Are Transformers Effective for Time Series Forecasting?

Введение: о чем вообще статья

- О том как предсказывают временные ряды
- Какую роль играют здесь трансформеры
- Насколько они эффективны
- Сравнение их с новым методом
- Ответ на вопрос “Эффективны ли трансформеры для временных рядов?”

План доклада

- Какие есть способы предсказания временных рядов
- Проблемы трансформеров для временных рядов
- Как сейчас трансформеры работают с временными рядами
- Новой подход от авторов статьи
- Эксперименты
- Выводы

Как предсказывают временные ряды:

- Статистические методы
- Классический ML
- Трансформеры

Трансформеры: сила и слабость

Механизм внимания:

- Отличные результаты в NLP и CV

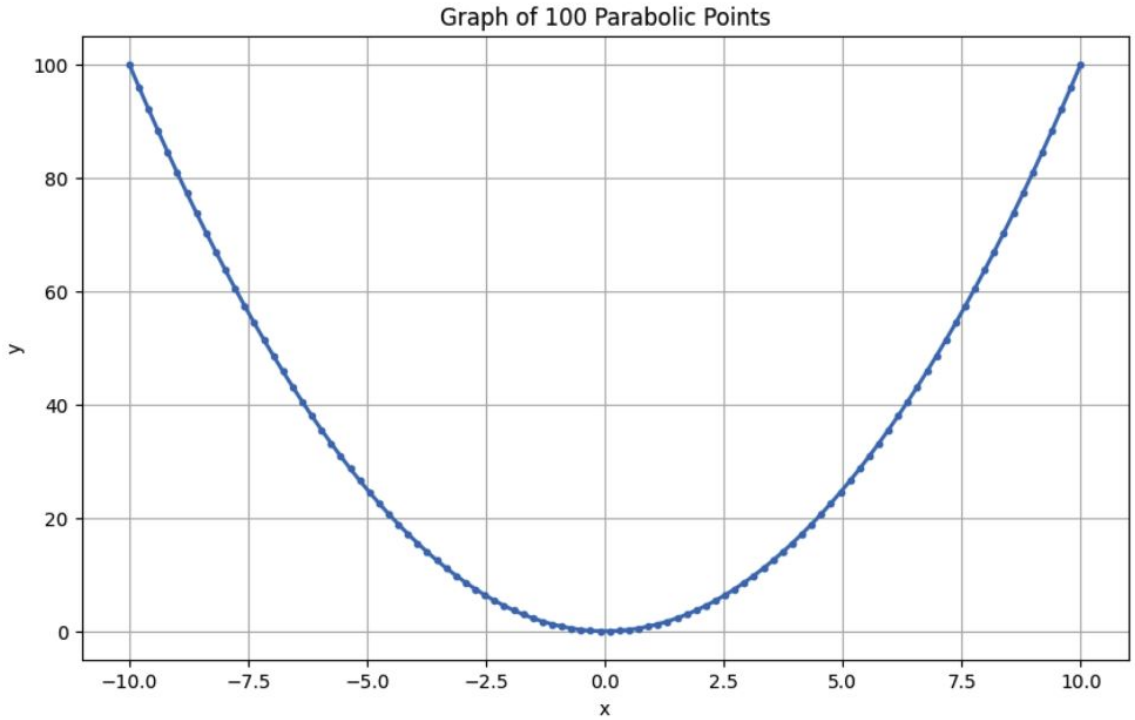
- Инвариантность к перестановкам

  С этим пытаются бороться через positional encoding
  Но все равно часть информации теряется

