

CE行列を用いた制御系設計と対策立案

Controller configuration design and countermeasure planning using CE-matrices

名工大 ○濱口孝司, 米谷昭彦, 橋本芳宏, 戸苅吉孝

T. Hamaguchi, A. Yoneya, Y. Hashimoto and Y. Togari

Nagoya Institute of Technology

Abstract For plant-wide controller configuration design, the information about the dynamics of the whole plant is necessary. However, the designers don't use the precise dynamic model because the dynamic model building is very troublesome. A kind of the qualitative plant model is proposed to design the configuration. CE-matrices, whose elements are 0 or 1, to express the characteristics of the plant and controller configuration. It is applicable to plan countermeasures against abnormal states(e.g. saturation of control valve).

1 はじめに

化学プラントにおけるプロセスエンジニアリングやセンサ故障などの異常に対するオペレータの対策立案の問題は制御ループ構成問題と同様なプロセスで適

用できると考えられる。オペレータは一部のコントローラをマニュアルに変更して直接制御を行うが、その操作はやはり観測値を用いて行なわれる。人間は一度に多くの情報を処理するわけではなく段階的に考慮していくので、その対策立案の過程は制御ループの再構成と対応づけられる。この再構成問題も容易ではなく、このような制御系の構成決定問題に対してシミュレータやプロセスはあまりない。

本発表では、制御対象が持つこのような定性的な情報流れをCE行列の形でデータ化する。この表現により制御系の組み合わせを計算機に提案させ、対策立案に結びつける手法を提案する。

2 コントラクトシミュレーションの難しさ

化学プラントのほとんどは、シミュレータを組み合わせたマルチチャネル制御系で動いている。このような制御系を構築することをコントラクトシミュレーションとい、被制御量と操作量を組み合わせることを

重を結びつけるだけでプラントワイドなマルチチャネルを構築できるわけではない。図1の例題プラントを用いてマルチチャネル構築の難しさを説明する。例題において被制御量は L_1, L_2, F_4 の3つであり、操作量は V_1, V_2, V_3, V_4 の4つである。図1で示されているコントラクトシミュレーションでは $[L_2, V_2]$ のペアリ

3 制御対象の表現方法

変数間に存在する影響の因果関係をツール代数の「有:1」「無:0」にて示したCE行列でプラントとコントローラの各々を表現する。CE行列では行項目の要素に1をもつ列項目が、該当の行項目に影響を与えることを意味する。図1のプラントはプラント行列 G で表現される。図1の例題のプラントを示すプラント行列 G から列項目 F_3 と F_4 が行項目 L_2 に影響を与えることがわかる。

G	L_1	L_2	F_1	F_2	F_3	V_1	V_2	V_3	V_4
L_1	0	0	1	1	1	0	0	0	0
L_2	0	0	1	0	0	0	1	0	0
F_1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
F_2	0	0	0	0	0	0	0	1	0
F_3	0	0	0	0	0	0	0	0	1
V_1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V_2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V_3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V_4	0	0	0	0	0	0	0	0	0

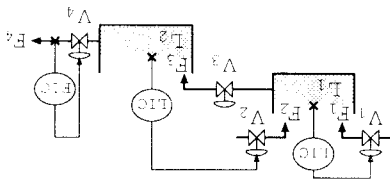


図1: 制御不可能な例

プラントにより $(L_2 \rightarrow V_2 \rightarrow L_1 \rightarrow F_2 \rightarrow F_3 \rightarrow L_2)$ という閉ループが構築されているが、 $[L_1, V_1]$ のペアリングにより L_1 の変化が抑制されると L_2 の制御が破綻してしまふ。

図1に示された制御系であるコントローラ行列 C において被制御量 L_1 の操作量に V_1 、被制御量 L_2 の操作量に V_2 が選択されていることがわかる。

