システム制御理論の研究 〜 統計科学と制御科学の接点

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】

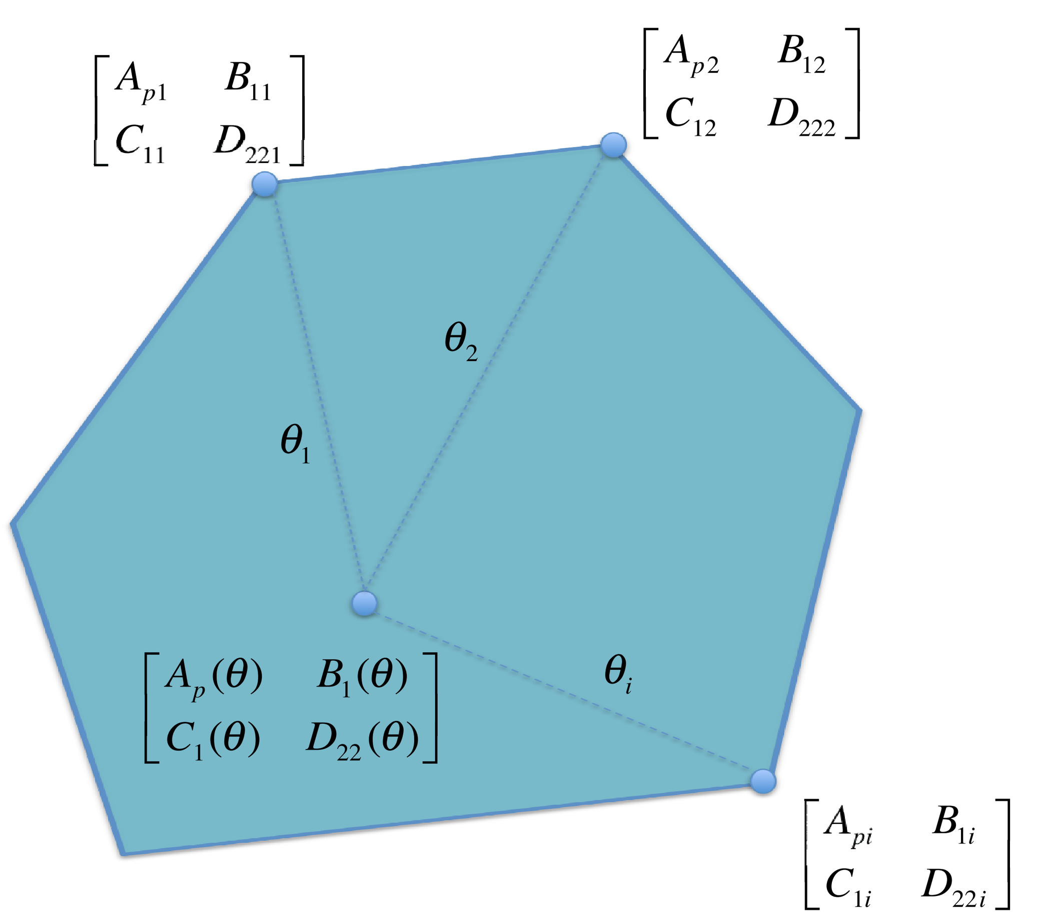
LPV (Linear Parameter Varying) システムにおいて不確定なパラメータの上限と下限が既知の場合，それらの値を端点 (端点システム) に持つポリトープの内点としてシステムを表現することができます (ポリトピックシステム表現)．この内点の位置を規定するパラメータをスケジューリングパラメータとしてプロセスの制御に用いるのがゲインスケジューリング制御ですが，スケジューリングパラメータの正確な値がわからないと所望の制御性能が発揮できないだけでなくシステムの安定性が損なわれる危険性があります．本研究ではプロセスの操業データを用いてオンラインでスケジューリングパラメータを逐次的に決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．スケジューリングパラメータは，システム表現と制御器の構造を陽に関連づける要素であるため，今後，統計的モデリングの分野でも有力なツールとして着目されると思われます．

