

شتاب‌دهی سخت‌افزاری پیش‌بینی عمر باقی‌مانده مفید دستگاه‌های دوار با استفاده از شبکه عصبی ترنسفرمر بر بستر FPGA

FPGA-Based Hardware Acceleration of Remaining Useful Life Prediction of Rotating Machinery Using Transformer Neural Network

رضا آدینه پور

استاد راهنما: جناب آقای دکتر مرتضی صاحب‌الزمانی
دانشکده مهندسی کامپیوتر / دانشگاه صنعتی امیرکبیر
adinepour@aut.ac.ir



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

۱۸ اردیبهشت ۱۴۰۳



دانشکده مهندسی کامپیوتر

فهرست

۱ اهداف پژوهش

- ۲ مفاهیم اولیه
- اولین زمان پیش‌بینی (FPT) و زمان پایان عمر (EOL)
 - عمر باقی‌مانده مفید
 - ساختار ترنسفرمر

۳ سابقه پژوهش

۴ منابع و مراجع

۵ تشکر از توجه شما

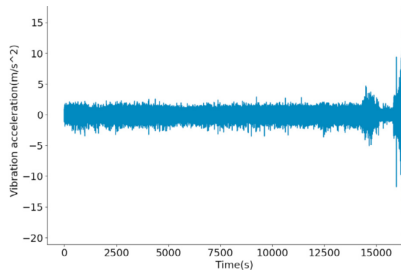
قسمت ۱

اهداف پژوهش

اهداف پژوهش

چرا بلبرینگ؟

- ❶ یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین قطعه صنعتی است و در تمام ابزارهای صنعتی حضور گسترده دارد
 - خودروها
 - توربین‌ها
 - ژنراتورها
- ❷ به دلیل بار زیاد، زودتر از قطعات دیگر تخریب می‌شوند



قسمت ۲

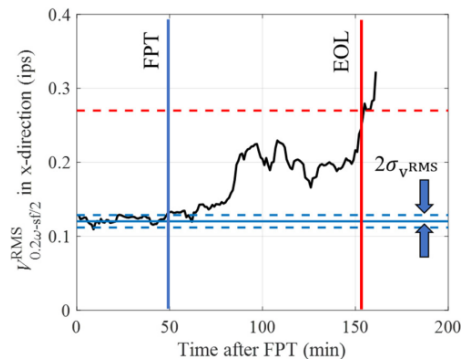
مفاهیم اولیه

اولین زمان پیش‌بینی (FPT) و زمان پایان عمر (EOL)

❶ FPT: اولین زمانی که علائم خرابی در سیگنال ظاهر می‌شود

- معمولاً سیستم داغ می‌شود و به لرزش می‌افتد
- نویز سیستم زیاد می‌شود

❷ EOL: پایان عمر سیستم



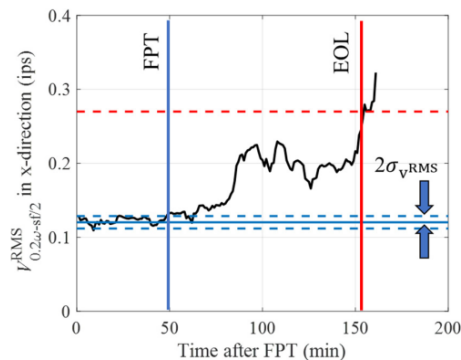
شکل ۲: بازه زمانی عمر سیستم [۵]

اولین زمان پیش‌بینی (FPT) و زمان پایان عمر (EOL)

❶ FPT: اولین زمانی که علائم خرابی در سیگنال ظاهر می‌شود

- معمولاً سیستم داغ می‌شود و به لرزش می‌افتد
- نویز سیستم زیاد می‌شود

❷ EOL: پایان عمر سیستم



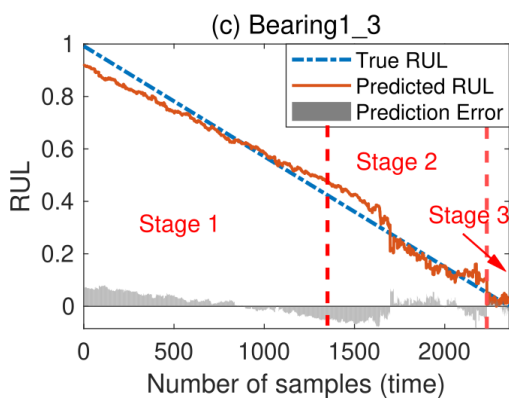
شکل ۲: بازه زمانی عمر سیستم [۵]

$$V_{0.2\omega - \frac{sf}{2}}^{RMS} = \sqrt{\sum_{f=0.2\omega}^{\frac{sf}{2}} \frac{|V(f)|^2}{2}}, sf = 25.6 KHz \quad (۱)$$

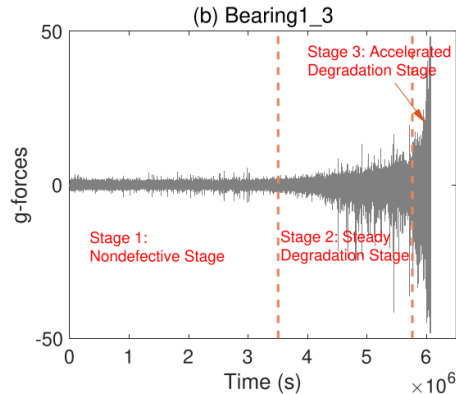
$$RUL(t) = T_{EOF} - T_{FPT} \quad (۲)$$