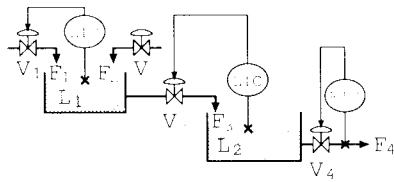


図 2: 制御できる可能性がある例

また、図1の例題において、被制御量 L_2 の操作量に V_2 の代わりに V_3 を選択した図2のコンフィギュレーションの場合が \tilde{C} である

C	L_1	L_2	F_1	F_1	F_2	F_3
L_1	0	0	0	0	0	0
L_2	0	0	0	0	0	0
F_1	0	0	0	0	0	0
F_2	0	0	0	1	0	0
F_3	0	0	0	0	1	0
F_4	0	0	0	0	0	1
V_1	1	0	0	0	0	0
V_2	0	1	0	0	0	0
V_3	0	0	0	0	0	0
V_4	0	0	1	0	0	0

\tilde{C}	L_1	L_2	F_1	F_1	F_2	F_3
L_1	0	0	0	0	0	0
L_2	0	0	0	0	0	0
F_1	0	0	0	0	0	0
F_2	0	0	0	1	0	0
F_3	0	0	0	0	0	1
F_4	0	0	0	0	0	0
V_1	1	0	0	0	0	0
V_2	0	0	0	0	0	0
V_3	0	0	1	0	0	0
V_4	0	0	1	0	0	0

3.1 影響伝播の到達可能性の判定法

3.1.1 影響伝播の表現方法

プラント行列 G とコントローラ行列 C の積の k 乗 (k は正の整数) である $(GC)^k$ を計算すると影響伝播が表現できる。

$(GC)^k$ の (i, j) 要素が 1 である場合、 j 番目変数の変化の影響が i 番目変数へ k ステップで到達することを示している。行列 $(GC)^k$ で被制御量を示す項目の対角要素に 1 が出現した場合、「被制御量の情報がコントローラを介して操作量に伝わり、その影響が該当の被制御量に到達した」と解釈できる。

3.1.2 可到達行列による判別

任意のノードから到達可能なノードの情報を持つ行列を可到達行列 R とする。 GC は $n \times n$ 行列とすると、 R の導出はブール代数演算を利用すると式 (1) で定義できる。

$$R = \sum_{k=1}^n (GC)^k \quad (1)$$

図1のコンフィギュレーションを示すコントローラ行列 C を用いて計算された可到達行列が以下に示す R である。 R からコントローラ行列 C で示されたペアリングでは、被制御量 L_1 の情報は L_1 に到達できるが、 L_2 の情報は L_2 に到達できないことが示され、制御系に問題があると判明する。

また、図2のコンフィギュレーションを示すコントローラ行列 \tilde{C} を用いて計算した可到達行列が下に示した \tilde{R} である。 \tilde{R} では、被制御量項目の対角要素がすべて 1 なので、 L_2 と V_3 のペアリングを用いた制御系は制御ができる可能性があるかと判定できる。

R	L_1	L_2	F_1	F_1	F_2	F_3
L_1	1	0	1	1	1	1
L_2	0	0	1	0	0	1
F_1	0	0	1	0	0	0
F_2	1	1	0	1	1	1
F_3	0	0	0	0	0	1

\tilde{R}	L_1	L_2	F_1	F_1	F_2	F_3
L_1	1	1	0	1	1	1
L_2	0	1	0	0	0	1
F_1	0	0	1	0	0	0
F_2	1	1	0	1	1	1
F_3	0	1	0	0	0	1

図3は例題プラントにおいて V_1 が飽和した場合の対策例である。飽和した V_1 を全開で固定した上で被制御量 L_1 を見ながら V_2 を操作するコンフィギュレーションとなる。このようにコントローラ行列を生成する事が様々なアクチュエータ、センサ異常に対する対策に結びつく。

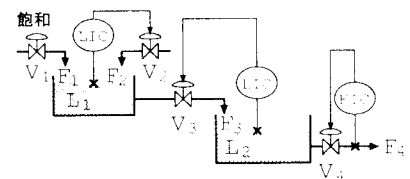


図 3: 対策の例

4 あとがき

本発表では、プラントワイドな制御系を実現するために制御対象が持つ情報流れを Cause-Effect 行列の形でデータ化する手法を提案した。この表現のもとにコントローラ・コンフィギュレーションを自動生成させることも可能であり、オペレータがどの観測値を見て、どこを操作すれば良いかという観点から様々なアクチュエータ、センサ異常に対して自動的に対応策を検討できる道が開けたと考えられる。