

Inteligentni avdio in govorni sistemi

Spremljanje obrabe strojnih delov s strojnim sluhom
- Študijski projekt

Tilen Tinta, december 2024

Uvod:

- ▶ Digitalizacija in avtomatizacija procesov je vedno bolj pogosta
- ▶ Področje je doživelo velik napredek z razvojem nevronske mreže
- ▶ Pomembna za sodobno industrijo:
 - ▶ izboljšanje produktivnosti,
 - ▶ podaljšanje življenjske dobe strojev oz. linij,
 - ▶ zmanjšanje nepotrebnih stroškov vzdrževanja,
 - ▶ večja varnost
- ▶ Omogoča spremljanje in zaznavo v realnem času

Teoretično ozadje:

- ▶ Temelji na razumevanju osnovnih fizikalnih pojavov in konceptov
 - ▶ Akustika (zvok vsebuje informacije o stanju strojnega dela),
 - ▶ Vibracije (spreminjajo s stopnjo obrabe),
 - ▶ Vrste obrabe na strojnih delih (trenje, korozija, utrujenost materiala...)
- ▶ Podatke lahko obdelamo v različnih domenah
 - ▶ Časovna domena (RMS, peak amplitude, Skewness in kurtoza, Zero-Crossing Rate - frekvenca vibracij)
 - ▶ Frekvenčna domena (FFT, Spektralni centroid/težišče spektra, Harmonično razmerje)
 - ▶ Časovno-frekvenčna domena (Short-Time Fourier Transform - STFT, Mel Frequency Cepstral Coefficients - MFCC, Transformacija valčkov)
- ▶ Signali zahtevajo predobdelavo:
 - ▶ Odstranjevanje šuma,
 - ▶ Segmentacija na krajše dele,
 - ▶ Računanje značilk

Tehnologija stroja s sluhom:

- ▶ Temelji na senzorjih za zajem zvoka in vibracij med delovanjem stroja
- ▶ Brezkontaktno spremljanje
 - ▶ Uporabno v težko dostopnih ali nevarnih industrijskih okoljih
- ▶ Senzorji:
 - ▶ Piezoelektrični senzorji vibracij (kontaktni senzorji),
 - ▶ Mikrofoni
- ▶ Velike količine podatkov je potrebno pravilno zmanjšati (Principal Component Analysis - PCA, Linear Discriminant Analysis - LDA)
- ▶ IoT senzorji, Edge computing

Metode za spremljanje obrabe:

- ▶ Podatki v obliki časovnih serij
- ▶ Skriti markovovi modeli (verjetnost prehoda med stanji stroja/obrabe)
- ▶ Metoda podpornih vektorjev - SVM (ločevanje stanj obrabe)
- ▶ NN - Dolg kratkoročni spomin - LSTM (stanja stroja v preteklosti vplivajo na trenutno stanje)
- ▶ Transferno učenje (prenašanje znanja z enega sistema na drug, potreba po manjši količini podatkov)
- ▶ Ostale enostavnejše metode: zvočni prag

Prednosti:

- ▶ Brezkontaktna meritev (mikrofoni in ne tudi merilniki vibracij),
 - ▶ Zelo primerno za nevarna in težko dostopna okolja
- ▶ Ne zahteva “pogleda” na točko merjenja,
- ▶ Občutljivejše in zmogljivejše od človeškega sluha,
- ▶ Z različnimi algoritmi določa dodatne meritve (primer: lokalizacija),
- ▶ ...

Slabosti:

- ▶ Občutljivost na okoliški hrup,
- ▶ Visoka cena sistemov,
- ▶ Kompleksnost sistemov,
- ▶ ...

Primeri uporabe #1:

- ▶ Spremljanje obrabe orodji oz. rezalnih površin na rezkalnih orodji
 - ▶ S časom se obrablajo in povzročajo slabšo kvaliteto reza,
 - ▶ Ugotavljanje RUL (angl. remaining useful live) - preostala življenska doba,
 - ▶ Trenutna rešitev: opravljanje meritev z laserskim merilnikom,
 - ▶ Uporaba rekurentnih nevronske mreže oz. mreže z dolgim kratkoročnim spominom (LSTM),
 - ▶ podatke pa so zajemali z senzorjem vibracij neposredno iz prijemala surovca
 - ▶ rezultati so bili zelo blizu realnega stanja orodja
- ▶ Članek: Jianlei Zhang and Binil Starly. "Recurrent Neural Networks with LongTerm Temporal Dependencies in Machine Tool Wear Diagnosis and Prog-nosis". In: (2019). arXiv: 1907.11848 [eess.SP]. url: <https://arxiv.org/abs/1907.11848>

