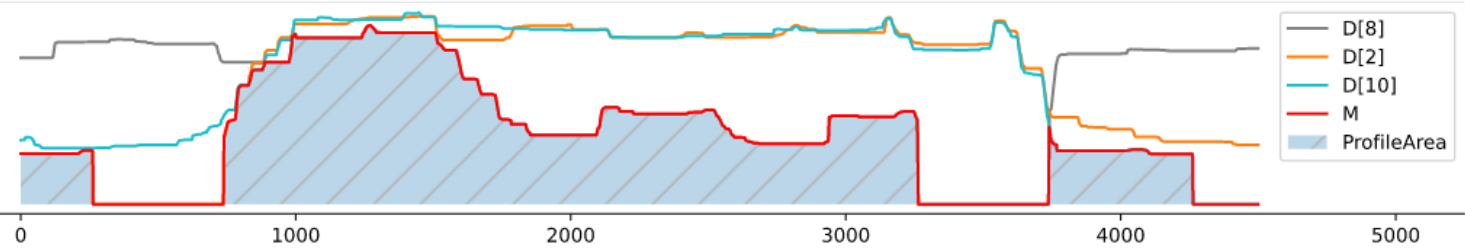
$C_3.index = 3$



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



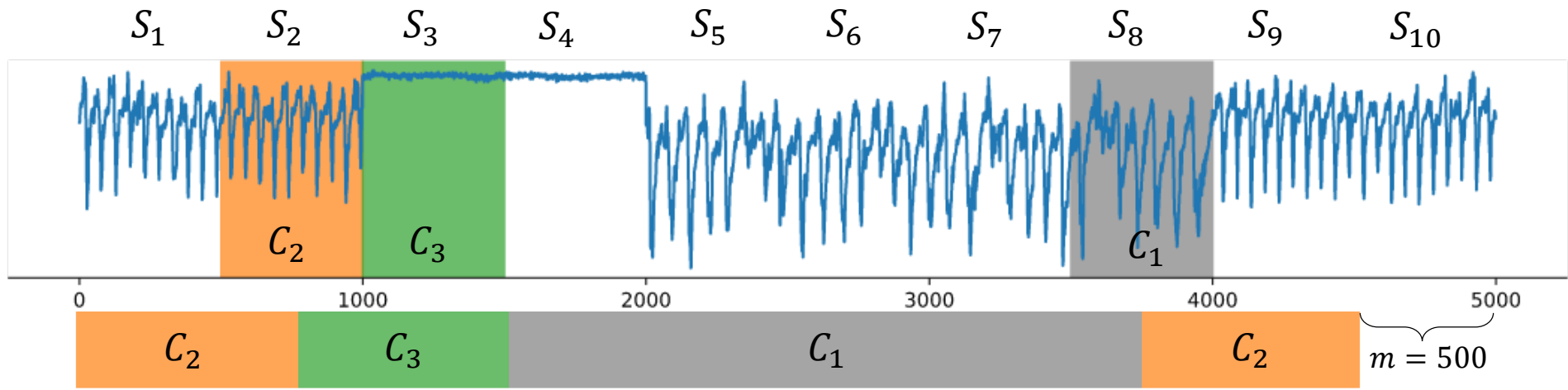
$ProfileArea(\{D_8, D_2, D_5\}) = 31168$



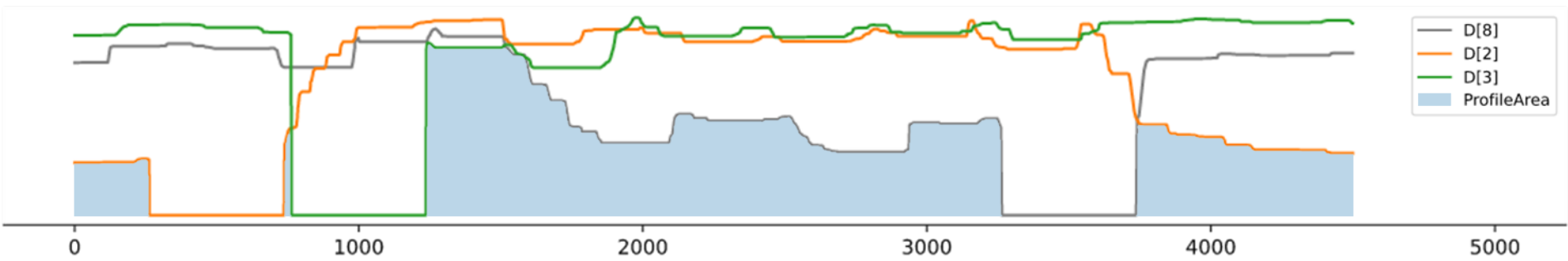
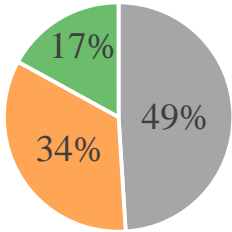
$ProfileArea(\{D_8, D_2, D_{10}\}) = 33044$

