

宮里 義彦 数理・推論研究系 教授

■ LPVシステムのポリトピックシステム表現と適応的なゲインスケジューリング制御の研究

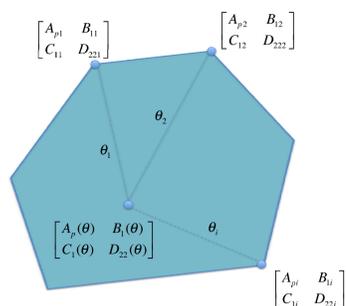
LPV (Linear Parameter Varying) システムにおいて不確定なパラメータの上限と下限が既知の場合、それらの値を端点(端点システム)とするポリトピックの内点としてシステムを表現することができます(ポリトピックシステム表現)。この内点の位置を規定するパラメータを制御におけるスケジューリングパラメータとして用いるのがゲインスケジューリング制御ですが、スケジューリングパラメータの正確な値がわからないと所望の制御性能が発揮できないだけでなくシステムの安定性が損なわれる危険性があります。本研究ではプロセスの操作データを用いてオンラインでスケジューリングパラメータを決定する適応型のゲインスケジューリング制御方式を新たに開発しました。

● ポリトピックシステム表現

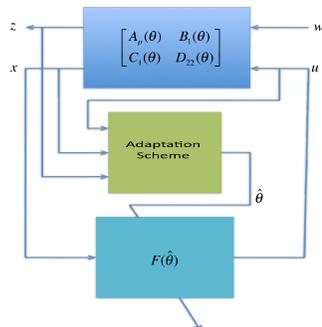
$$\begin{bmatrix} A_p(\theta) & B_1(\theta) \\ C_1(\theta) & D_{22}(\theta) \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^r \theta_i \begin{bmatrix} A_{pi} & B_{1i} \\ C_{1i} & D_{22i} \end{bmatrix}$$

● 適応ゲインスケジューリング制御とLMI

$$\begin{cases} \dot{x} = A_p(\theta)x + B_p u + B_1(\theta)w \\ z = C_1(\theta)x + D_{21}u + D_{22}(\theta)w \\ u = F(\hat{\theta})x = \sum_{i=1}^r \hat{\theta}_i F_i x \end{cases} \quad \begin{bmatrix} A_{cli}^T P + P A_{cli} & P B_{1i} & C_{cli}^T \\ B_{1i}^T P & -\gamma I & D_{22i}^T \\ C_{cli} & D_{22i} & -\gamma I \end{bmatrix} < 0$$



ポリトピックシステム表現



適応ゲインスケジューリング制御

■ 多重サンプリング方式と周期時変フィードバックを利用したデジタル制御系の零点補償の研究

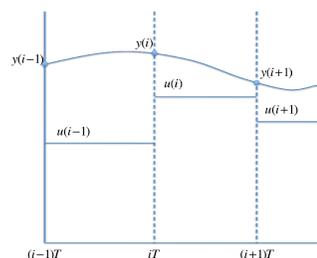
システムの挙動(安定性・応答の速さなど)を決定するのは極(pole)ですが、制御によりシステムの挙動を改善できるかどうかは零点(zero)によって決まります。ところがフィードバック制御では極は再配置可能ですが、零点は移動させることができません。さらに通常のサンプリング方式を用いてデジタル制御系を構成すると零点が不安定なシステム(非最小位相系)になることが多く、このような場合にフィードバック制御でシステムの特長改善は多くは望めません。それに対して多重サンプリング方式に基づく周期時変フィードバックを用いて直接に零点を再配置する手法を考案し、これを利用した非最小位相系に対するモデル規範形適応制御やセルフチューニングコントローラ(確率適応制御の一手法)の開発方法を開発しました。

● 通常のサンプリング方式に基づくデジタルフィードバック制御

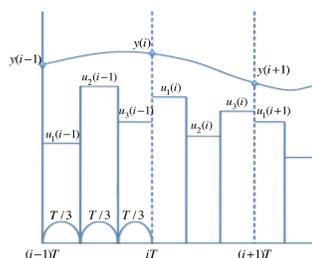
$$\begin{cases} A(z^{-1})y(i) = B(z^{-1})u(i) \\ u(i) = F(z^{-1})y(i) \end{cases}$$

● 多重サンプリング方式に基づく周期時変フィードバック制御

$$\begin{cases} A(z^{-1})y(i) = \sum_{k=1}^3 B_k(z^{-1})u_k(i) \\ u_k(i) = F_k(z^{-1})y(i) \end{cases}$$



