

製品製造工程におけるオペレータに関する

ニューラルネットワークとクラシファイアを用いた操作モデルの構築

	広島大学	*熊谷 健太	KUMAGAI Kenta
2502915	広島大学	林田 智弘	HAYASHIDA Tomohiro
	太平洋セメント(株)	浅倉 綾太	ASAKURA Ryota
1109150	太平洋セメント(株)	香月 毅	KATSUKI Takeshi
1403974	広島大学	西崎 一郎	NISHIZAKI Ichiro
5000335	広島大学	関崎 真也	SEKIZAKI Shinya

1. はじめに

セメント製品の製造工程では、複数のオペレータが温度や焼成速度などの製造過程に関わる複数のパラメータを適切に設定することで、生産される品質や量を調整することができる。オペレータは、一定の製品品質を守りつつ、自然環境保全、省エネルギーの観点から定められた基準に従った操作を行う。一方で、状況に応じた細かい操作はオペレータ個人の裁量で行われており、オペレータによって経験による巧拙がある。これらの操作は、いずれも操作パターンデータとして蓄積されており、オペレータを多次元の入力信号に基づいて操作パターンを選択するような、ある種の入出力装置に置き換えることで、操作を見える化することができると考えられる。

本研究では、オペレータ操作は時系列連続値入力、離散値出力の入出力信号であると解釈し、exMCRNN (extended Multi-Context Classifier System) と XCS (eXtended Classifier System) を組み合わせたクラシファイアシステムを用いてオペレータの操作モデルを構築し、数値実験によりその有効性を検証する。

2. 連続値環境のためのクラシファイアシステム

2.1 N-XCS (Neural network-XCS)

連続値として入力値が定義される連続値環境において、入力信号に対応した行動を有限な選択肢から1つを選択するような問題のために、林田ら[1]は、FNN (Feedforward Neural Network) と XCS を組み合わせた N-XCS を開発した。

N-XCS の行動ルールは、入力信号がそのルールに対応するかを FNN によって判定する条件部と、離散変数により定義される行動部から構成される。XCS と同様の学習方法により、複数の行動ルールを環境に

適応するように更新する。

条件部の FNN の出力数を 2 とし、出力値を y_1, y_2 とする。入力信号に対して $y_1 \geq y_2$ のとき、その行動ルールはその入力信号に対応しているものとして、マッチセットに追加する。そのような行動ルールが存在しない場合、入力信号に対して、 $(y_1, y_2) = (1, 0)$ を出力するように FNN を学習して、行動ルール群に追加する。これをカバーリング操作という。

3. オペレータ操作モデル構築のための N-XCS の改良

1 節で述べた通り、オペレータ操作は時系列連続値入力、離散値出力であると解釈されるため、N-XCS を基礎としたモデルが適切であると考えられる。本研究では、時系列データに対する高い近似精度を持つ exMCRNN によって入力信号の特徴を学習することを考える。

FNN は入力層、中間層、出力層に順で一方方向にのみ信号が伝播されるのに対して、exMCRNN [2] は中間層の信号が複数期間分フィードバックされるフィードバック層と、過去の入力値を一定期間記録しておく、数期分の入力信号を入力値に与えるタイムディレイ層を追加的に持つ、RNN (Recurrent Neural Network) の一種である。exMCRNN は高次元で複雑な時系列データに対する高い近似能力を持つが、適切な学習のためには多数の結線重みや閾値を決定する必要があるため、学習することは難しい。

3.1 NXCSM (NXCS Merged) の開発

本研究では、exMCRNN の学習時間短縮のために、N-XCS における行動ルールのように、各ルールに1つのニューラルネットワークを割り当てるのではなく、すべての行動ルールの条件部を統合することで、1つのニューラルネットワークによりすべての行動ルールを割り当てる。ここでは、exMCRNN の出力数を行動