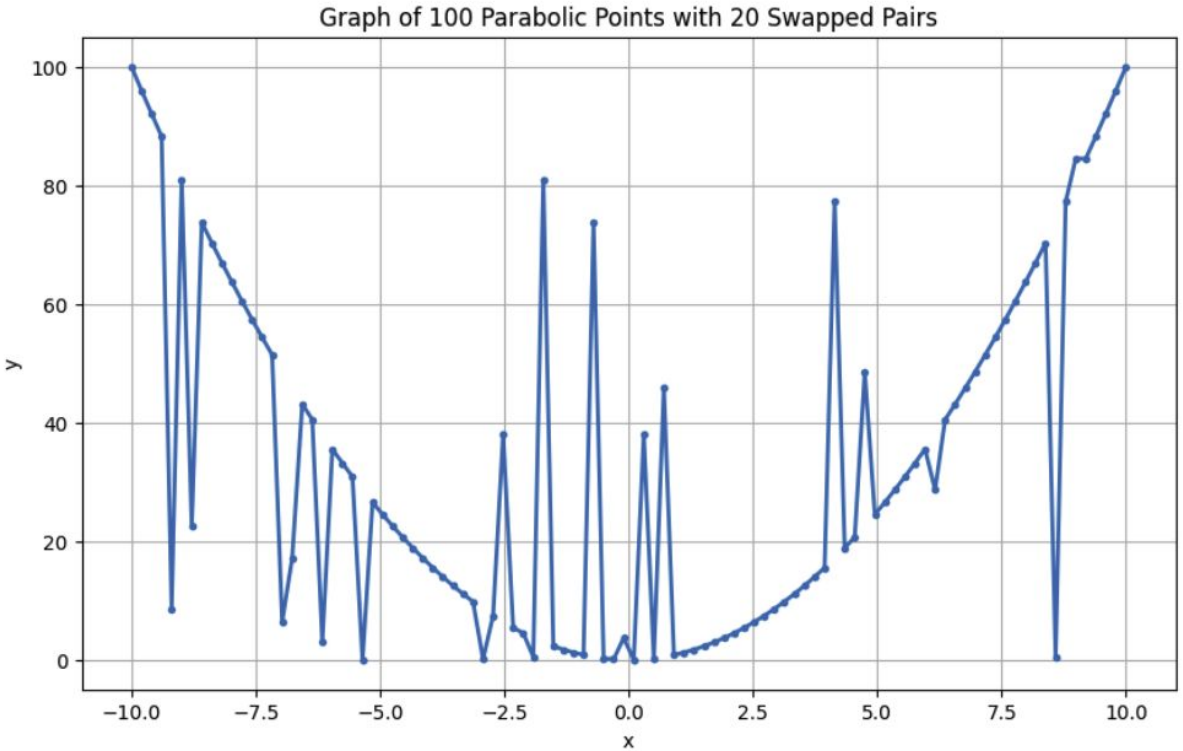
Почему порядок важен

Почему порядок важен

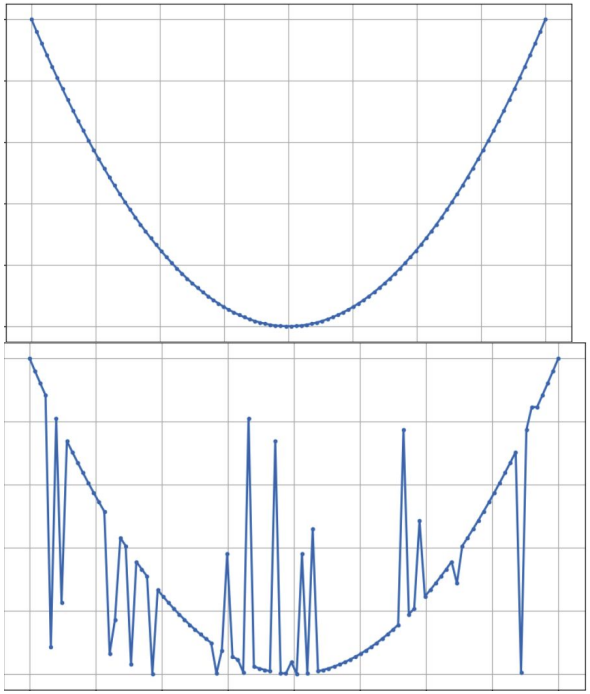
Почему порядок важен



Почему порядок важен



Почему порядок важен

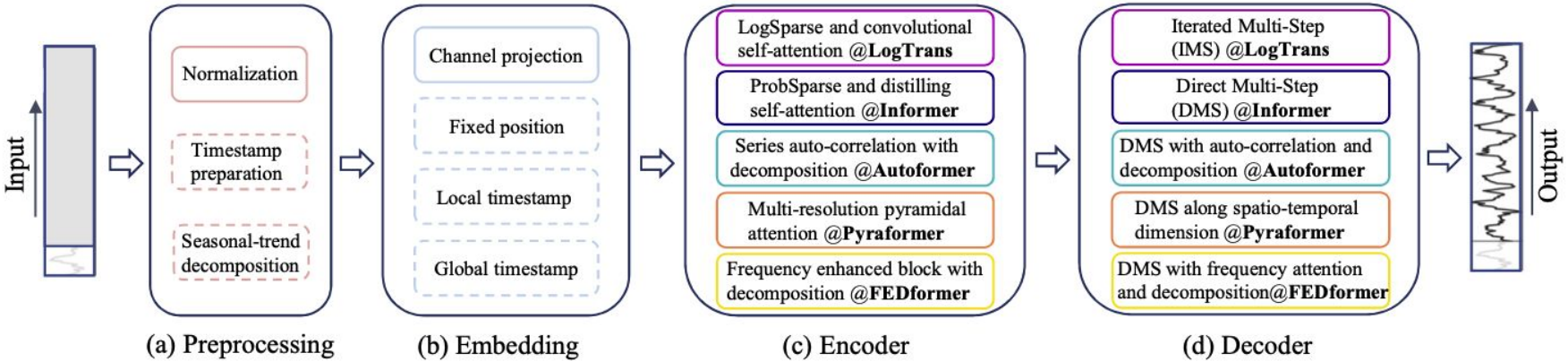


К чему пришли

Трансформеры хоть и крутые, но не учитывают порядок

А порядок нам важен

Существующие методы трансформеров для BP



LTSF linear

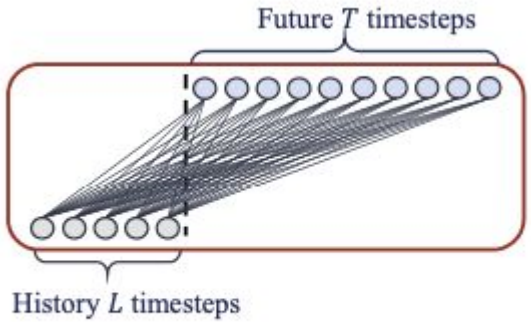


Figure 2. Illustration of the basic linear model.