Primeri uporabe #2:

- ▶ Spremljanje obrabe stružnih nožev s skupino ultrasoničnih senzorjev
 - ▶ Uporaba več ultrasoničnih senzorjev vzdolž obdelovanca
 - ▶ Boljše odstranjevanje hrupa iz okolice
 - ▶ Boljši SNR
 - ▶ Pretvorba meritev v spectrogram
 - ▶ Boljše lociranje napake
 - ▶ Obdelava meritev s CNN
 - ▶ Ugotavljanje obrabe ležajev
 - ▶ ultrasonični senzorji
 - ▶ SVM
- ▶ Članek: Jan Steckel et al. "Tool Wear Prediction in CNC Turning Operations using Ultrasonic Microphone Arrays and CNNs". In: (2024). arXiv: 2406.08957[eess.AS]. url: <https://arxiv.org/abs/2406.08957>

Razvoj v prihodnosti:

- ▶ Integracija stroja s strojnim sluhom z digitalnimi dvojčki
 - ▶ Omogočajo simulacijo in spremljanje delovanja strojev v realnem času,
 - ▶ Mogoče ustvariti bolj poglobljene analize in napovedi,
 - ▶ Odkrivanje težav, še preden se pojavijo znaki obrabe
- ▶ Uporaba metod okrepitevenega učenja (Reinforcement Learning)
 - ▶ Stroj optimizira svoje odločitve glede na informacije iz okolja,
 - ▶ Sistemi se samodejno učijo prepoznavati vzorce obrabe in sčasoma postajajo vedno bolj »pametni«
- ▶ Avtomatizacija kalibracije senzorjev
- ▶ Razvoj načinov obdelave podatkov v hrupnih industrijskih okoljih

Viri:

- ▶ • ChatGPT za razlago tem in pojmov
- ▶ • Drsnice s predavanj pri predmetu: Inteligentni avdio in govorni sistemi, prof. dr. Simon Dobrišek
- ▶ • Author1 and B. Author2. “Review of tool condition monitoring in machining and ...” In: Springer (2020). url: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-020-05449-w>.
- ▶ • K. Author11 and L. Author12. “Recurrent Neural Networks with Long Term Temporal Dependencies in Machine Tool Wear Diagnosis and Prognosis”. In: arXiv (2019). url: <https://arxiv.org/abs/1907.11848>.
- ▶ • M. Author13 and N. Author14. “Design & Implementation of Automatic Machine Condition Monitoring and Maintenance System in Limited Resource Situations”. In: arXiv (2024). url: <https://arxiv.org/abs/2401.15088>.
- ▶ • O. Author15 and P. Author16. “Tool flank wear prediction using highfrequency machine data from industrial edge device”. In: arXiv (2023). url: <https://arxiv.org/abs/2212.13905>.
- ▶ • C. Author3 and D. Author4. “Tool wear monitoring based on the combination of machine vision and ...” In: Springer (2023). url: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00170-023-11017-9>.
- ▶ • G. Author7 and H. Author8. “Tool Wear Monitoring with Artificial Intelligence Methods: A Review”. In: MDPI (2023). url: <https://www.mdpi.com/2504-4494/7/4/129>.
- ▶ • Author9 and J. Author10. “Tool Wear Prediction in CNC Turning Operations using Ultrasonic Microphone Arrays and CNNs”. In: arXiv (2023). url: <https://arxiv.org/abs/2406.08957>.
- ▶ • Perumal Logesh, Bhadrinathan B., and Andrews Samraj. “Tool Wear Condition Monitoring Using Emitted Sound Signals By Simple Machine Learning Technique”. In: DESIGN, CONSTRUCTION, MAINTENANCE 2 (June 2022), pp. 168-172. doi: 10.37394/232022.2022.2.22.
- ▶ • Verellen, Thomas & Verbelen, Florian & Stockman, K. & Steckel, Jan. (2021). Beamforming Applied to Ultrasound Analysis in Detection of Bearing Defects. Sensors. 21. 10.3390/s21206803.

Vprašanja?