Ⅰ－１　講演会　状態空間モデルを用いた印刷機器の用紙搬送状態判定システムの構築

講師：コニカミノルタ株式会社
プロフェッショナルプリント事業本部　開発統括部
EP 製品開発センター　EP デバイス制御開発部　橘 優太

開催日　：2025 年 3 月 7 日
開催場所　：Zoom によるリモート開催
参加者　：68 名
記　：山中 大樹 *

１．はじめに

近年の人材不足の状況の中、サービス力強化が課題となっており、機器のダウンタイム削減が重要視されている。コニカミノルタでは、これまで機械内部データの機械学習による故障予測などの取り組みを行ってきたが、多種多様な使用条件などが理由での予測外れから、現場での使用頻度が下がるケースが発生していた。そこで、機器内部の信号から現在の状態を推定し、使用条件の詳細を把握せずに判定・予測が行える技術コンセプトの確立を目指した。今回はその技術を用紙搬送に適用した事例について講演していただいた。

２．講演内容

2.1. 取り組みの背景

判定・予測精度が上がらない理由としては、4,000～6,000 種あると言われる紙種の多様性、顧客の仕事の違いから生じる期待する画質レベルの差など、顧客の使用条件の複雑さによると考えられる。また、デジタル印刷システムは、画像描画や用紙搬送のメカニカル技術、それを制御するエレクトロニクス技術、画像処理技術、画像形成プロセス技術、材料技術など多くの要素技術が組み合わされており、各機能間の関連が複雑になっていることも理由である。

これらを解決する手段として、演繹的アプローチとしては機器内部の構造を定式化したモデルを設計し、目標値との偏差から判定・予測を行うことが望ましいが、上記理由により機器状態を定式化する事は非常に困難という課題がある。また帰納的アプローチとしては、データドリブン（機械学習）が利用されているが、機器の経時的な状態変化（トレンドなど）を表現することが難しく、また判定に用いるデータを偏りなく収集する必要があるなど課題も多く、入力の変動に対して頑健な予測モデルを設計することは難しい。

2.2. 提案するシステム構成

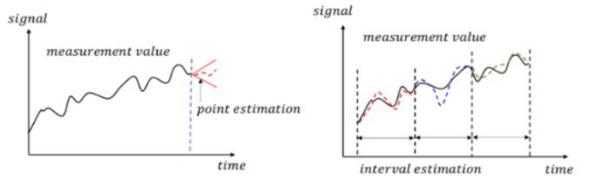
この課題を解決するために、発生メカニズムを完全に把握できない複雑な事象に対し、演繹と帰納の中間のモデリングを用いることとした。機器状態がマルコフ過程に従うことのみを仮定し、内部信号から機器状態を直接モデル化するとともに、運用時においても内部信号を入力として現在の状態を推定することで、使い方や状態トレンドに影響されずに状態判定が行える

* 技術調査専門委員会委員

技術を構築した。

機器の状態とは、例えば紙詰まりにおいて、詰まりが発生しない機器と頻発している機器の状態は、それぞれ「発生しにくい状態」と「発生しやすい状態」になっていると考えられる。ある機器の現在の状態は、どちらの状態に近いのか、特徴量として算出することができれば判定が可能になるのではないかと考えた。

このような機器状態のモデル化に状態空間モデルを用いる方法を考えた。一般的な状態空間モデルでは時点の将来を逐次予測する手法（点推定）がとられているが、機器の状態を測るとき、短期的なセンサー信号の状態のみを捉えると、周期の短い変動、いわゆるノイズの影響を受け、正確な状態を検知することはできない。そこで、Fig.1 に示すように機器状態を区間に分け、区間ごとに判定・予知を行うこと（区間推定）を考えた。



(a) General estimation method　(b) Estimation method for this theme

Fig.1 状態空間モデルの推定区間

今回使用した用紙搬送ユニットの構成について Fig.2 を用いて説明する。印刷が開始されると右端の給紙トレイから用紙が給紙され、転写ローラー、定着ローラーを経て搬送される。片面印刷時はそのまま左端方向へ排出し、両面印刷時は左下へ搬送され、スイッチバックを行い、上部に再給紙される。このような搬送動作を制御するために、用紙の搬送経路上には多くの搬送ローラー対と、用紙の先端/後端を検出するセンサー（Fig.2 の▽部分）が設けられている。

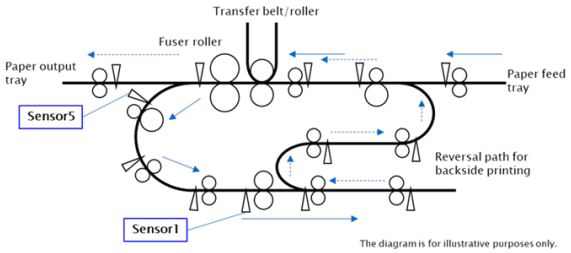


Fig.2 用紙搬送ユニットの構成例

各センサーを用紙がいつ通過したかの時間を出力信号とし、各センサーの通過時間は 1 つ前のセンサーの通過時間に影響される。これはすなわち通過時間の関係がマルコフ仮定とみなすことができるということである。この各センサーの通過時間の変化より、モデル化を行っていく。また、状態判定には適合率の計算を転用することとした。適合率は学習したモデルから算出した推定データと実測値の適合性を計算するもので、モデルの出来の善し悪しを評価するものであるが、適合率を特徴量として用いて、機械の状態が正常か異常かを判定する。