$$\hat{X}_i = WX_i, \text{ where } W \in \mathbb{R}^{T \times L}$$

- DLinear

  С декомпозицей на тренд и сезонность в начале

- NLinear

  С нормализацией в начале

Эксперименты

9 датасетов

- Транспорт
- Электричество
- Погода
- Финансы и другие

Метрики: MAE и MSE

Сравниваемые модели

- FEDformer
- Autoformer
- Informer
- Pyraformer
- LogTrans

- Closet Repeat
- DLinear
- NLinear

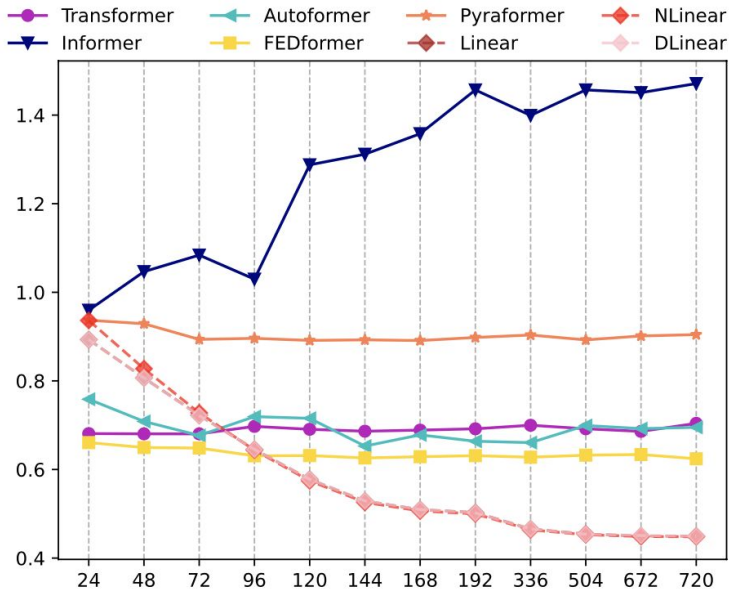
Эксперименты

Methods		IMP.	Linear*		NLinear*		DLinear*		FEDformer		Autoformer		Informer		Pyraformer*		LogTrans		*Repeat**	
Metric		MSE	MSE	MAE	MSE	MAE	MSE	MAE	MSE	MAE	MSE	MAE	MSE	MAE	MSE	MAE	MSE	MAE	MSE	MAE
Electricity	96	27.40%	**0.140**	**0.237**	0.141	**0.237**	**0.140**	**0.237**	0.193	0.308	0.201	0.317	0.274	0.368	0.386	0.449	0.258	0.357	1.588	0.946
	192	23.88%	**0.153**	0.250	0.154	**0.248**	**0.153**	0.249	0.201	0.315	0.222	0.334	0.296	0.386	0.386	0.443	0.266	0.368	1.595	0.950
	336	21.02%	**0.169**	0.268	0.171	**0.265**	**0.169**	0.267	0.214	0.329	0.231	0.338	0.300	0.394	0.378	0.443	0.280	0.380	1.617	0.961
	720	17.47%	**0.203**	0.301	0.210	**0.297**	**0.203**	0.301	0.246	0.355	0.254	0.361	0.373	0.439	0.376	0.445	0.283	0.376	1.647	0.975
Exchange	96	45.27%	0.082	0.207	0.089	0.208	**0.081**	0.203	0.148	0.278	0.197	0.323	0.847	0.752	0.376	1.105	0.968	0.812	**0.081**	**0.196**
	192	42.06%	0.167	0.304	0.180	0.300	**0.157**	0.293	0.271	0.380	0.300	0.369	1.204	0.895	1.748	1.151	1.040	0.851	0.167	**0.289**
	336	33.69%	0.328	0.432	0.331	0.415	**0.305**	0.414	0.460	0.500	0.509	0.524	1.672	1.036	1.874	1.172	1.659	1.081	**0.305**	**0.396**
	720	46.19%	0.964	0.750	1.033	0.780	**0.643**	**0.601**	1.195	0.841	1.447	0.941	2.478	1.310	1.943	1.206	1.941	1.127	0.823	0.681
Traffic	96	30.15%	**0.410**	0.282	**0.410**	**0.279**	**0.410**	0.282	0.587	0.366	0.613	0.388	0.719	0.391	2.085	0.468	0.684	0.384	2.723	1.079
	192	29.96%	**0.423**	0.287	**0.423**	**0.284**	**0.423**	0.287	0.604	0.373	0.616	0.382	0.696	0.379	0.867	0.467	0.685	0.390	2.756	1.087
	336	29.95%	0.436	0.295	**0.435**	**0.290**	0.436	0.296	0.621	0.383	0.622	0.337	0.777	0.420	0.869	0.469	0.734	0.408	2.791	1.095
	720	25.87%	0.466	0.315	**0.464**	**0.307**	0.466	0.315	0.626	0.382	0.660	0.408	0.864	0.472	0.881	0.473	0.717	0.396	2.811	1.097
Weather	96	18.89%	**0.176**	0.236	0.182	**0.232**	**0.176**	0.237	0.217	0.296	0.266	0.336	0.300	0.384	0.896	0.556	0.458	0.490	0.259	0.254
	192	21.01%	**0.218**	0.276	0.225	**0.269**	0.220	0.282	0.276	0.336	0.307	0.367	0.598	0.544	0.622	0.624	0.658	0.589	0.309	0.292
	336	22.71%	**0.262**	0.312	0.271	**0.301**	0.265	0.319	0.339	0.380	0.359	0.395	0.578	0.523	0.739	0.753	0.797	0.652	0.377	0.338