Алгоритм Snippet-Finder: итог

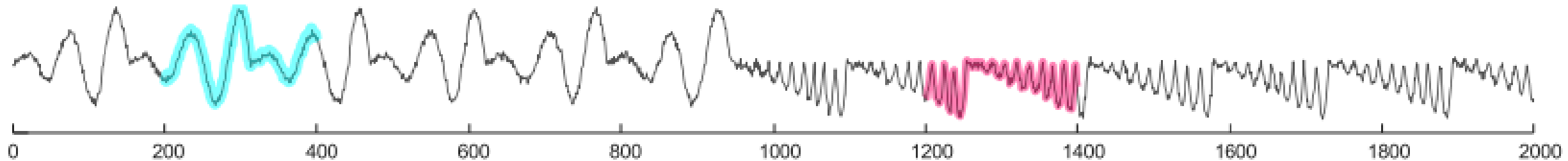
$K = 3$



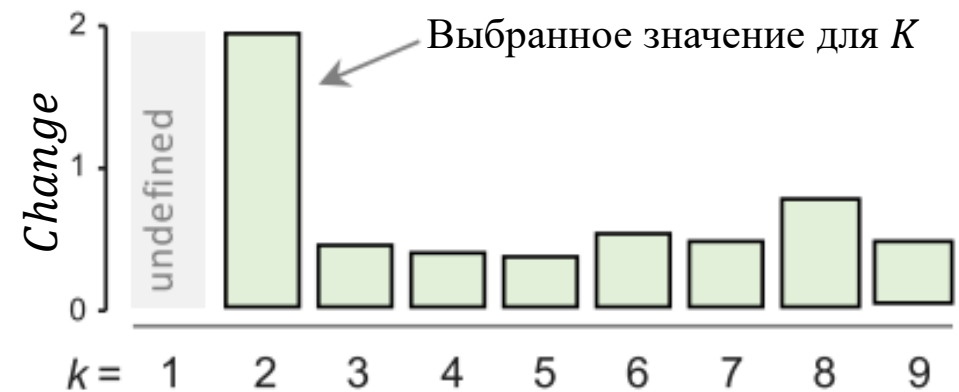
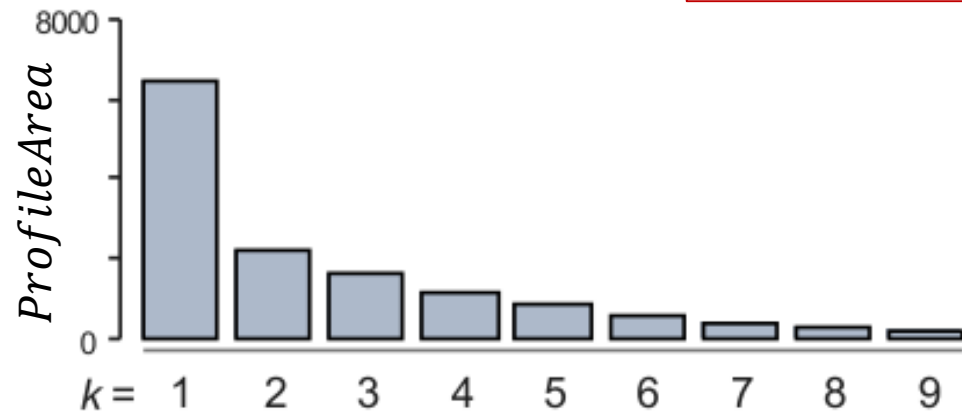
Покрытие



