

制御システム研究室 活動状況報告

マルチエージェント制御理論と 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

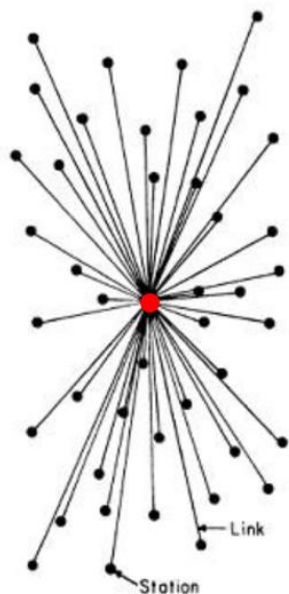
- 「車載バッテリー」と「車載PV」など小容量の蓄電・発電デバイスを、IoT (Internet of Things) の技術を用いてバーチャルパワープラントとして統合して機能的に制御
- 分散型マイクログリッド, ピアツーピア電力取引

(2) 自律ビークル群・交通流の制御

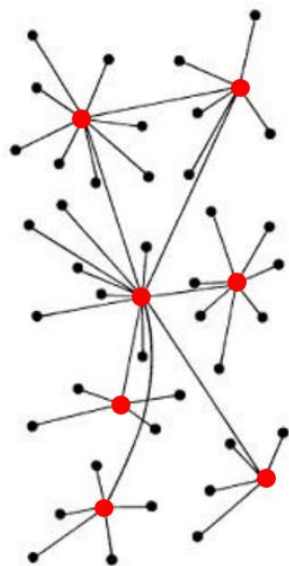
- ドローン・電気自動車(物理拘束を有するマルチエージェント)
- 信号機ネットワークによる交通流制御

研究の背景(2)

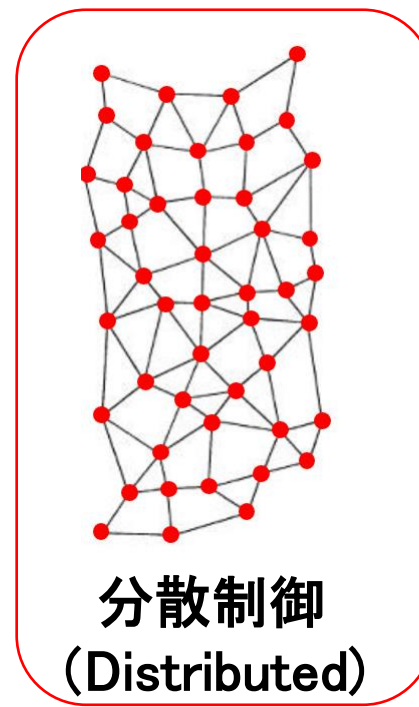
【集中制御から分散制御へ】



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】

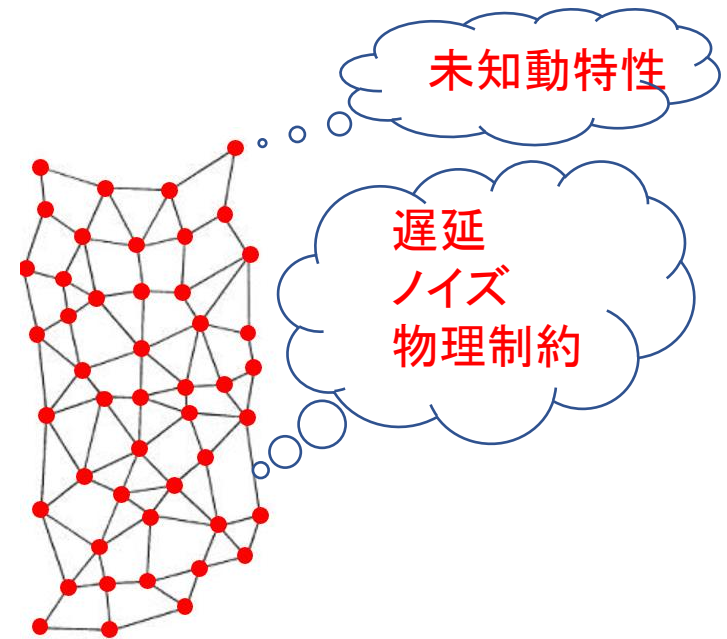
- 大規模システムの制御系設計負荷低減
- 未知の変化への対応力(レジリエンス)が向上

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

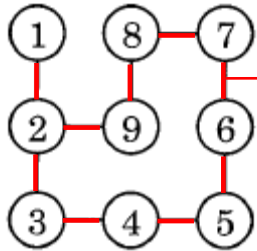
群知能による大規模数値最適化
(Beowulfクラスタ)