2.3. 実験と考察

実験対象として、商業用デジタル印刷システム（製品名：AccurioPress C7100）の用紙搬送ユニットを使用し、異常状態として紙詰まりが発生しやすい状態を作りながらデータを取得して、モデル化と状態判定を実施した。

用紙搬送制御では、各センサーにて許容される時間内に用紙の先端・後端が検出されなかった場合、紙詰まりが発生したと判定される。その要因としては、用紙搬送ローラーのスリップによる搬送遅れ、用紙搬送ローラーの駆動負荷が増加して発生するモーターの脱調（回転不良）による搬送遅れなどが挙げられる。

正常状態と異常状態で変化が生じているセンサーを探索した結果、用紙後端が抜けるタイミングに変化が出ているセンサー5 とセンサー1 を特定し、状態空間モデルの学習を行った。具体的には Fig.3 の様に、上流センサーであるセンサー5 の OFF タイミングを入力とし、下流センサーであるセンサー1 の OFF タイミングの予測値を出力するモデルを、正常状態と異常状態

の 2 種類のデータを用いてそれぞれ構築した。

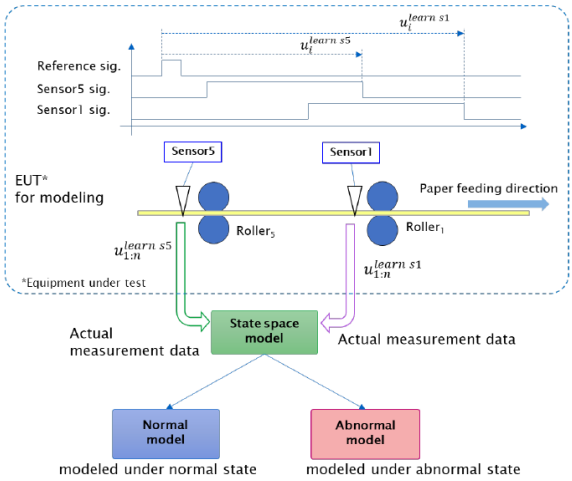


Fig. 3 用紙搬送状態のモデル化

構築したモデルから実際に機器の状態判定を検証した。異常状態モデルと正常状態モデルのそれぞれに対し、下流センサーの OFF タイミングの推定値と実験による実測値から、それぞれ適合率計算を行った。結果を Fig. 4 に示す。正常機器×正常モデルや異常機器×異常モデルの同じ状態での適合率は 60%～70%程度であり、適合率を特徴量として現在の機器の搬送状態を判定できていると言える。

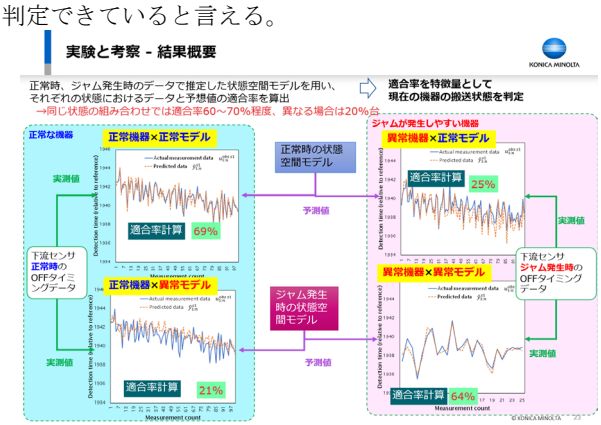


Fig. 4 各モデルと機器状態の適合率

2.4. まとめ

機器状態がマルコフ過程に従うことのみを仮定し、内部信号から機器状態を直接モデル化した。運用時においても内部信号を入力として現在の状態を推定することで、使い方や状態トレンドに影響されずに状態判定が行える手法を示した。状態判定には時系列データの予測値と実測値に対して適合率を計算することで機器状態を定量的に判断するための指標が得られた。今後は実用に向けて、サービス現場での実情と指標を対応付ける、あるいは現場での運用を通じて指標に対するサービスアクションを定めていくといった運用での使いこなしによって市場適用できるようにしていく。

3．おわりに

状態空間モデルを用いた印刷機器の用紙搬送状態判定システムの構築について分かりやすく講演していただいた。講演会には会員各社の方が多数参加され、講演終了後の質疑応答では数多くの質問があり、講演内容への参加者の関心の高さが伺えた。本発表および本報告においては、状態空間モデルの構造方程式や適合率の計算式など省略した部分もあるため、詳細はコニカミノルタのホームページより、テクノロジーレポート 2024 を参照いただきたい。

https://research.konicaminolta.com/jp/report/2024/

最後に、橘様にはお忙しい中、時間を割いていただき、また非常に分かりやすい講演を行っていただいた。この場を借りて御礼申し上げる。

禁 無 断 転 載

2024 年度「ビジネス機器関連技術調査報告書」“Ⅰ－１”部

発行　　2025 年 6 月
一般社団法人 ビジネス機械･情報システム産業協会（JBMIA）
技術委員会 技術調査専門委員会
〒108-0073　東京都港区三田三丁目 4 番 10 号 リーラヒジリザカ 7 階
電話　03-6809-5010（代表） / FAX　03-3451-1770