

制御システム研究室 活動状況報告

マルチエージェントシステム制御理論と 大規模最適化によるロバスト制御

豊田工業大学 制御システム 川西 通裕

研究の背景(1)

【背景】

社会的に重要な(1)電力ネットワーク制御、(2)自律ビークル群・交通システム制御において、未知の状況に対応できるレジリエントな制御システムの実現が求められている。

(1) 電力ネットワーク制御

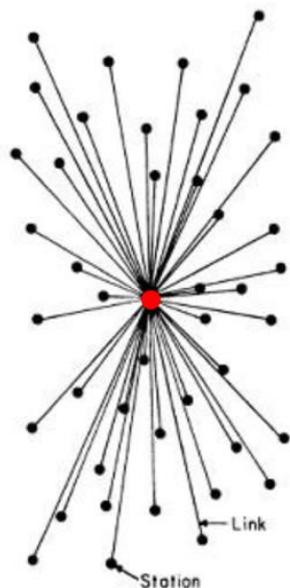
- 「車載バッテリー」と「車載PV」など小容量の蓄電・発電デバイスを、IoT (Internet of Things) の技術を用いてバーチャルパワープラントとして統合して機能的に制御
- 分散型マイクログリッド, ピアツーピア電力取引

(2) 自律ビークル群・交通システムの制御

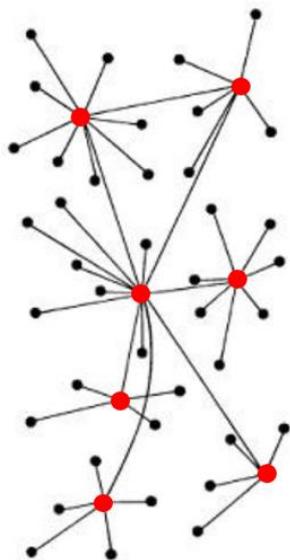
- ドローン・電気自動車(物理拘束を有するマルチエージェント)
- 信号機ネットワークによる交通流制御

研究の背景(2)

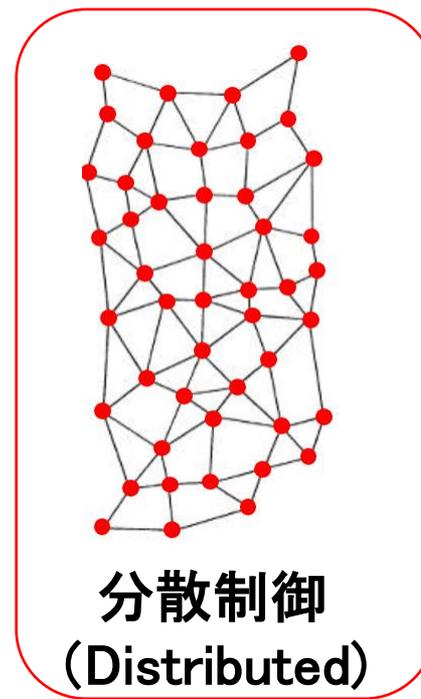
【集中制御から分散制御へ】



集中制御



分散制御
(Decentralized)



分散制御
(Distributed)