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】



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

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

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

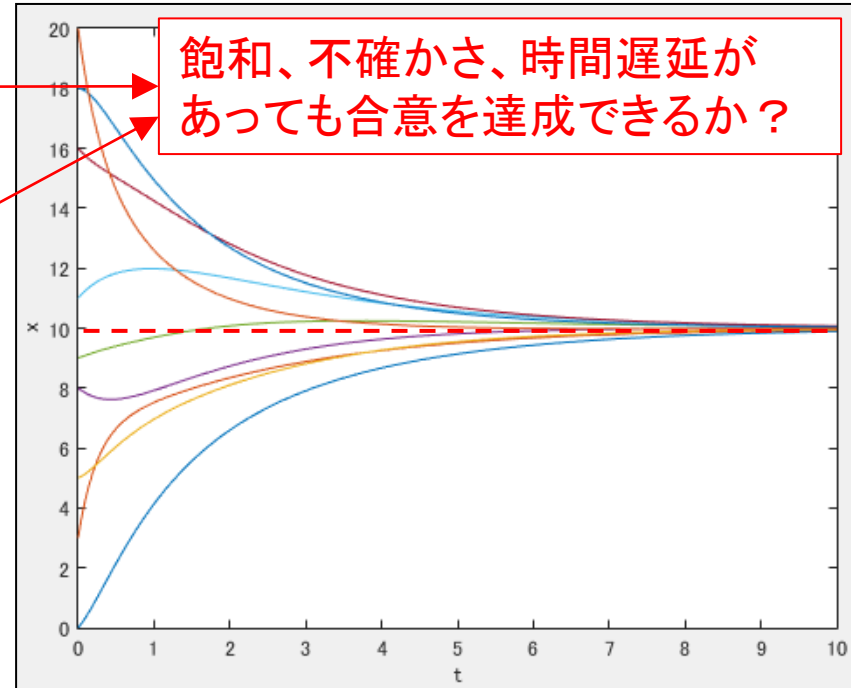
$$a_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{(1 + \max(|N_i|, |N_j|))} & : j \in N_i \\ 0 & : j \notin N_i \end{cases}$$



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

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。

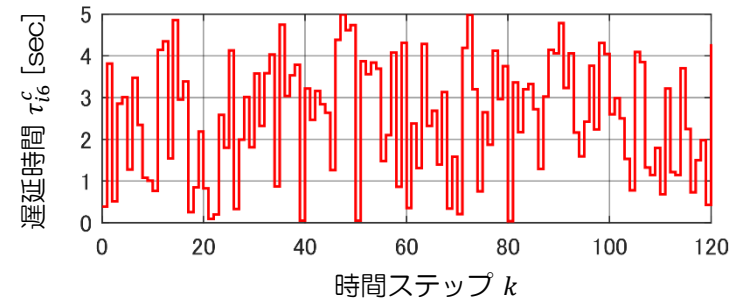
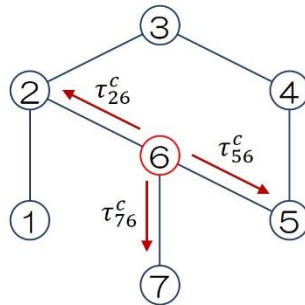
マルチエージェントのロバスト制御(2)