Подбор количества снippetов K



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



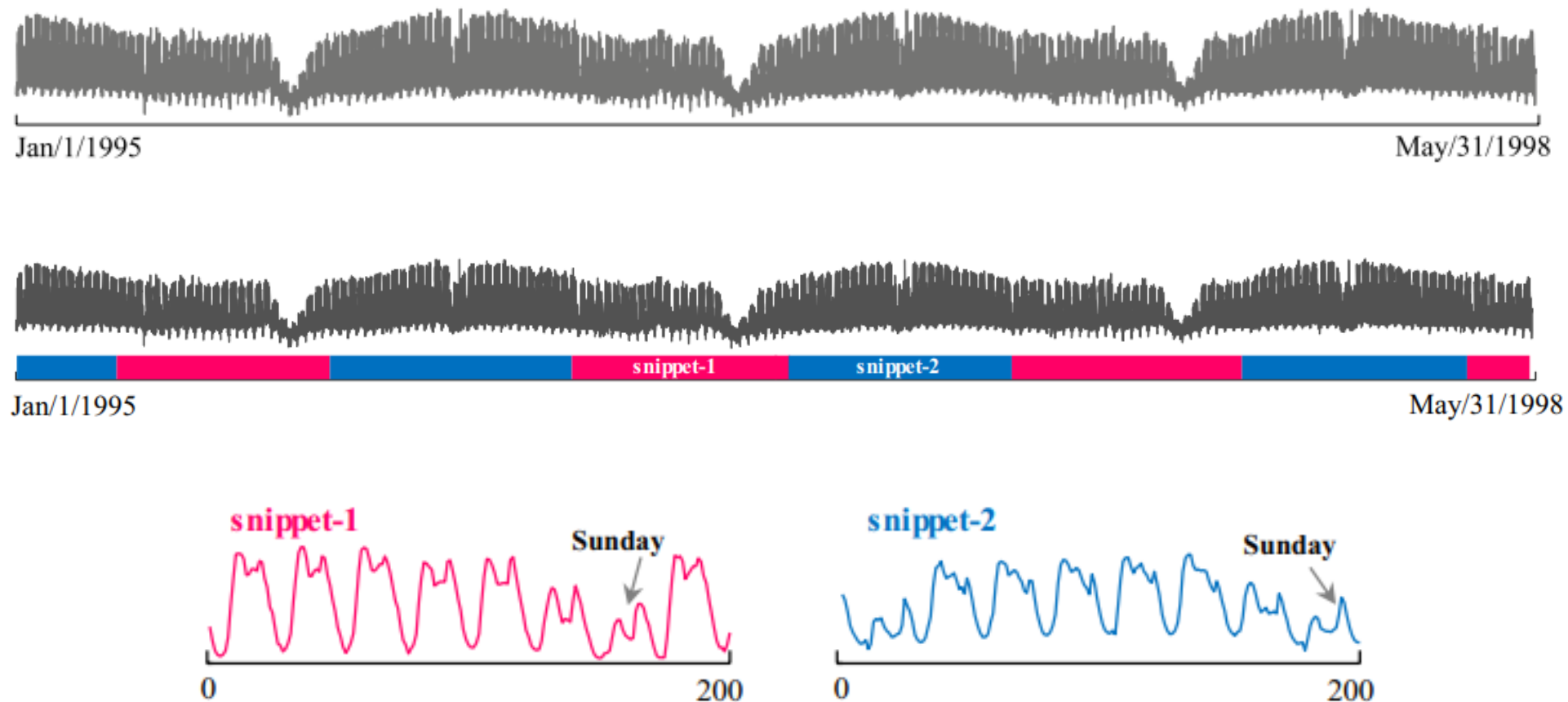
Большой пик на k -м значении показывает предпочтительное K