● ポリトピックシステム表現

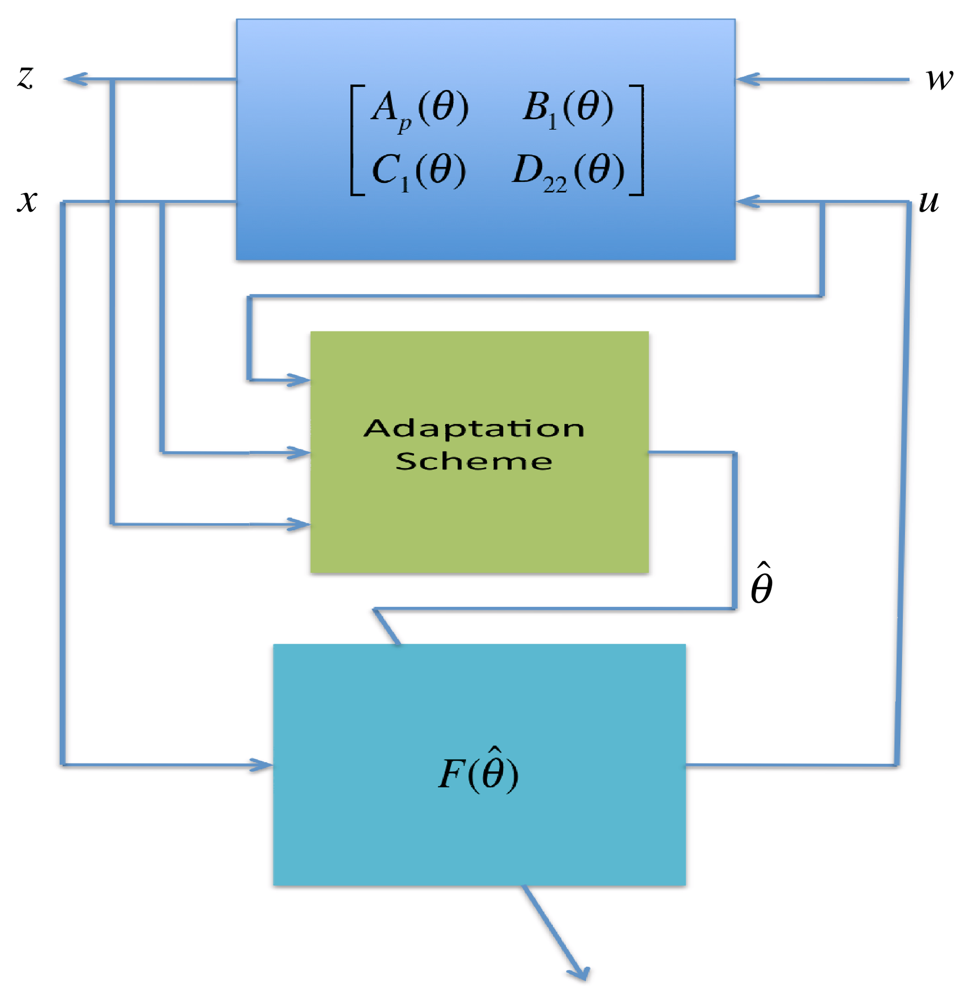
$$\begin{bmatrix} A_p(\theta) & B_1(\theta) \\ C_1(\theta) & D_{22}(\theta) \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^{r} \theta_i \begin{bmatrix} A_{pi} & B_{1i} \\ C_{1i} & D_{22i} \end{bmatrix} \qquad \sum_{i=1}^{r} \theta_i = 1 \quad (\theta_i \geq 0)$$

