# オンラインパラメータ変更を考慮したリアルタイム制御系 CAD

東京工業大学　◯ ※古賀 雅伸，鳥海 洋章，三平 満司

# Real-time CAD of Control Systems Achieving On-line Parameter Tuning

◯ Masanobu KOGA, Hiroaki TORIUMI, Mitsuji SAMPEI, Tokyo Institute of Technology

**Abstract:** In this study we developed a new software which integrates the facility of matrix-operation-based CAD for control systems and that of real-time control. A strategy for on-line parameter change of the controller, which consists of minimal state observer and state feedback, is proposed and is verified through the experiment with an inverted pendulum.

## 1　はじめに

一般にディジタルコンピュータによって制御対象を制御する際，一定時間 (サンプリング時間) 毎に制御対象の出力を A/D 変換器などを使ってコンピュータに取り込み，制御則の計算を行い，D/A 変換器などを使って制御対象に出力する。このような制御は，時間的要求が絶対的であるリアルタイム処理を伴うのでリアルタイム制御と呼ばれる。

本研究では，従来の制御系 CAD がサポートする機能に加えリアルタイム制御機能をもつソフトウェアをリアルタイム制御系 CAD と呼ぶことにする。そして，フリーソフトウェアである MATX[1] にリアルタイム制御機能を付加してリアルタイム制御系 CAD(RTMATX) を開発する。

## 2　リアルタイム制御系 CAD

### 2.1　リアルタイム制御ソフトウェア

リアルタイム処理をサポートするソフトウェア (OS) は多く存在する。その中でリアルタイム制御に使われているものを表 1 に紹介する。 VxWorks はネットワークに対応

表 1: リアルタイムソフトウェア

| ソフトウェア名 | 開発元 |
|---|---|
| Real-Time Workshop | Mathworks Inc. |
| Realsim/AC-100 | Integrated Systems |
| Vissim | Visual Solutions |
| VxWorks | Wind River Systems |
| $\mu$RCOS | ACL |
| MRCOS | 東工大 |

した優れた開発環境を提供するが，行列を直接扱えないので制御則が複雑になるとプログラムが煩雑になる。 Vissim はブロック線図を使って制御器を構成する環境を提供するが，インタプリタであるため処理速度が遅い。

Real-time Workshop や Realsim/AC-100 は，制御器のブロック線図から直接リアルタイム処理コードを生成でき，行列を直接扱うこともできる優れたソフトウェアである。しかし，制御器を設計する環境と生成されたコードを使って実際に実験を行う環境が異なるなるため，制御系の設計と実プラントでの実験の繰り返しが効率的でない。また，開発環境が非常に高価なため使用できるユーザが制限される。本研究で開発した RTMATX は，制御系の設計と実プラントによる実験を同じ環境で行え，安価なパソコンで動作するフリーソフトウェアであるので誰でも使用できる。

### 2.2　オンラインパラメータ変更

基準モデルに基づいて設計された制御器を用いると，シミュレーションでは問題ないが，実プラントに適用すると，閉ループ系の性能劣化が予想を上回ることがある。これは閉ループ系の応答の予測誤差は，物理プラントのモデルの精度だけでなく，用いる制御器にも依存するからである [2]。このため制御系の設計と実プラントでの実験の繰り返しが必要となる。もし，制御を続けたままコントローラのパラメータを変更できるなら，設計と実験の繰り返しが効率的に行える。制御を続けたままコントローラのパラメータを変更することをオンラインパラメータ変更と呼ぶことにする。

オンラインパラメータ変更では，制御器のパラメータを計算 (制御器設計) する処理と制御則の計算をする処理の間でパラメータの受渡しが必要である。オフライン側 (制御器設計処理) で計算したパラメータをオンライン側 (制御則計算処理) に渡すために共有するパラメータを 2 つのテーブルに持たせる方法がある [3]。図 1に示すようにオン

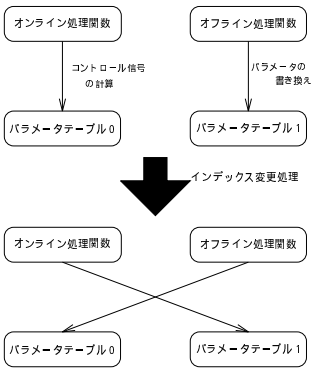


図 1: パラメータテーブルの変更

ライン側で一方のパラメータテーブルを参照して制御即の計算をしている間に，もう一方のパラメータテーブルをオフライン側で書き換え，書き換えが終了した段階で参照先を示しているインデックスを変更する方法である。しかし，文献 [3] で報告されている方法はパラメータテーブルをユーザ (プログラマ) が管理する必要があり，ユーザへの負

担が大きい。パラメータテーブルの管理を容易にするため RTMATX では Realtime 変数という概念を導入した。

## 3 オンラインパラメータ変更の影響

ここでは，制御器を最小次元オブザーバ＋状態フィードバックに限って制御を続けたまま制御器のパラメータ変更した場合の影響について考察する。制御対象には図 2に示す倒立振子を用い，パラメータを変更する動作点は十分に平衡点に近いと仮定する。

