



Title: Remaining Useful Life Prediction for Tools Based on Monitoring Data and Stochastic Degradation Model (モニタリングデータと確率的劣化モデルに基づく工具の残存寿命予測)

Authors: Baokang Zhang, Ning Li, Jiahui Huang, Takahiro Arakawa, Kentaro Ishii, Ryuichi Yashima (張宝康 (東京工科大 交換留学大学院生)、李寧(東京工科大 助教)、黄 家暉(東京工科大 大学院生)、荒川貴博(東京工科大 教授)、石井健太郎(東京工科大 大学院生)、矢島隆一(東京工科大 大学院生))

Journal: Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 29, 3, pp. 668-676

掲載年月: 2025 年 5 月

研究概要: 本研究では、工作機械工具の残存寿命 (RUL) を高精度に予測するため、グラフ畳み込みネットワーク (GCN) と確率劣化モデルを統合したデータ・モデル協調型手法を提案した。複数センサデータを GCN により統合し、複合健全度指標を構築するとともに、ウィーナー過程に基づく確率劣化モデルにより個体差や不確実性を考慮した RUL 予測を実現した。公開データセットを用いた実験により、既存手法と比較して高い予測精度と有効性を示した。

研究背景: 工作機械工具は過酷な環境下で使用されるため、摩耗や劣化により性能が徐々に低下し、故障や生産停止につながるリスクがある。従来の残存寿命 (RUL) 予測手法には、物理モデルの単純化やデータ駆動型モデルのブラックボックス性といった課題が存在していた。そのため、多数のセンサデータの相関関係と確率的劣化挙動、さらに工具間の個体差を同時に考慮できる高精度な RUL 予測手法が求められていた。

研究成果: 複数センサのモニタリングデータをグラフ畳み込みネットワークにより統合 (図 1) し、工具劣化を表す複合健全度指標を構築した。さらに、個体差と不確実性を考慮した確率的劣化モデルと CHI を連成させるデータ・モデル協調型 RUL 予測手法を提案した。公開データセットによる検証の結果、従来の機械学習・深層学習手法と比較して高い予測精度と信頼性を示した (図 2)。

社会への影響: 本研究により、工作機械工具の残存寿命を高精度に予測することが可能となり、突発的な故障の防止や保全計画の高度化に貢献する。その結果、製造現場における生産性向上、保守コスト削減、ならびに設備の安全性・信頼性の向上が期待される。

専門用語:

残存寿命: 機械や工具が故障・使用限界に達するまでに、あとどれくらい使用可能かを示す指標である。保全計画や部品交換時期の最適化において重要な評価量として用いられる。

確率的劣化モデル: 劣化の進行を確率過程として表現し、ばらつきや不確実性を考慮して寿命を推定するモデルである。本研究ではウィーナー過程を用い、工具ごとの個体差を含めた劣化挙動を表現している。

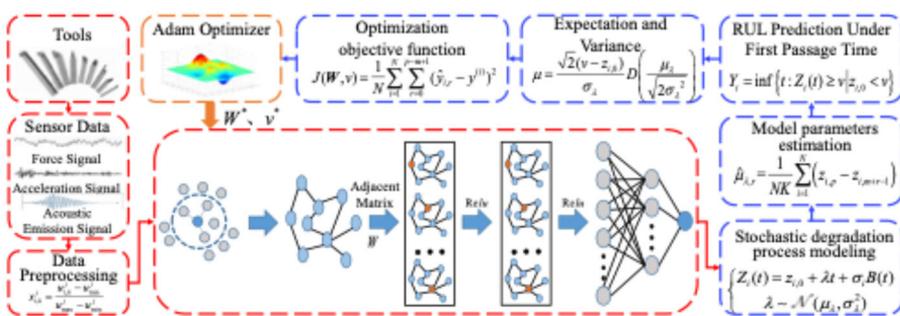


図 1 モニタリングデータおよび劣化モデルを用いた工具の残存寿命 (RUL) の機械学習による予測手法

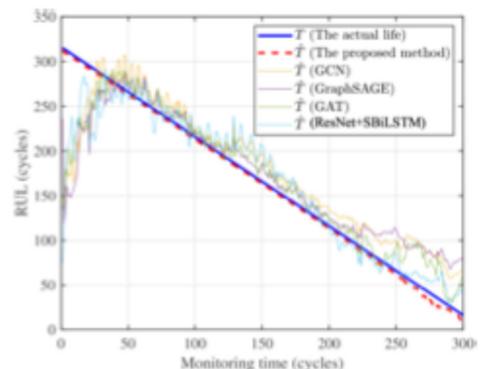


図 2 各手法による残存寿命 (RUL) 予測結果の比較