● 適応ゲインスケジューリング制御とLMI

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



ポリトピックシステム表現



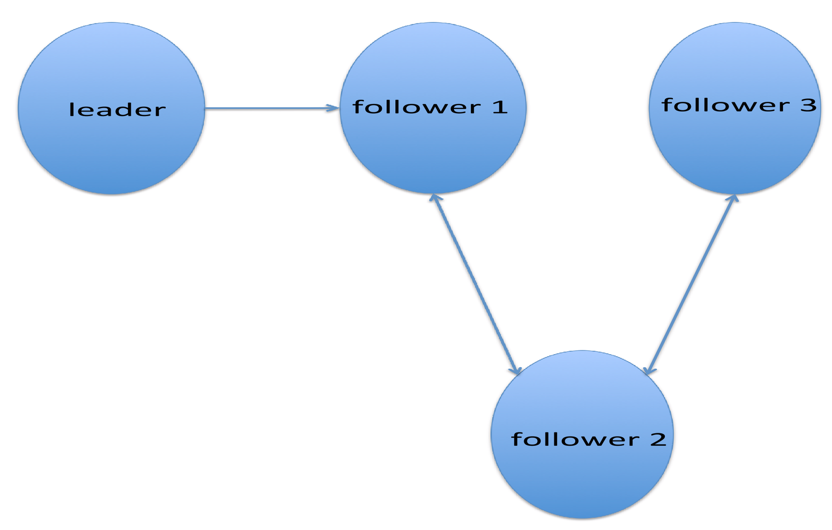
適応ゲインスケジューリング制御

【自立的に調和行動（合意形成）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】

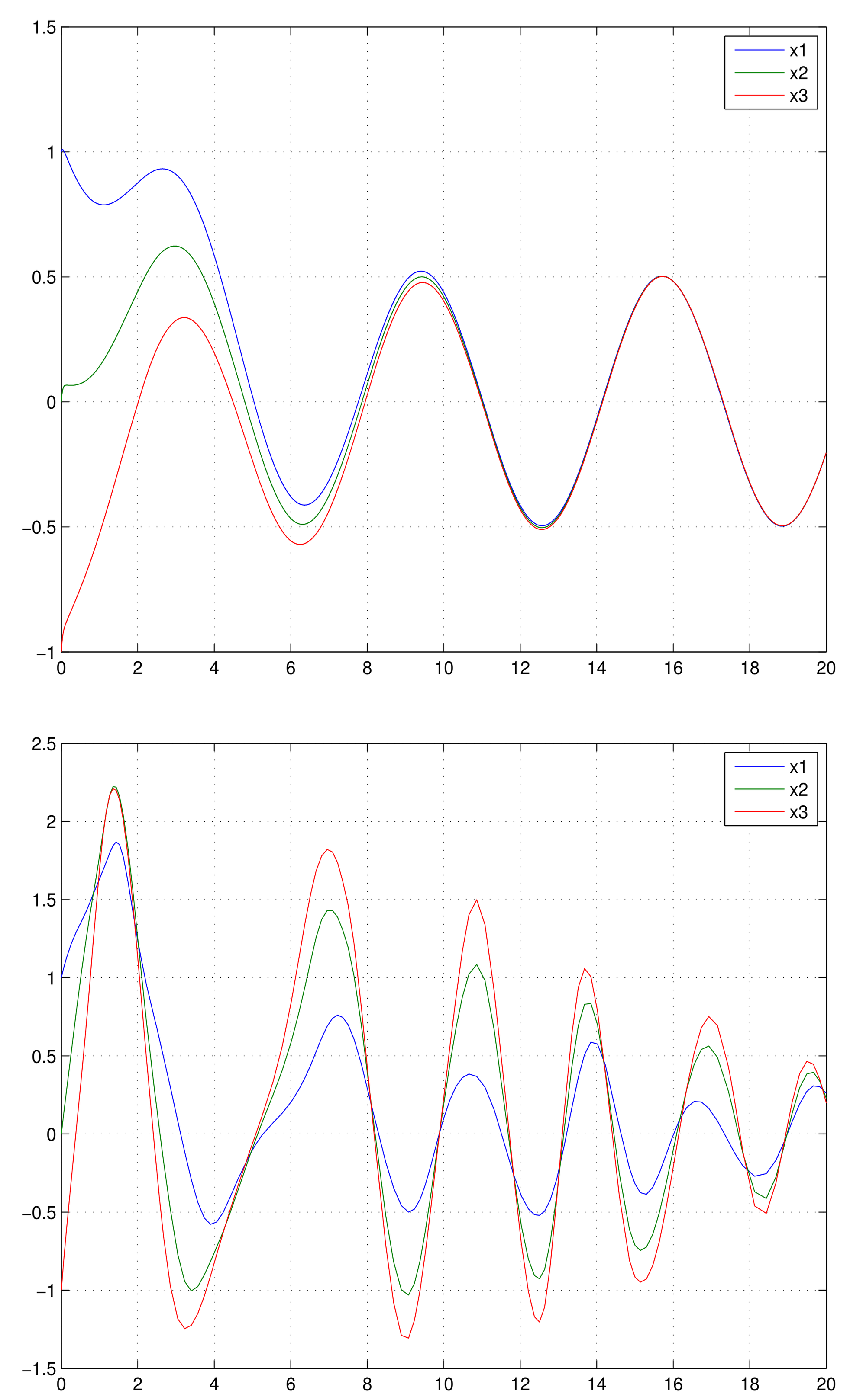
未知パラメータを含む複数の動的システムを個々のエージェントとするマルチエージェント系に対して，適応的にリーダーフォローワー型の追従行動を実現するコンセンサス（合意形成）制御系の構成法について研究をしています．コンセンサス制御問題は，追従すべきリーダーの情報がすべてのエージェントには伝達せず，また各エージェントの情報もすべてのエージェント間で共有することができない制約のある通信条件のもとで，追従行動を実現する問題として定式化されます．この限定された通信構造に対応するネットワークグラフと，隣接行列の半正定性に着目し，未知パラメータの推定誤差とリーダー情報の不完全な伝達を等価的な外乱と見なした$\mathcal{H}_\infty$制御問題の解として，提案する制御機構は導出されます．実際の問題としては高速道路における自動車の群制御（スマートハイウェイ）や複数のロボットマニピュレータによる協調動作などが該当し，これらの調和行動の実現のための基本原理を解明する研究です．モデリングや合意形成行動の過渡的な不備を制御が補うという意味においてモデリングと制御の整合性が不可欠であり，制御科学と統計科学の接点に位置する新しい研究テーマです．

● マルチエージェント系とコンセンサス$\mathcal{H}_\infty$制御

$$\begin{cases} \dot{x}_i(t) = \Omega_i(t)\theta_i + B_i u_i(t), \quad (i = 1, \cdots, N) \\ u_i(t) = \hat{P}_i(t)\left[-\Omega_i(t)\hat{\theta}_i(t) - \alpha \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{N} a_{ij}\{x_i(t) - x_j(t)\} + n_{i0}\dot{x}_o(t) \right] \\ \qquad + v_i(t) \\ v = [v_1^{\mathsf{T}}, \cdots, v_N^{\mathsf{T}}]^{\mathsf{T}} = -\frac{1}{2}R^{-1}(\mathcal{L}_{g_2}V_0)^{\mathsf{T}} = -\frac{1}{2}R^{-1}\hat{B}^{\mathsf{T}}(M \otimes I)\tilde{x} \end{cases}$$



ネットワークグラフ



マルチエージェント系のコンセンサス（合意形成）制御