パラメータを変更する動作点が十分に平衡点 $x = 0$ に近いと仮定しているので，状態フィードバック則の変更による影響はシミュレーション及び実験の結果，あまり大きくないことが分かった。影響が大きい場合は，設計仕様の変更を補間する方法が考えられる。次に最小次元オブザーバのパラメータの変更方法について述べる。

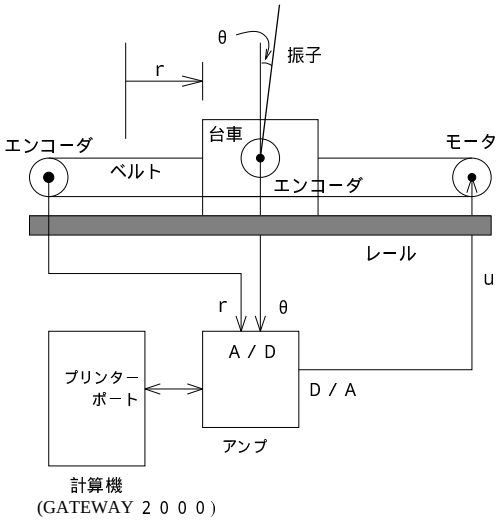


図 2: 倒立振子の構成図

### 3.1 最小次元オブザーバのパラメータ変更

最小次元オブザーバのパラメータの変更において，オブザーバの状態量 $z$ に変更前の値をそのまま用いると，状態の推定値 $\hat{x}$ が不連続に変化し，制御出力 $u$ も不連続に大きく変化することがあることが分かる。そこで，新しいパラメータを用いても制御出力が不連続に変化しないよう，状態の推定値がパラメータの変更前後で一致するように変更後のオブザーバの初期状態の決定法を提案する。

次の線形システム

$$\dot{x} = Ax + Bu \tag{1}$$
$$y = Cx \tag{2}$$

について対してゴピナスの設計で最小次元オブザーバを設計することを考える。状態変数変換 $x = T\bar{x}$ により変換された等価なシステム

$$\dot{\bar{x}} = \bar{A}\bar{x} + \bar{B}u \tag{3}$$
$$y = \bar{C}\bar{x} \tag{4}$$

に対して設計された最小次元オブザーバを

$$\dot{\bar{z}} = \hat{\bar{A}}\bar{z} + \hat{\bar{B}}y + \hat{\bar{J}}u \tag{5}$$

$$\hat{\bar{x}} = \hat{\bar{C}}\bar{z} + \hat{\bar{D}}y \tag{6}$$

とする。ただし，

$$\begin{bmatrix} \hat{\bar{C}} & \hat{\bar{D}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{n-p} & L \\ O & I_p \end{bmatrix} \tag{7}$$

であり，$L$ はオブザーバの極を決める定数行列である。(6) と (7) から次のように $\bar{z}$ が求められる。

$$\begin{aligned} \bar{z} &= \begin{bmatrix} I_{n-p} & O \end{bmatrix} \hat{\bar{x}} - Ly \\ &= \begin{bmatrix} I_{n-p} & O \end{bmatrix} T^{-1}\hat{x} - Ly \end{aligned} \tag{8}$$

パラメータ変更後のオブザーバの初期状態を (8) のように設定すれば，パラメータ変更前後で状態の推定値を一致させることができる。

## 4 実験結果

図 2に示す倒立振子を用いた実験を行った。実験開始約 3 秒後にオブザーバの極を $-70$ の重根から $-20$ の重根に変更した場合の台車の位置と振子の角度の変化の様子を図 3と図 4に示す。

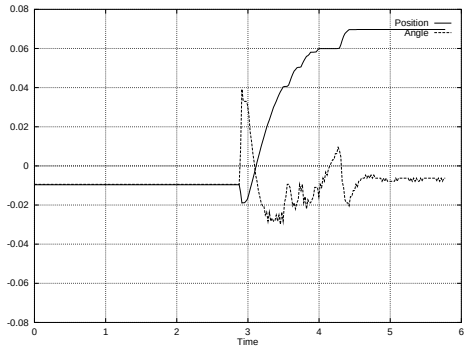


図 3: オブザーバの初期状態を考慮しない場合

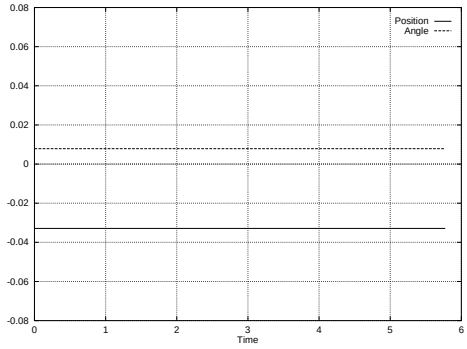


図 4: オブザーバの初期状態を考慮した場合

## 参 考 文 献

[1] 古賀雅伸，古田勝久． 数値処理と数式処理を融合した制御系 CAD 言語 MaTX. 計測自動制御学会論文集, Vol. 29, No. 10, pp. 1192–1198, 1993.

[2] 片山徹. 制御系設計におけるモデリング. システム / 制御 / 情報, Vol. 37, No. 1, pp. 2–6, 1993.

[3] 関野進. 新しいリアルタイムカーネルと CAD の統合化について. 卒業論文, 東京工業大学, 制御システム工学科, 古田研究室, 1995.