機械学習によるレーザ溶接の品質モニタリング

情報・生産技術部　システム技術グループ
奥田　誠

KISTEC Innovation Hub 2023　11.13 Mon. to 11.17 Fri.

本研究の背景

KISTEC

ものづくり熟練技術者の不足

- 加工条件の試行錯誤の増大による生産性の低下
- トラブル対応の工数増大

デジタル技術の発展

- IoTなどによるデータ取得
- 機械学習・AIの活用

ものづくり技術者が簡単に利用可能

- <u>AI条件推奨</u>による試行錯誤の削減　⇒　生産性の向上
- <u>AIモニタリング</u>による生産性の向上、トラブル対応の工数削減

レーザ溶接について

加工中の動画

ファイバーレーザ
出力: 3kW
速度: 5m/min

用途・適用先

Source by: http://ex-press.jp/previous/ilsj/articles/0907_8.html

Source by: https://futaku.co.jp/tec0402/

研究開発の内容

ものづくり技術者の視点で応用開発期間短縮・不良品流出防止に必要な機能を定義し，

設備や加工条件が違っても汎用的に使えるAIの開発

AI 条件推奨

要求仕様

- 形状　　：肉盛高さ，幅，層数…
- 品質　　：ブローホール，割れ…
- 性能　　：硬度，耐摩耗性，耐食性…
- 設備制約：レーザ最大出力，集光スポット径…

推奨条件

ロバスト条件を可視化

レーザ出力：〇kW
加工速度：〇 mm/s

AI モニタリング

発光強度

欠陥検出と原因推定

目標
- 欠陥検出の見逃し0件
- 欠陥原因の推定

前提条件
- ロバスト条件で連続生産
- 外乱による品質変動を対象

加工条件の適正化

品質にばらつきがある
加工条件

半分以上
過検出

見逃し
が発生

正常と欠陥を分離するには
- **品質を上げること**
  AI条件推奨でのロバスト条件
- **分離性能の良い特徴量の選定**

理想的な加工条件

AI条件推奨の結果

実用的な過検出で
見逃し0件を
目指すには必要

実験系と発光強度・放射温度

音声フォーマットに変換できる
（要ハイパスフィルタ）

品質毎に違いがあるか
人が音で確認できる

発光強度の音色

異なる品質は，音色に違いがある
音の強さには外乱が多いが，音色には少ない

KISTEC

SUS304
t1.0+t1.0重ね

良好

板間隙間大

出力低下

信号処理手順（特徴量の抽出）

音色の違いを抽出

KISTEC

加工中の発光強度

ハイパス
フィルタ

高周波成分

フーリエ
変換

スペクトラム
spectrum

メル周波数フィルタ

もともとは人間の可聴域帯に重みをつけるフィルタ

離散コサイン変換

メル周波数ケプストラム係数
cepstrum

mfcc19
⋮
mfcc1
mfcc0

n個
得られる

欠陥検出の解析方法の選定

KISTEC

異常検出

・正常品だけで特徴を学習（1クラス・モデル）

・正常品との距離（違い）

さまざまなアルゴリズム

＞　オートエンコーダー

＞　主成分分析，サポートベクターマシン

＞　マハラノビスの距離

大量の正常品で構築可能
評価用に少しの欠陥品があればよい

教師あり学習

・正常品と欠陥品の分類問題

高精度の予測をするには
欠陥品が正常品と同数程度は必要

生産現場では，歩留まりを改善しているため，欠陥品が少ない
主に破壊検査による品質評価のため，多大な工数と費用を要する

マハラノビスの距離とは

ユークリッド距離

マハラノビス距離

Source by: https://www.kaggle.com/ravinduabey/davis-data-set

$$D_M = \sqrt{(x - \mu)^T \sum^{-1} (x - \mu)}$$

x: データ（ベクトル）
μ: 平均（ベクトル）
$\sum$: 分散共分散行列

実験とマハラノビス距離の算出手順

正常データに対する分散共分散行列Σの算出

- AI条件推奨でロバスト推奨条件を探索（図○）
- 異なった環境（日時，気温，湿度など）で，推奨条件にて実験
- 発光強度の特徴量であるmfccを用いてΣを算出

評価サンプルに対するマハラノビス距離（D_M）の算出

- 生産現場で考え得る変動を含んだ条件で実験
  - レーザ出力の低下（光学系の汚れ）
  - 焦点位置の上昇（光学系の汚れ，治具摩耗）
  - 板間ギャップの増加（ワーク形状変動）
- 評価サンプルの特徴量mfccと上記で算出したΣからD_Mを算出

$$D_M = \sqrt{(x - \mu)^T \sum^{-1} (x - \mu)}$$

x： データ（ベクトル）
μ： 平均（ベクトル）
$\sum$ ： 分散共分散行列

AI条件推奨の結果

マハラノビス距離による欠陥検出

許容できる過検出で，見逃し0件が可能

欠陥原因の推定（逸脱判定品の3クラス分類）

マハラノビスの距離で正常品から逸脱判定したサンプルのみを、ニューラルネットワークで欠陥原因の推定を行うと、充分な高精度が得られる

実際の欠陥原因 ＼ 欠陥原因の予測結果	WD	GAP	Power
WD	78	1	0
GAP	0	59	0
Power	0	0	80

まとめ

ものづくり熟練技術者にとって価値のある機械学習を活用したインプロセスモニタリング

- 加工中の発光強度に対して、音色を表す特徴量MFCCを用いて高精度な欠陥検出
- MFCCを用いて見逃し0件での欠陥検出の可能性がある
  - 特徴量正常データ群からの離れ具合（マハラノビス距離など）による判定
    → 欠陥品のデータは少なくても良い
- トラブルシューティングに役立つ欠陥原因の推定が可能

この成果の一部は，国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務（JPNP18002）の結果得られたものです.
深く感謝いたします.