マルチエージェント制御理論

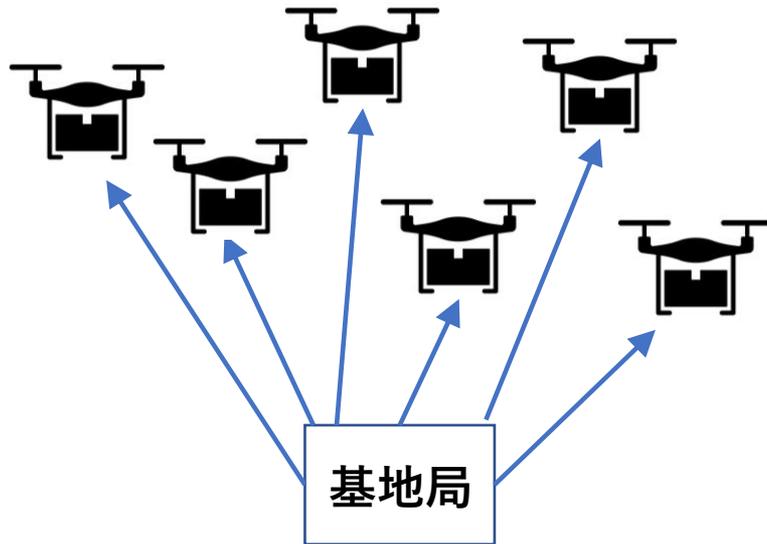
【マルチエージェント制御理論のメリット】

- 大規模システムの制御系設計負荷低減
- 未知の変化への対応力(レジリエンス)が向上

集中制御と分散制御

【集中制御】

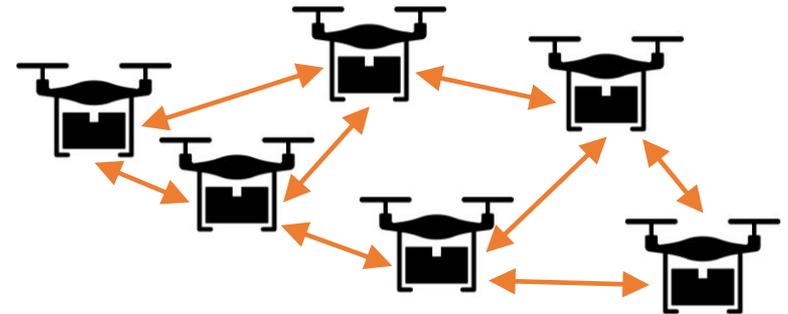
全ての制御入力を基地局が集中的に定める



- 基地局の故障に対して脆弱
- 基地局とドローンの間の距離が遠く通信の遅延が大きい

【分散制御】

互いに情報交換し各エージェントが個別に制御入力を定める

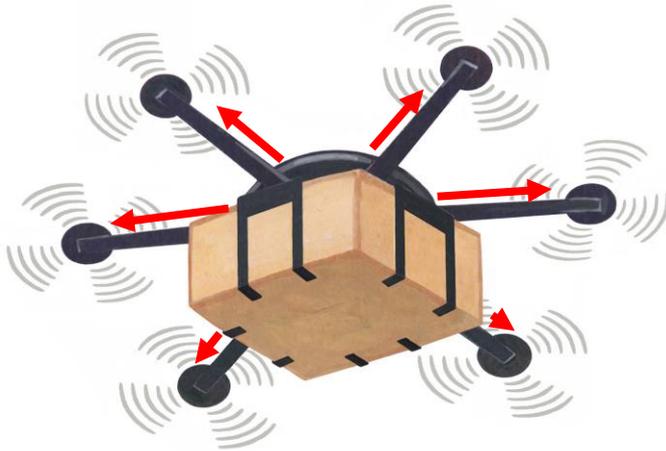


- 1台が故障しても他は動作可能
- 近くエージェント間の情報交換のみであり、集中制御と比べて距離が近く通信の遅延が小さい

集中制御と分散制御

【集中制御】

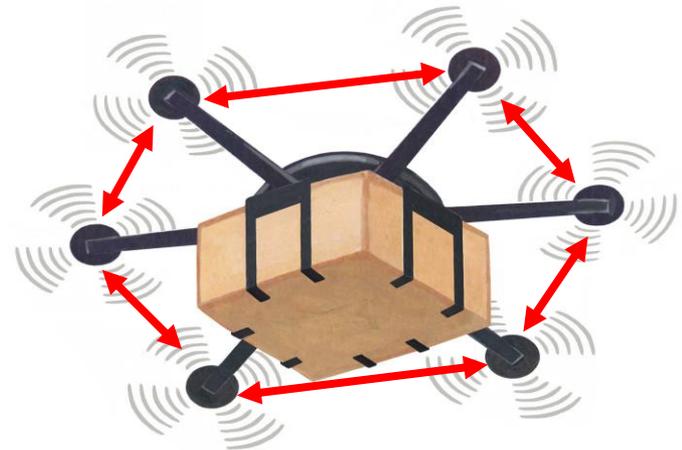
全てのローターの制御入力をコントローラが集中的に定める



- 故障に対して脆弱
(故障が発生すると**性能が劣化**)