	720	19.85%	0.326	0.365	0.338	**0.348**	**0.323**	0.362	0.403	0.428	0.419	0.428	1.059	0.741	1.004	0.934	0.869	0.675	0.465	0.394
ILI	24	47.86%	1.947	0.985	**1.683**	**0.858**	2.215	1.081	3.228	1.260	3.483	1.287	5.764	1.677	1.420	2.012	4.480	1.444	6.587	1.701
	36	36.43%	2.182	1.036	**1.703**	**0.859**	1.963	0.963	2.679	1.080	3.103	1.148	4.755	1.467	7.394	2.031	4.799	1.467	7.130	1.884
	48	34.43%	2.256	1.060	**1.719**	**0.884**	2.130	1.024	2.622	1.078	2.669	1.085	4.763	1.469	7.551	2.057	4.800	1.468	6.575	1.798
	60	34.33%	2.390	1.104	**1.819**	**0.917**	2.368	1.096	2.857	1.157	2.770	1.125	5.264	1.564	7.662	2.100	5.278	1.560	5.893	1.677
ETTh1	96	0.80%	0.375	0.397	**0.374**	**0.394**	0.375	0.399	0.376	0.419	0.449	0.459	0.865	0.713	0.664	0.612	0.878	0.740	1.295	0.713
	192	3.57%	0.418	0.429	0.408	**0.415**	**0.405**	0.416	0.420	0.448	0.500	0.482	1.008	0.792	0.790	0.681	1.037	0.824	1.325	0.733
	336	6.54%	0.479	0.476	**0.429**	**0.427**	0.439	0.443	0.459	0.465	0.521	0.496	1.107	0.809	0.891	0.738	1.238	0.932	1.323	0.744
	720	13.04%	0.624	0.592	**0.440**	**0.453**	0.472	0.490	0.506	0.507	0.514	0.512	1.181	0.865	0.963	0.782	1.135	0.852	1.339	0.756
ETTh2	96	19.94%	0.288	0.352	**0.277**	**0.338**	0.289	0.353	0.346	0.388	0.358	0.397	3.755	1.525	0.645	0.597	2.116	1.197	0.432	0.422
	192	19.81%	0.377	0.413	**0.344**	**0.381**	0.383	0.418	0.429	0.439	0.456	0.452	5.602	1.931	0.788	0.683	4.315	1.635	0.534	0.473
	336	25.93%	0.452	0.461	**0.357**	**0.400**	0.448	0.465	0.496	0.487	0.482	0.486	4.721	1.835	0.907	0.747	1.124	1.604	0.591	0.508
	720	14.25%	0.698	0.595	**0.394**	**0.436**	0.605	0.551	0.463	0.474	0.515	0.511	3.647	1.625	0.963	0.783	3.188	1.540	0.588	0.517
ETTm1	96	21.10%	0.308	0.352	0.306	0.348	**0.299**	**0.343**	0.379	0.419	0.505	0.475	0.672	0.571	0.543	0.510	0.600	0.546	1.214	0.665
	192	21.36%	0.340	0.369	0.349	0.375	**0.335**	**0.365**	0.426	0.441	0.553	0.496	0.795	0.669	0.557	0.537	0.837	0.700	1.261	0.690
	336	17.07%	0.376	0.393	0.375	0.388	**0.369**	**0.386**	0.445	0.459	0.621	0.537	1.212	0.871	0.754	0.655	1.124	0.832	1.283	0.707
	720	21.73%	0.440	0.435	0.433	0.422	**0.425**	**0.421**	0.543	0.490	0.671	0.561	1.166	0.823	0.908	0.724	1.153	0.820	1.319	0.729
ETTm2	96	17.73%	0.168	0.262	**0.167**	**0.255**	**0.167**	0.260	0.203	0.287	0.255	0.339	0.365	0.453	0.435	0.507	0.768	0.642	0.266	0.328
	192	17.84%	0.232	0.308	**0.221**	**0.293**	0.224	0.303	0.269	0.328	0.281	0.340	0.533	0.563	0.730	0.673	0.989	0.757	0.340	0.371
	336	15.69%	0.320	0.373	**0.274**	**0.327**	0.281	0.342	0.325	0.366	0.339	0.372	1.363	0.887	1.201	0.845	1.334	0.872	0.412	0.410
	720	12.58%	0.413	0.435	**0.368**	**0.384**	0.397	0.421	0.421	0.415	0.433	0.432	3.379	1.338	3.625	1.451	3.048	1.328	0.521	0.465