Содержание

- Мера MPdist
- Снимпеты и алгоритм Snippet-Finder
- **Применение снимпетов**

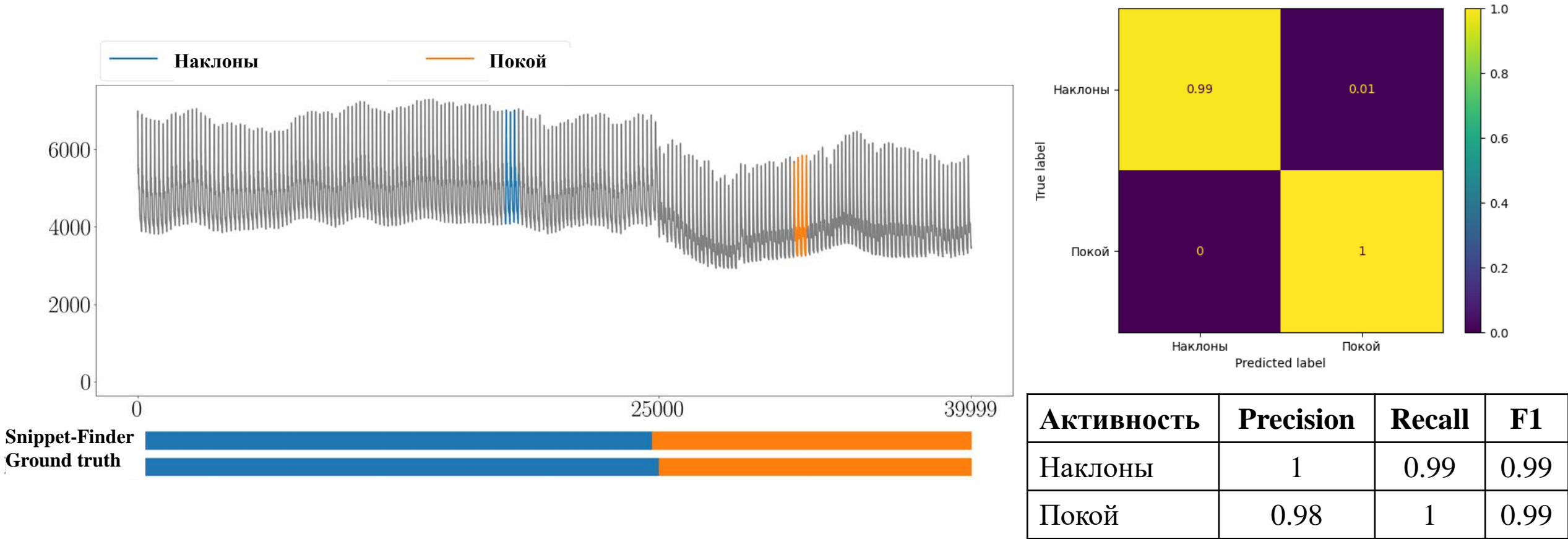
Применение снippetов

Энергопотребление города в Италии за 3 года



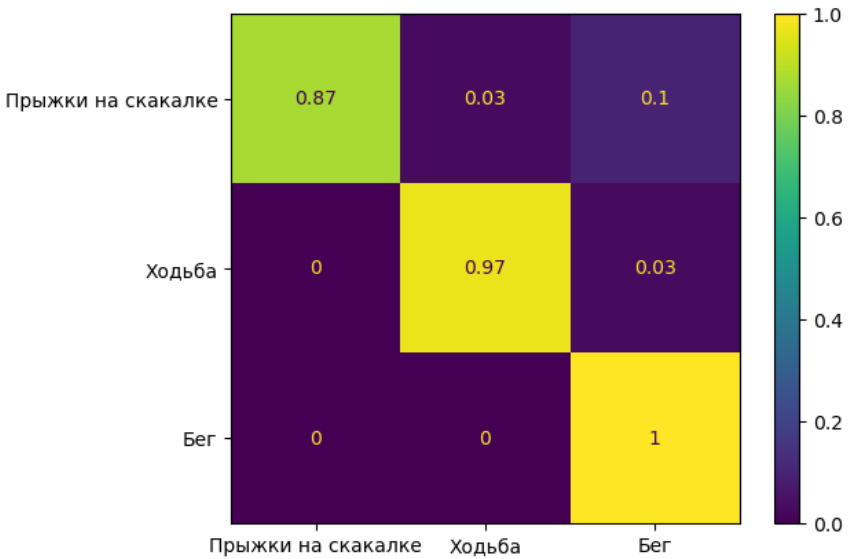