عمر باقی مانده مفید

فرایند تخریب و عمر باقی مانده مفید یک سیستم \equiv تابعی خطی با شیب ۴۵-



(ب) تابع تخریب RUL [۲]



(آ) سیگنال ارتعاشات بلبرینگ [۲]

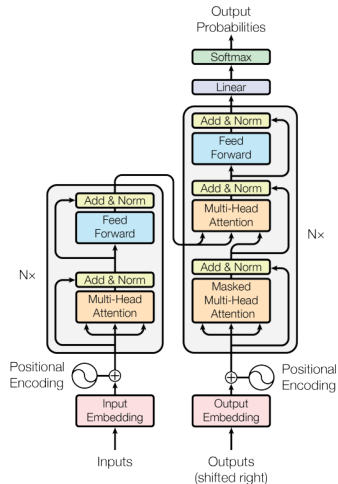
ساختار ترنسفرمر [۱]

۱ Encoder

- Multi-Head Attention
- Feed Forward

۲ Decoder

- Multi-Head Attention
- Feed Forward
- Linear
- Softmax



قسمت ۳

سابقه پژوهش

Condition	Bearing index	RMSE			MAE		
		CVT-FT	CVT	TENC	CVT-FT	CVT	TENC
Condition 1	Bearing1_1	0.080	0.126	0.125	0.064	0.101	0.092
	Bearing1_2	0.091	0.105	0.171	0.075	0.094	0.140
	Bearing1_3	0.040	0.045	0.049	0.034	0.035	0.034
	Bearing1_4	0.124	0.131	0.141	0.111	0.118	0.127
	Bearing1_5	0.082	0.089	0.075	0.070	0.081	0.069
	Bearing1_6	0.056	0.082	0.054	0.044	0.060	0.046
	Bearing1_7	0.088	0.124	0.123	0.069	0.098	0.095
Condition 2	Bearing2_1	0.072	0.098	0.102	0.061	0.087	0.082
	Bearing2_2	0.069	0.117	0.095	0.061	0.100	0.079
	Bearing2_3	0.239	0.264	0.241	0.206	0.217	0.190
	Bearing2_4	0.239	0.239	0.225	0.199	0.209	0.180
	Bearing2_5	0.298	0.322	0.336	0.278	0.292	0.299
	Bearing2_6	0.113	0.172	0.176	0.105	0.165	0.165
	Bearing2_7	0.242	0.264	0.277	0.195	0.231	0.245
Condition 3	Bearing3_1	0.164	0.194	0.253	0.150	0.181	0.236
	Bearing3_2	0.101	0.084	0.078	0.075	0.069	0.059
	Bearing3_3	0.177	0.170	0.216	0.124	0.114	0.195
Average		0.134	0.155	0.161	0.113	0.132	0.137

شکل ۴: خروجی‌های مقاله [۲] برای دیتاست FEMTO

Condition	Bearing index	RMSE			MAE		
		CVT-FT	CVT	TENC	CVT-FT	CVT	TENC
Condition 1	Bearing1_1	0.115	0.118	0.152	0.103	0.061	0.114
	Bearing1_2	0.110	0.248	0.383	0.097	0.174	0.293
	Bearing1_3	0.102	0.204	0.097	0.090	0.156	0.075
	Bearing1_4	0.356	0.481	0.293	0.304	0.444	0.233
	Bearing1_5	0.176	0.622	0.247	0.156	0.521	0.219
Condition 2	Bearing2_1	0.160	0.193	0.310	0.132	0.145	0.257
	Bearing2_2	0.131	0.143	0.429	0.111	0.105	0.370
	Bearing2_3	0.241	0.233	0.413	0.186	0.199	0.333
	Bearing2_4	0.356	0.723	0.413	0.300	0.696	0.342
	Bearing2_5	0.193	0.225	0.270	0.171	0.174	0.203
Average		0.194	0.319	0.301	0.165	0.267	0.244

شکل ۵: خروجی‌های مقاله [۲] برای دیتاست XJTU-SY

قسمت ۴

منابع و مراجع

- [1] Vaswani, Ashish, Shazeer, Noam, Parmar, Niki, Uszkoreit, Jakob, Jones, Llion, Gomez, Aidan N, Kaiser, Łukasz, and Polosukhin, Illia.
Attention is all you need.
Advances in neural information processing systems, 30, 2017.
- [2] Wei, Yupeng and Wu, Dazhong.
Conditional variational transformer for bearing remaining useful life prediction.
Advanced Engineering Informatics, 59:102247, 2024.
- [3] Zhang, Jiusi, Li, Xiang, Tian, Jilun, Luo, Hao, and Yin, Shen.
An integrated multi-head dual sparse self-attention network for remaining useful life prediction.
Reliability Engineering & System Safety, 233:109096, 2023.
- [4] Luo, Jiahang and Zhang, Xu.
Convolutional neural network based on attention mechanism and bi-lstm for bearing remaining life prediction.
Applied Intelligence, pp. 1–16, 2022.
- [5] Lu, Hao, Barzegar, Vahid, Nemani, Venkat P, Hu, Chao, Laflamme, Simon, and Zimmerman, Andrew T.
Gan-lstm predictor for failure prognostics of rolling element bearings.
in *2021 IEEE International Conference on Prognostics and Health Management (ICPHM)*, pp. 1–8. IEEE, 2021.

قسمت ۵

تشکر از توجه شما