【分散制御】

互いに情報交換し各ローターが個別に制御入力を定める



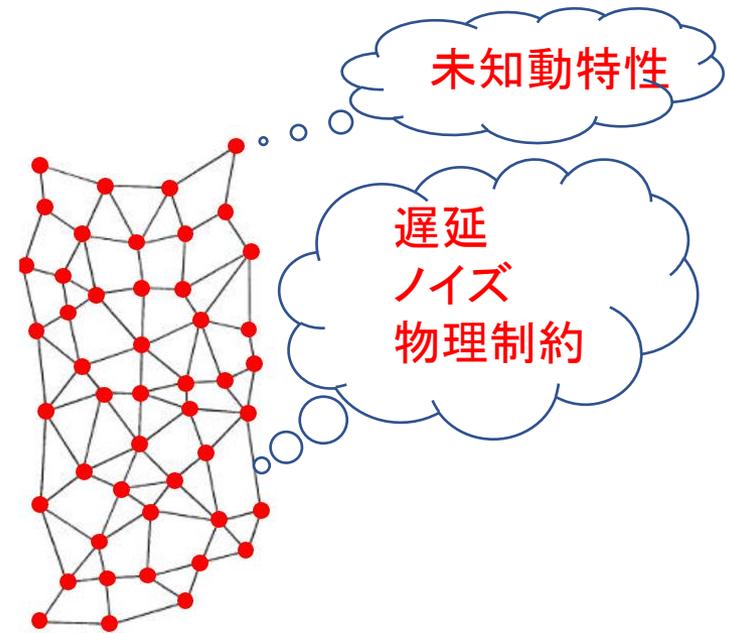
- 1つのローターが故障しても他のローターが補い、**故障状態を可能な限り回復**

研究目的

【現状の問題】

マルチエージェント制御理論を実際の制御対象(エネルギー、電気自動車・ドローン)の分散協調制御に応用する場合、下記が問題となる

- エージェントの不確かさ
- 情報伝達の遅延、ノイズ
- 物理制約



【研究目的】

- 不確かさおよび遅延に対して**ロバスト**なマルチエージェント制御理論を開発
- 先進理論を、**エネルギー、電気自動車・ドローン**の制御に応用し、信頼性の高い分散協調制御を実現

研究の概要

応用

電力ネットワークの制御
(バーチャルパワープラント,
車載バッテリー, 車載PV)

自律ビークル群・交通流の制御
(ドローン, 電気自動車)

スマート情報技術研究センター

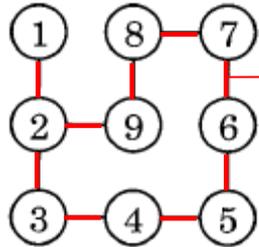
群知能による大規模数値最適化
(Beowulfクラスタ)

マルチエージェント・ロバスト制御理論

基盤

マルチエージェントのロバスト制御(1)

【マルチエージェントシステムの合意制御】



$$x(0) = [0 \ 3 \ 5 \ 8 \ 9 \ 11 \ 16 \ 18 \ 20]^T$$

$$x^*(\infty) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i(0) = 10$$

$$x_i(t+1) = x_i(t) + \sum_{j \in N_i} a_{ij}(x_j(t) - x_i(t))$$

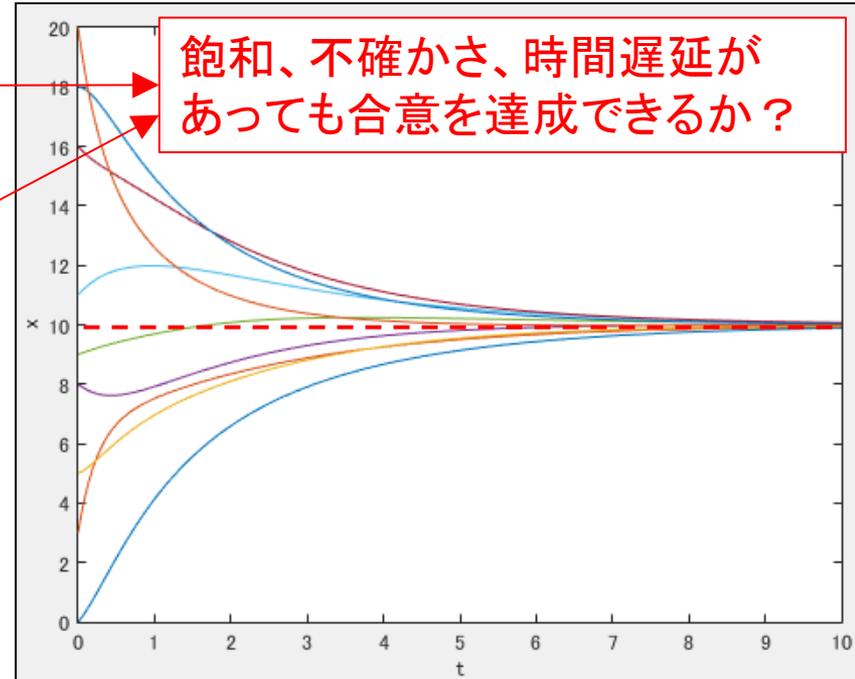
$$a_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{(1 + \max(|N_i|, |N_j|))} & : j \in N_i \\ 0 & : j \notin N_i \end{cases}$$