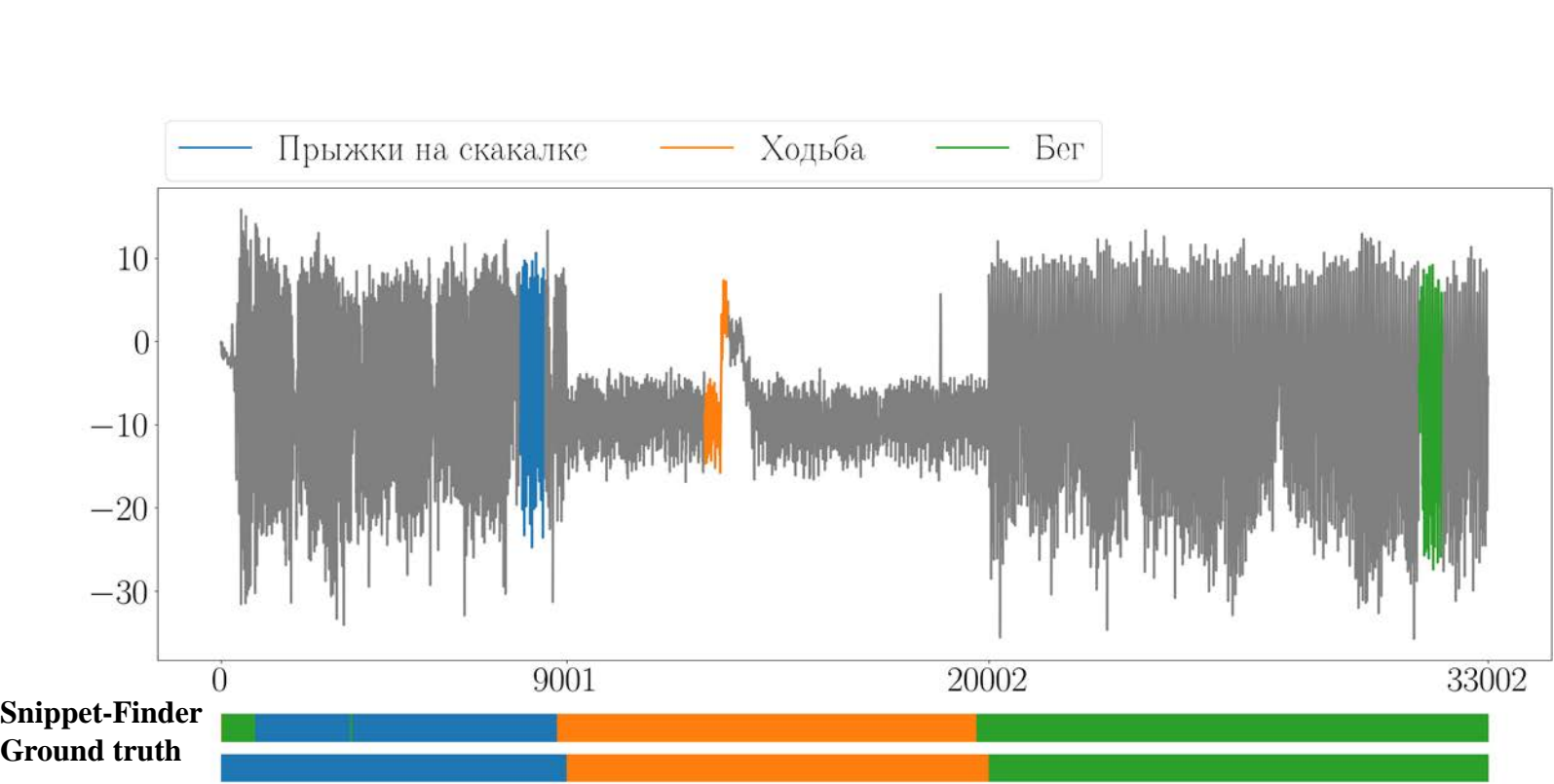
Сниппеты показывают типичное поведение в теплые и холодные сезоны

Применение сниппетов: распознавание активностей



* 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](https://doi.org/10.1007/s10618-020-00702-y)