通常のサンプリング方式



多重サンプリング方式

■ 複雑なシステムのモデリングと制御に関する研究

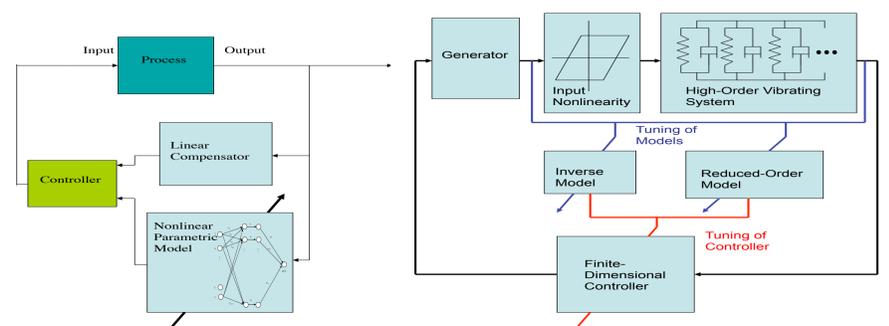
非線形パラメトリックモデルとして表される非線形特性や、高次振動モードを有する複雑なシステム(非線形プロセス、柔軟構造物、弾性アームなど)のモデリングと制御に関する研究を行っています。非線形パラメトリックモデルに対しては近似誤差やパラメータの調整機構に含まれる不確定性を未知の外乱と見なし、高次振動系に対しては実用的な低次元モデルに含まれるモデル化誤差(スプillover)を外乱と見なし、逆最適化に基づく外乱抑制型の \mathcal{H}_∞ 制御方式を開発すると同時に、不感帯やバックラッシュなどの入力非線形特性について逆モデルを導入して補償を行う複合的な制御系設計法を研究しています。モデリングと制御の整合性が不可欠で制御科学と統計科学の接点に位置する研究テーマです。

● 非線形パラメトリックモデルの同定と適応 \mathcal{H}_∞ 制御方式

$$\begin{cases} \dot{x} = f(z) + u, & f(z) = W^T S(V^T z) + \mu(z) \\ u = -\hat{W}^T S(\hat{V}^T z) + v, & v = -\frac{1}{2}R^{-1}\mathcal{L}_g V_0 \end{cases}$$

● 高次振動系(偏微分方程式系)の低次元適応 \mathcal{H}_∞ 制御と入力補償

$$\begin{cases} \frac{\partial^2}{\partial t^2} u(t, x) + 2\alpha \frac{\partial^5}{\partial t \partial x^4} u(t, x) + \frac{\partial^4}{\partial x^4} u(t, x) = g(x) f_N(t) \\ y(t) = \int_{\Omega} c(x) u(t, x) dx \\ f_N(t) = N(f(t)) \\ f(t) = \hat{N}^{-1}(f_d(t)) \\ f_d(t) = \hat{\Theta}(t)^T \omega(t) + v(t), & v = -\frac{1}{2}R^{-1}\mathcal{L}_g V_0 \end{cases}$$



非線形パラメトリックモデルの同定と制御

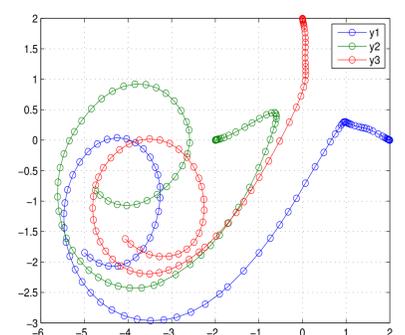
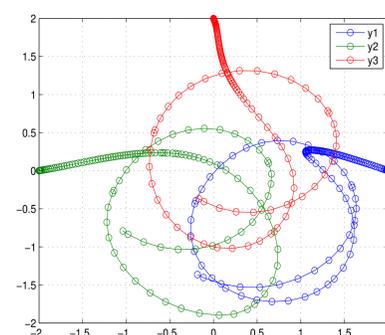
高次元系の低次元制御と入力非線形補償

■ 自立的に調和行動を実現するマルチエージェント系の適応制御方式に関する研究

未知パラメータを含む複数のEuler-Lagrangeシステムを個々のエージェントとするマルチエージェント系に対して、適応的に速度追従型の群生行動を実現するフォーメーション制御系の構成法について研究をしています。適正な群生行動は、目標物との速度偏差や距離の制約と、エージェント相互間の距離の制約から導かれるポテンシャル関数を最小化する状態として定式化されます。これに対して制御機構は未知パラメータの推定誤差と群生行動に関するポテンシャル関数の誤差を等価的な外乱と見なした \mathcal{H}_∞ 制御問題の解として導出され、それらの変動に対してロバスト安定特性を有すると同時に、適応パラメータの調整により、自動的に生成される目標状態(群生の形態)への追従性が保証されます。実際の問題としては高速道路における自動車の群制御や、複数のロボットマニピュレータによる協調動作の実現のための基本原理を解明する研究です。

● マルチエージェント系とフォーメーション \mathcal{H}_∞ 制御

$$\begin{cases} M_i(y_i)\ddot{y}_i + C_i(y_i, \dot{y}_i)\dot{y}_i + D_i(y_i, \dot{y}_i) + G_i(y_i) = \tau_i \\ \tau_i = Y_i(y_i, \dot{y}_i, a_i, b_i)\hat{\theta}_i - k_g \left\{ \frac{\partial J_C(\Delta y)}{\partial \Delta y_i} + \frac{\partial J_L(y)}{\partial y_i} \right\} + v_i \\ v_i = -\frac{1}{2}R_i^{-1}\mathcal{L}_{g_i} V_i \quad (i = 1, \dots, N) \end{cases}$$



マルチエージェント系のフォーメーション制御