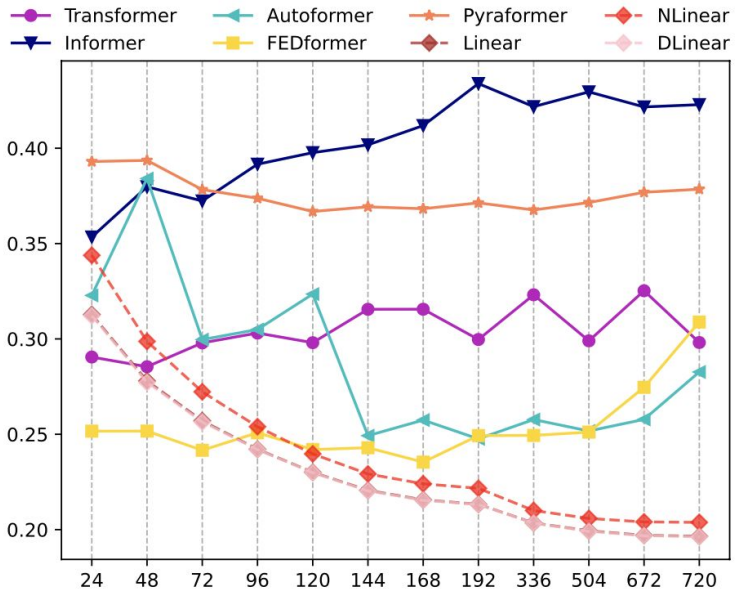
Эксперименты

Methods		IMP.	Linear*		NLinear*		DLinear*		FEDformer		Autoformer		Informer		Pyraformer*		LogTrans		*Repeat**	
Metric		MSE	MSE	MAE	MSE	MAE	MSE	MAE	MSE	MAE	MSE	MAE	MSE	MAE	MSE	MAE	MSE	MAE	MSE	MAE
Electricity	96	27.40%	**0.140**	**0.237**	0.141	**0.237**	**0.140**	**0.237**	0.193	0.308	0.201	0.317	0.274	0.368	0.386	0.449	0.258	0.357	1.588	0.946
	192	23.88%	**0.153**	0.250	0.154	**0.248**	**0.153**	0.249	0.201	0.315	0.222	0.334	0.296	0.386	0.386	0.443	0.266	0.368	1.595	0.950
	336	21.02%	**0.169**	0.268	0.171	**0.265**	**0.169**	0.267	0.214	0.329	0.231	0.338	0.300	0.394	0.378	0.443	0.280	0.380	1.617	0.961
	720	17.47%	**0.203**	0.301	0.210	**0.297**	**0.203**	0.301	0.246	0.355	0.254	0.361	0.373	0.439	0.376	0.445	0.283	0.376	1.647	0.975
Exchange	96	45.27%	0.082	0.207	0.089	0.208	**0.081**	0.203	0.148	0.278	0.197	0.323	0.847	0.752	0.376	1.105	0.968	0.812	**0.081**	**0.196**
	192	42.06%	0.167	0.304	0.180	0.300	**0.157**	0.293	0.271	0.380	0.300	0.369	1.204	0.895	1.748	1.151	1.040	0.851	0.167	**0.289**
	336	33.69%	0.328	0.432	0.331	0.415	**0.305**	0.414	0.460	0.500	0.509	0.524	1.672	1.036	1.874	1.172	1.659	1.081	**0.305**	**0.396**
	720	46.19%	0.964	0.750	1.033	0.780	**0.643**	**0.601**	1.195	0.841	1.447	0.941	2.478	1.310	1.943	1.206	1.941	1.127	0.823	0.681
Traffic	96	30.15%	**0.410**	0.282	**0.410**	**0.279**	**0.410**	0.282	0.587	0.366	0.613	0.388	0.719	0.391	2.085	0.468	0.684	0.384	2.723	1.079
	192	29.96%	**0.423**	0.287	**0.423**	**0.284**	**0.423**	0.287	0.604	0.373	0.616	0.382	0.696	0.379	0.867	0.467	0.685	0.390	2.756	1.087
	336	29.95%	0.436	0.295	**0.435**	**0.290**	0.436	0.296	0.621	0.383	0.622	0.337	0.777	0.420	0.869	0.469	0.734	0.408	2.791	1.095
	720	25.87%	0.466	0.315	**0.464**	**0.307**	0.466	0.315	0.626	0.382	0.660	0.408	0.864	0.472	0.881	0.473	0.717	0.396	2.811	1.097
Weather	96	18.89%	**0.176**	0.236	0.182	**0.232**	**0.176**	0.237	0.217	0.296	0.266	0.336	0.300	0.384	0.896	0.556	0.458	0.490	0.259	0.254
	192	21.01%	**0.218**	0.276	0.225	**0.269**	0.220	0.282	0.276	0.336	0.307	0.367	0.598	0.544	0.622	0.624	0.658	0.589	0.309	0.292
	336	22.71%	**0.262**	0.312	0.271	**0.301**	0.265	0.319	0.339	0.380	0.359	0.395	0.578	0.523	0.739	0.753	0.797	0.652	0.377	0.338
	720	19.85%	0.326	0.365	0.338	**0.348**	**0.323**	0.362	0.403	0.428	0.419	0.428	1.059	0.741	1.004	0.934	0.869	0.675	0.465	0.394
ILI	24	47.86%	1.947	0.985	**1.683**	**0.858**	2.215	1.081	3.228	1.260	3.483	1.287	5.764	1.677	1.420	2.012	4.480	1.444	6.587	1.701