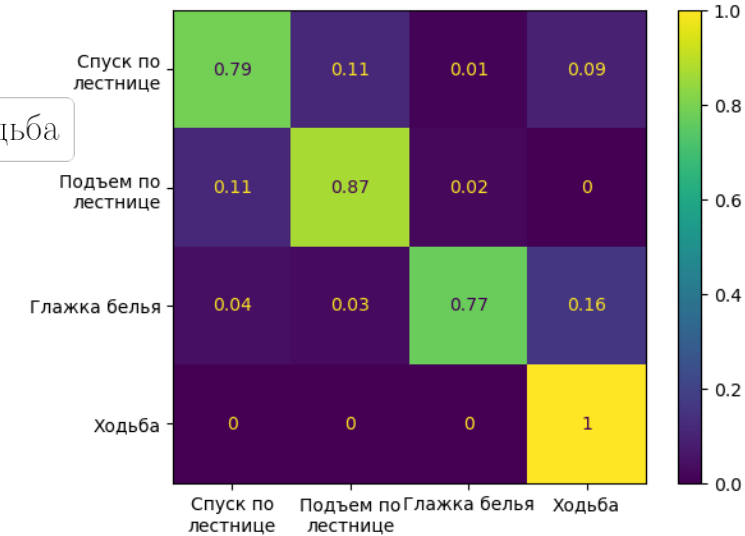
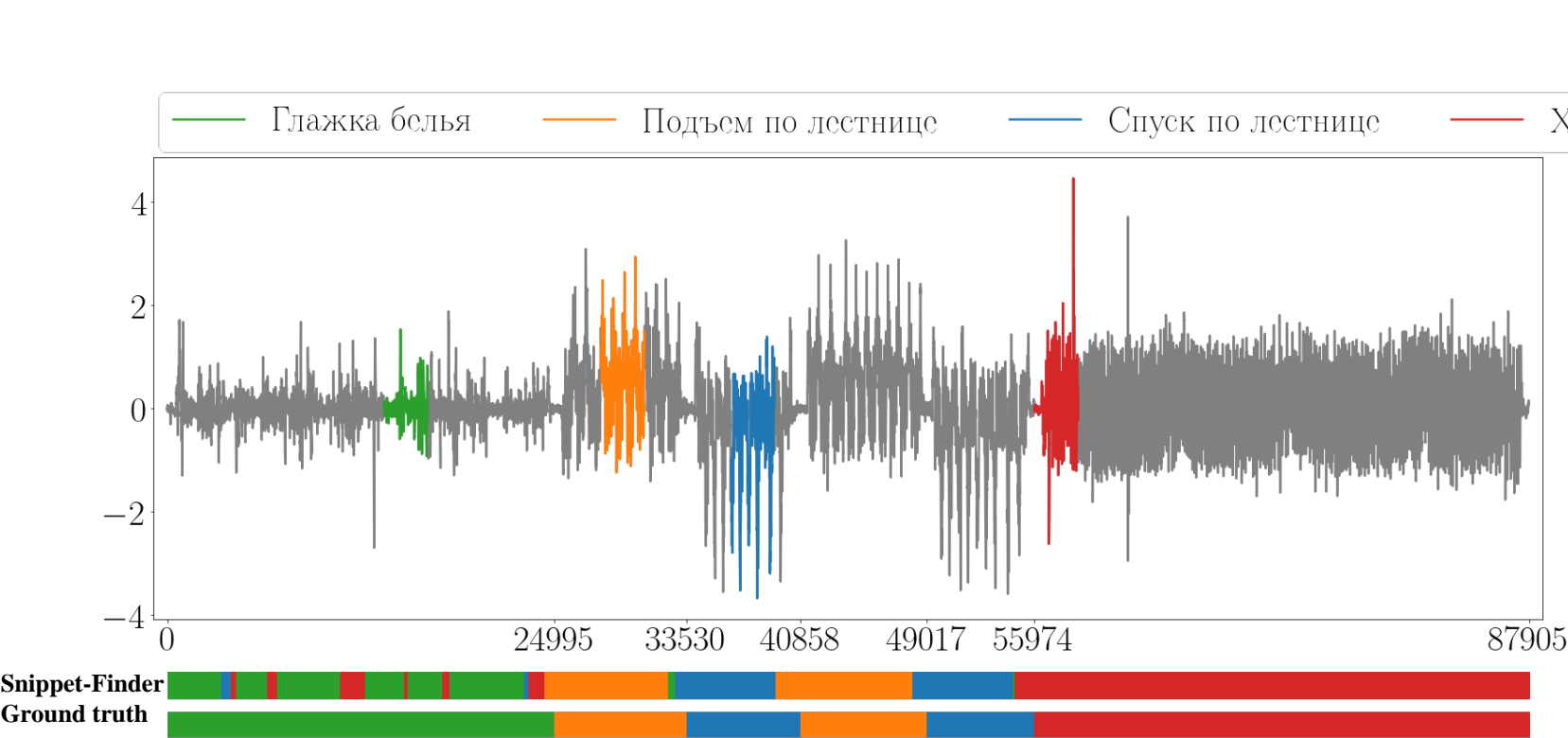
Применение сниппетов: распознавание активностей



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](https://doi.org/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](https://doi.org/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>.