$$x^*(\infty) = \sum_{i=1}^n \frac{x_i(0)}{n}$$

N_i : 隣接集合

$|N_i|$: 濃度



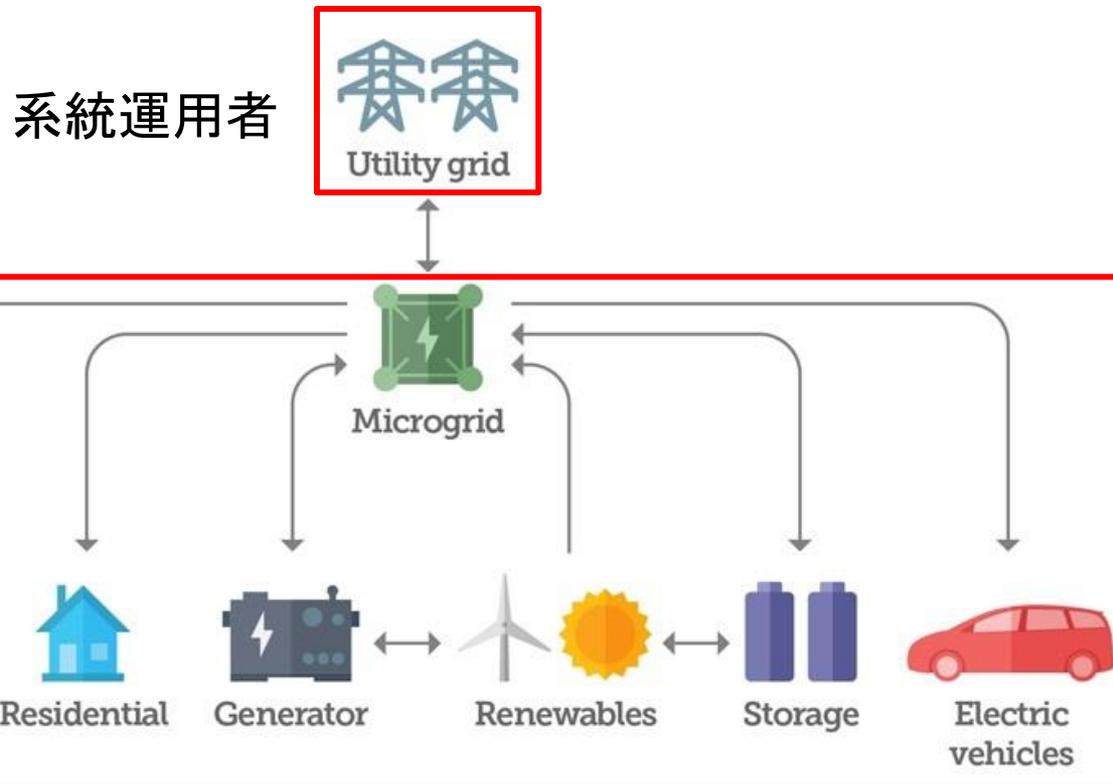
- 合意制御により隣接エージェントとの情報交換のみで、すべてが集団全体の平均値に収束できる。

応用例： マイクログリッドの分散制御(1)

【インバランス料金制度】

2016年度の電力小売り全面自由化後に導入

- 前日12時までに翌日の計画値(1スロット5分~30分)策定
- 計画値は2スロット前まで修正可能
- 計画値からの**誤差率が5~8%**を超えるとペナルティが発生



マイクログリッド事業者
(小売り電気事業者、
発電事業者)

双線形行列固有値最適化(例)