	36	36.43%	2.182	1.036	**1.703**	**0.859**	1.963	0.963	2.679	1.080	3.103	1.148	4.755	1.467	7.394	2.031	4.799	1.467	7.130	1.884
	48	34.43%	2.256	1.060	**1.719**	**0.884**	2.130	1.024	2.622	1.078	2.669	1.085	4.763	1.469	7.551	2.057	4.800	1.468	6.575	1.798
	60	34.33%	2.390	1.104	**1.819**	**0.917**	2.368	1.096	2.857	1.157	2.770	1.125	5.264	1.564	7.662	2.100	5.278	1.560	5.893	1.677
ETTh1	96	0.80%	0.375	0.397	**0.374**	**0.394**	0.375	0.399	0.376	0.419	0.449	0.459	0.865	0.713	0.664	0.612	0.878	0.740	1.295	0.713
	192	3.57%	0.418	0.429	0.408	**0.415**	**0.405**	0.416	0.420	0.448	0.500	0.482	1.008	0.792	0.790	0.681	1.037	0.824	1.325	0.733
	336	6.54%	0.479	0.476	**0.429**	**0.427**	0.439	0.443	0.459	0.465	0.521	0.496	1.107	0.809	0.891	0.738	1.238	0.932	1.323	0.744
	720	13.04%	0.624	0.592	**0.440**	**0.453**	0.472	0.490	0.506	0.507	0.514	0.512	1.181	0.865	0.963	0.782	1.135	0.852	1.339	0.756
ETTh2	96	19.94%	0.288	0.352	**0.277**	**0.338**	0.289	0.353	0.346	0.388	0.358	0.397	3.755	1.525	0.645	0.597	2.116	1.197	0.432	0.422
	192	19.81%	0.377	0.413	**0.344**	**0.381**	0.383	0.418	0.429	0.439	0.456	0.452	5.602	1.931	0.788	0.683	4.315	1.635	0.534	0.473
	336	25.93%	0.452	0.461	**0.357**	**0.400**	0.448	0.465	0.496	0.487	0.482	0.486	4.721	1.835	0.907	0.747	1.124	1.604	0.591	0.508
	720	14.25%	0.698	0.595	**0.394**	**0.436**	0.605	0.551	0.463	0.474	0.515	0.511	3.647	1.625	0.963	0.783	3.188	1.540	0.588	0.517
ETTm1	96	21.10%	0.308	0.352	0.306	0.348	**0.299**	**0.343**	0.379	0.419	0.505	0.475	0.672	0.571	0.543	0.510	0.600	0.546	1.214	0.665
	192	21.36%	0.340	0.369	0.349	0.375	**0.335**	**0.365**	0.426	0.441	0.553	0.496	0.795	0.669	0.557	0.537	0.837	0.700	1.261	0.690
	336	17.07%	0.376	0.393	0.375	0.388	**0.369**	**0.386**	0.445	0.459	0.621	0.537	1.212	0.871	0.754	0.655	1.124	0.832	1.283	0.707
	720	21.73%	0.440	0.435	0.433	0.422	**0.425**	**0.421**	0.543	0.490	0.671	0.561	1.166	0.823	0.908	0.724	1.153	0.820	1.319	0.729
ETTm2	96	17.73%	0.168	0.262	**0.167**	**0.255**	**0.167**	0.260	0.203	0.287	0.255	0.339	0.365	0.453	0.435	0.507	0.768	0.642	0.266	0.328
	192	17.84%	0.232	0.308	**0.221**	**0.293**	0.224	0.303	0.269	0.328	0.281	0.340	0.533	0.563	0.730	0.673	0.989	0.757	0.340	0.371
	336	15.69%	0.320	0.373	**0.274**	**0.327**	0.281	0.342	0.325	0.366	0.339	0.372	1.363	0.887	1.201	0.845	1.334	0.872	0.412	0.410
	720	12.58%	0.413	0.435	**0.368**	**0.384**	0.397	0.421	0.421	0.415	0.433	0.432	3.379	1.338	3.625	1.451	3.048	1.328	0.521	0.465