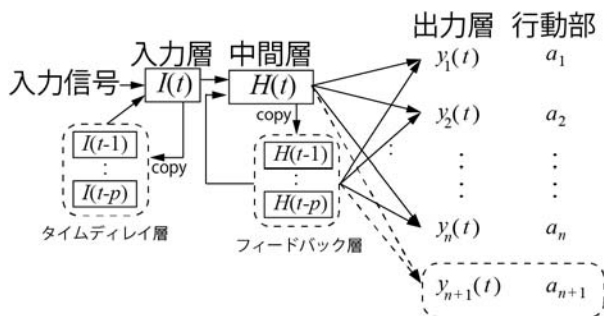


図 1. NXCSM の概念図

ルール数と同じ数にして、 i 番目の出力値 y_i 、閾値 θ に対して、 $y_i \geq \theta$ のとき i 番目の行動ルールが入力信号に対応していると解釈する。本研究では、このようなクラシファイアシステムを NXCSM(NXCS Merged)と呼ぶ。NXCSM の概念図を図 1 に示す。

出力層のユニット数が n の exMCRNN に対して、ある入力信号を与えたとき、 $y_i(t) < \theta, \forall i$ となるとき、すなわち、 n 個の行動ルールがすべて入力信号に対応していないと判定された場合、図 1 に示されるように、出力層に新たなユニットが追加される。これをカバーリング操作と呼び、対応する入力信号に対して $n+1$ 番目の出力値を 1 とした教師信号を用いて、新たに追加された出力ノードに関する重みと閾値を学習する。

4. 数値実験

本研究では、太平洋セメント (株) のセメント製造工程に関するオペレータの操作データの一部を用いた実験を行う。オペレータはリアルタイムで更新される 21 項目の製造工程に関するセンサデータなどに基づいて、いくつかの操作端を操作する。操作データは 1 分毎に記録されており、1 年分のデータを用いて NXCSM による学習および予測を行う。ただし、 m 日目の操作データを用いて、それまでに学習した NXCSM を更新し、 $m+1$ 日目の操作データを予測する。これを、 m を増やしながらか 1 年分繰り返す。

NXCSM の学習回数は、最初の 30 日分は 1 日分のデータごとに 1000 回、以降は 1 日分 300 回とする。ここでは、比較のために操作端の数だけの出力ユニットを持つ exMCRNN に用いた実験を行う。

図 2, 3 に、操作端の実際の操作量および exMCRNN および NXCSM を用いた実験結果として、横軸を時刻、縦軸を $[0,1]$ の範囲にスケールした操作量としたグラフを示す。実線が実際の操作量であり、破線が予測値である。

図 2, 3 より、exMCRNN, NXCSM のいずれも高い精

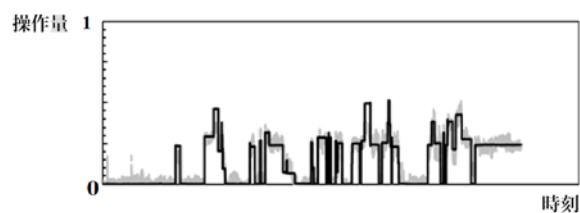


図 2. exMCRNN を用いた実験結果

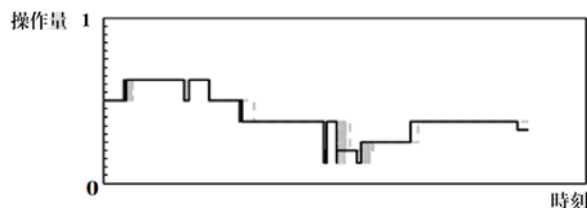


図 3. NXCSM を用いた実験結果

度で操作データの予測に成功していることがわかる。さらに、NXCSM による予測では、出力値を離散値とすることで、出力値の振動現象が起こらないことがわかる。

5. おわりに

本研究では、セメント製造工程におけるオペレータ操作が時系列連続値入力、離散値出力の入出力信号であることに着目して、ニューラルネットワークとクラシファイアシステムを結合したシステムを基礎とするオペレータ操作モデルである NXCSM を構築した。現実のオペレータ操作データを用いた数値実験を行い、NXCSM により高精度にオペレータ操作を模倣できることを示した。

今後の課題として、オペレータの経験による巧拙を考慮した操作モデルの構築および学習手法の開発を行いたい。

参考文献

- [1] 林田, 西崎, 関崎, “ニューラルネットワークを用いた実数環境に適用可能なクラシファイアシステムの開発,” 電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌), 139, pp.1-8, 2019.
- [2] H. Katagiri, I. Nishizaki, T. Hayashida and T. Kadoma, “Multi objective evolutionary optimization of training and topology of recurrent neural networks for time-series prediction,” *The Computer Journal*, 55, pp.325-336, 2012.