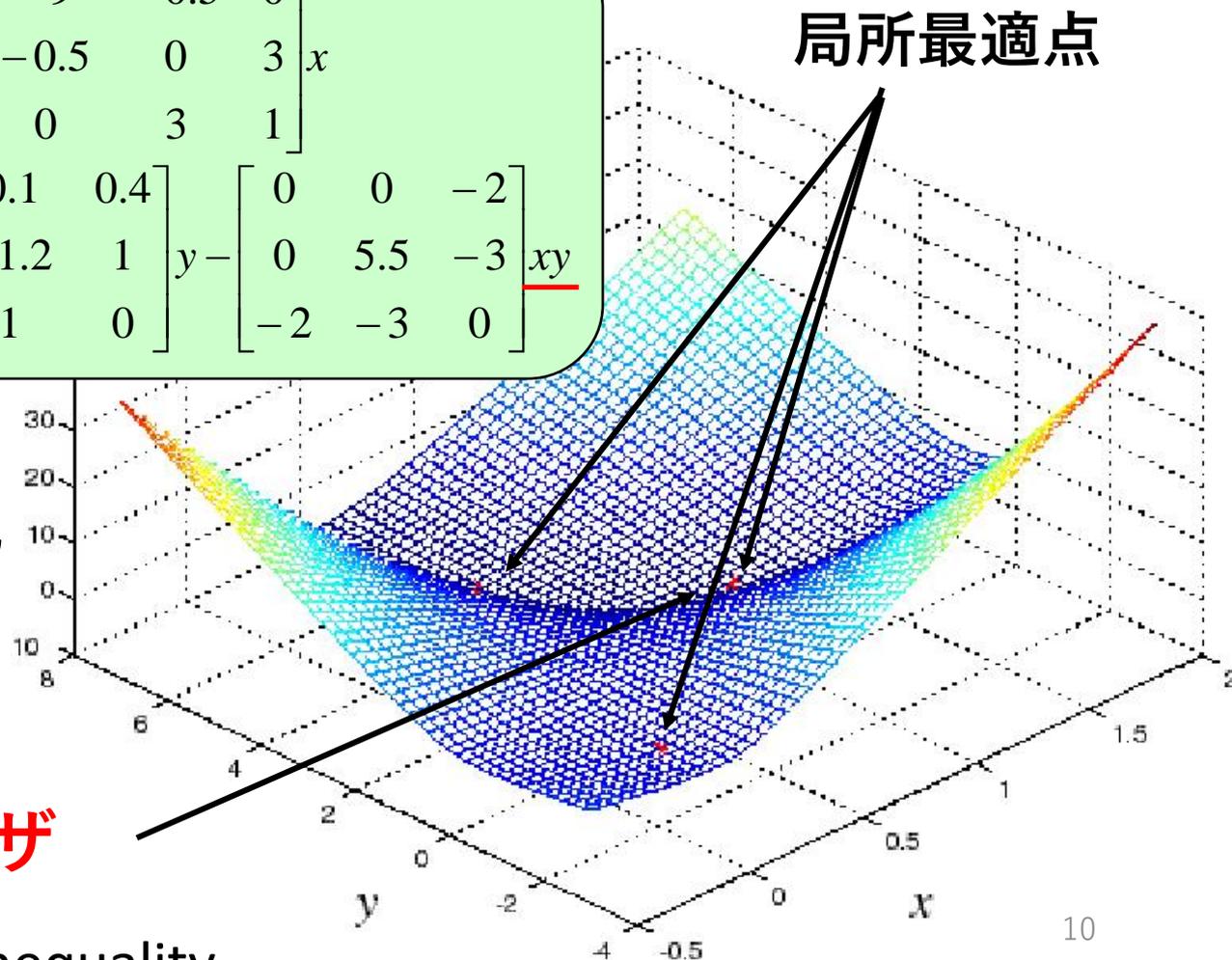
Goh, Safonov (1996) によるBMIの例

$$F(x, y) = - \begin{bmatrix} 10 & 0.5 & 2 \\ 0.5 & -4.5 & 0 \\ 2 & 0 & 0 \end{bmatrix} x - \begin{bmatrix} -9 & -0.5 & 0 \\ -0.5 & 0 & 3 \\ 0 & 3 & 1 \end{bmatrix} y - \begin{bmatrix} 1.8 & 0.1 & 0.4 \\ 0.1 & -1.2 & 1 \\ 0.4 & 1 & 0 \end{bmatrix} xy - \begin{bmatrix} 0 & 0 & -2 \\ 0 & 5.5 & -3 \\ -2 & -3 & 0 \end{bmatrix} xy$$

最大固有値最小化

オブティマイザ

BMI: Bilinear Matrix Inequality



まとめ

【本日紹介した内容】

- 制御システム研究室の研究紹介
 - ✓ ドローン制御
 - ✓ 大規模蓄電システム
- マルチエージェントシステム制御理論の開発
 - ✓ 時変遅延補償
- 双線形行列不等式に基づく制御系設計法の開発
 - ✓ 分枝限定法の探索次元削減による最適化の効率化