Эксперименты



(a) **720** steps-**Traffic**



(b) **720** steps-**Electricity**

К чему пришли

Простые линейные методы во многих случая достаточно хорошо обыгрывают трансформеры

Почему так происходит

Дальше попытаемся понять почему трансформеры проигрывает и что на это влияет

Обсудим

- Attention
- Порядок переменных во входных данных
- Насколько эффективны различные embeddings
- Может дело в малом количестве данных

Эксперименты с вниманием

Methods		Informer	*Att.-Linear*	*Embed + Linear*	Linear
Exchange	96	0.847	1.003	0.173	0.084
	192	1.204	0.979	0.443	0.155
	336	1.672	1.498	1.288	0.301
	720	2.478	2.102	2.026	0.763
ETTh1	96	0.865	0.613	0.454	0.400
	192	1.008	0.759	0.686	0.438
	336	1.107	0.921	0.821	0.479
	720	1.181	0.902	1.051	0.515

Table 4. The MSE comparisons of gradually transforming Informer to a Linear from the left to right columns. *Att.-Linear* is a structure that replaces each attention layer with a linear layer. *Embed + Linear* is to drop other designs and only keeps embedding layers and a linear layer. The look-back window size is 96.

Эксперименты с перемешиванием

Methods		Linear			FEDformer			Autoformer			Informer		
Predict Length		*Ori.*	*Shuf.*	*Half-Ex.*	*Ori.*	*Shuf.*	*Half-Ex.*	*Ori.*	*Shuf.*	*Half-Ex.*	*Ori.*	*Shuf.*	*Half-Ex.*
Exchange	96	0.080	0.133	0.169	0.161	0.160	0.162	0.152	0.158	0.160	0.952	1.004	0.959
	192	0.162	0.208	0.243	0.274	0.275	0.275	0.278	0.271	0.277	1.012	1.023	1.014
	336	0.286	0.320	0.345	0.439	0.439	0.439	0.435	0.430	0.435	1.177	1.181	1.177
	720	0.806	0.819	0.836	1.122	1.122	1.122	1.113	1.113	1.113	1.198	1.210	1.196
	Average Drop	N/A	27.26%	46.81%	N/A	-0.09%	0.20%	N/A	0.09%	1.12%	N/A	-0.12%	-0.18%
ETTh1	96	0.395	0.824	0.431	0.376	0.753	0.405	0.455	0.838	0.458	0.974	0.971	0.971
	192	0.447	0.824	0.471	0.419	0.730	0.436	0.486	0.774	0.491	1.233	1.232	1.231
	336	0.490	0.825	0.505	0.447	0.736	0.453	0.496	0.752	0.497	1.693	1.693	1.691
	720	0.520	0.846	0.528	0.468	0.720	0.470	0.525	0.696	0.524	2.720	2.716	2.715
	Average Drop	N/A	81.06%	4.78%	N/A	73.28%	3.44%	N/A	56.91%	0.46%	N/A	1.98%	0.18%

Table 5. The MSE comparisons of models when shuffling the raw input sequence. *Shuf.* randomly shuffles the input sequence. *Half-EX.* randomly exchanges the first half of the input sequences with the second half. Average Drop is the average performance drop under all forecasting lengths after shuffling. All results are the average test MSE of five runs.

Эксперименты с embeddings

Methods	Embedding	Traffic			
		96	192	336	720
FEDformer	All	0.597	0.606	0.627	0.649
	wo/Pos.	**0.587**	**0.604**	**0.621**	**0.626**
	wo/Temp.	0.613	0.623	0.650	0.677
	wo/Pos.-Temp.	0.613	0.622	0.648	0.663
Autoformer	All	0.629	0.647	0.676	**0.638**
	wo/Pos.	**0.613**	**0.616**	**0.622**	0.660
	wo/Temp.	0.681	0.665	0.908	0.769
	wo/Pos.-Temp.	0.672	0.811	1.133	1.300
Informer	All	**0.719**	**0.696**	**0.777**	**0.864**
	wo/Pos.	1.035	1.186	1.307	1.472
	wo/Temp.	0.754	0.780	0.903	1.259
	wo/Pos.-Temp.	1.038	1.351	1.491	1.512

Table 6. The MSE comparisons of different embedding strategies on Transformer-based methods with look-back window size 96 and forecasting lengths $\{96, 192, 336, 720\}$.

Эксперименты с количеством данных

Methods	FEDformer		Autoformer	
Dataset	*Ori.*	*Short*	*Ori.*	*Short*
96	0.587	**0.568**	0.613	**0.594**
192	0.604	**0.584**	**0.616**	0.621
336	0.621	**0.601**	0.622	**0.621**
720	0.626	**0.608**	0.660	**0.650**

Table 7. The MSE comparison of two training data sizes.

Выводы

- Механизм внимания мало полезен в данной задаче
- Трансформеры действительно не учитывают порядок
- Эмбэдинги не помогают решить это
- Количество данных не является ограничивающим фактором

Что сегодня обсудили

- Почему важен порядок элементов и посмотрели на енота
- Как трансформеры работают с временными рядами
- Новый линейный метод предсказания
- Сравнили его с трансформерами
- Сложный механизм внимания только мешает в этой задче
- Посмотрели, что трансформеры действительно не учитывают порядок
- Эмбэдинги не помогают с этим
- Количество данных не является основной причиной

Выводы

Главная цель стать не в новом методе, а том чтобы показать что трансформеры неэффективны для предсказания временных рядов

Выводы

Ответ на вопрос

“Are Transformers Effective for Time Series Forecasting?”

Не очень, так как они

- Не учитывают порядок в данных и это нельзя исправить
- Они слишком сложные