【一様・時変な遅延】

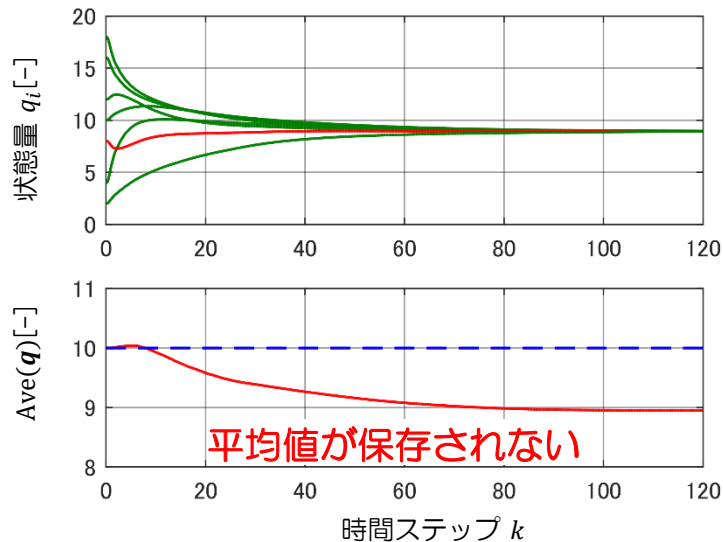
⑥のみ一様に送信遅延

$$T_s = 1.0[\text{sec}]$$

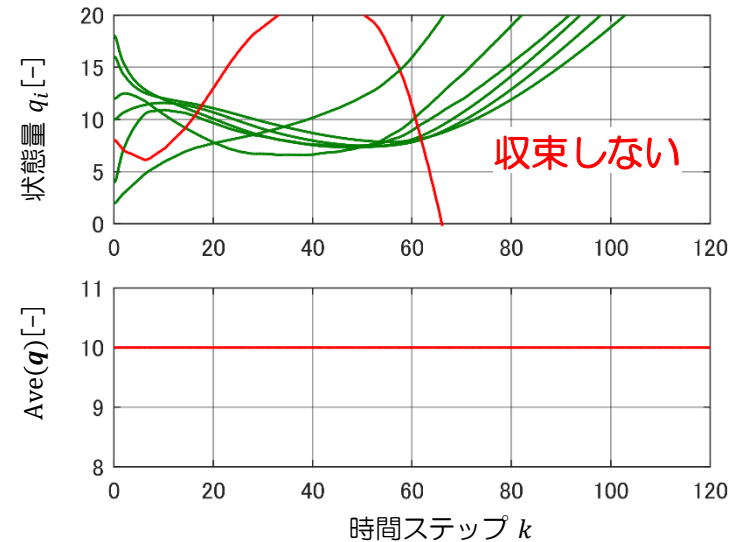
$$\tau_{26}^c[k] = \tau_{56}^c[k] = \tau_{67}^c[k]$$



《従来法：同期補償なし》



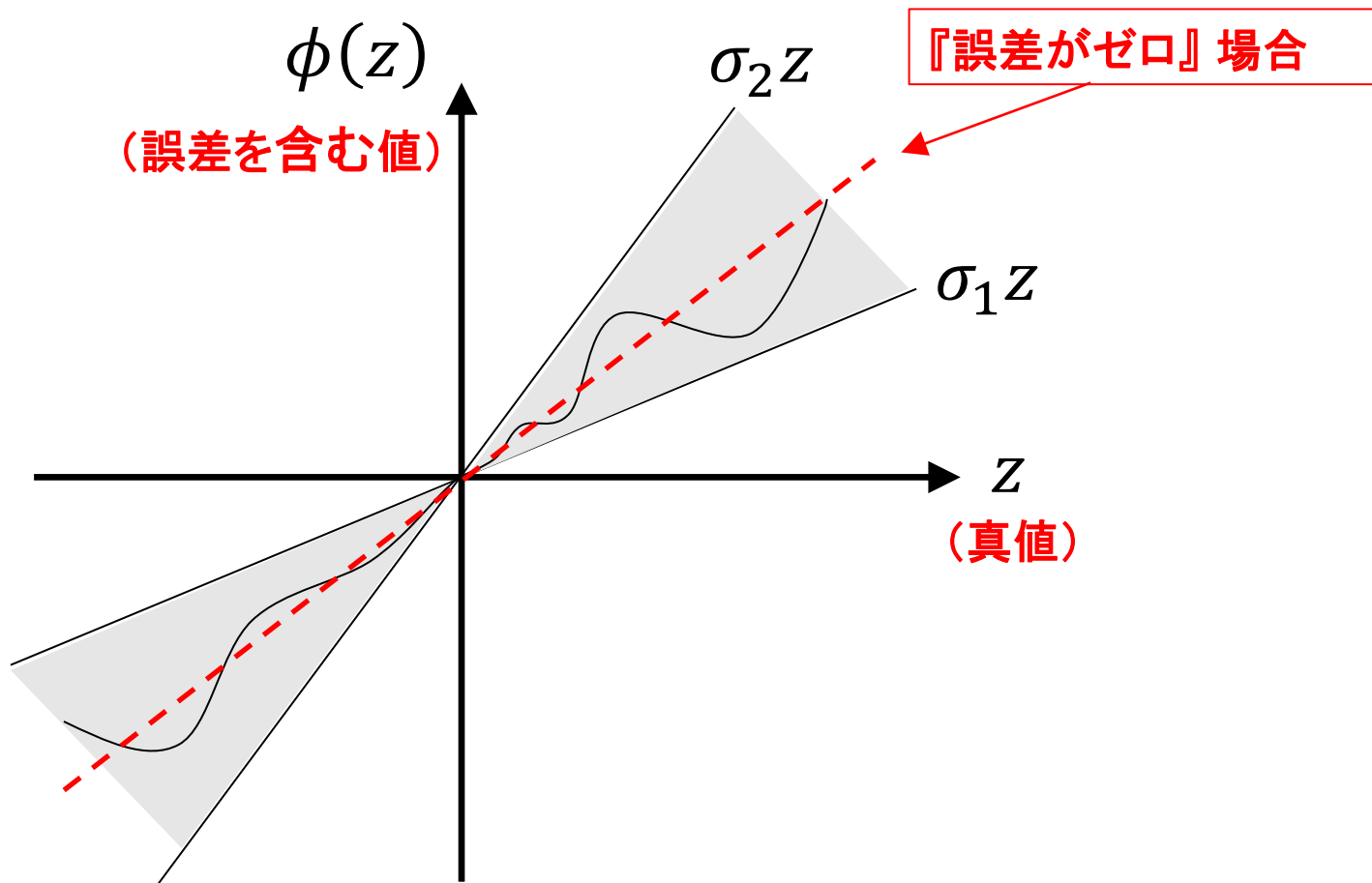
《従来法：同期補償あり》



マルチエージェントのロバスト制御(3)

【セクター有界制約】

$$(\phi(z) - \sigma_1 z)(\phi(z) - \sigma_2 z) \leq 0$$



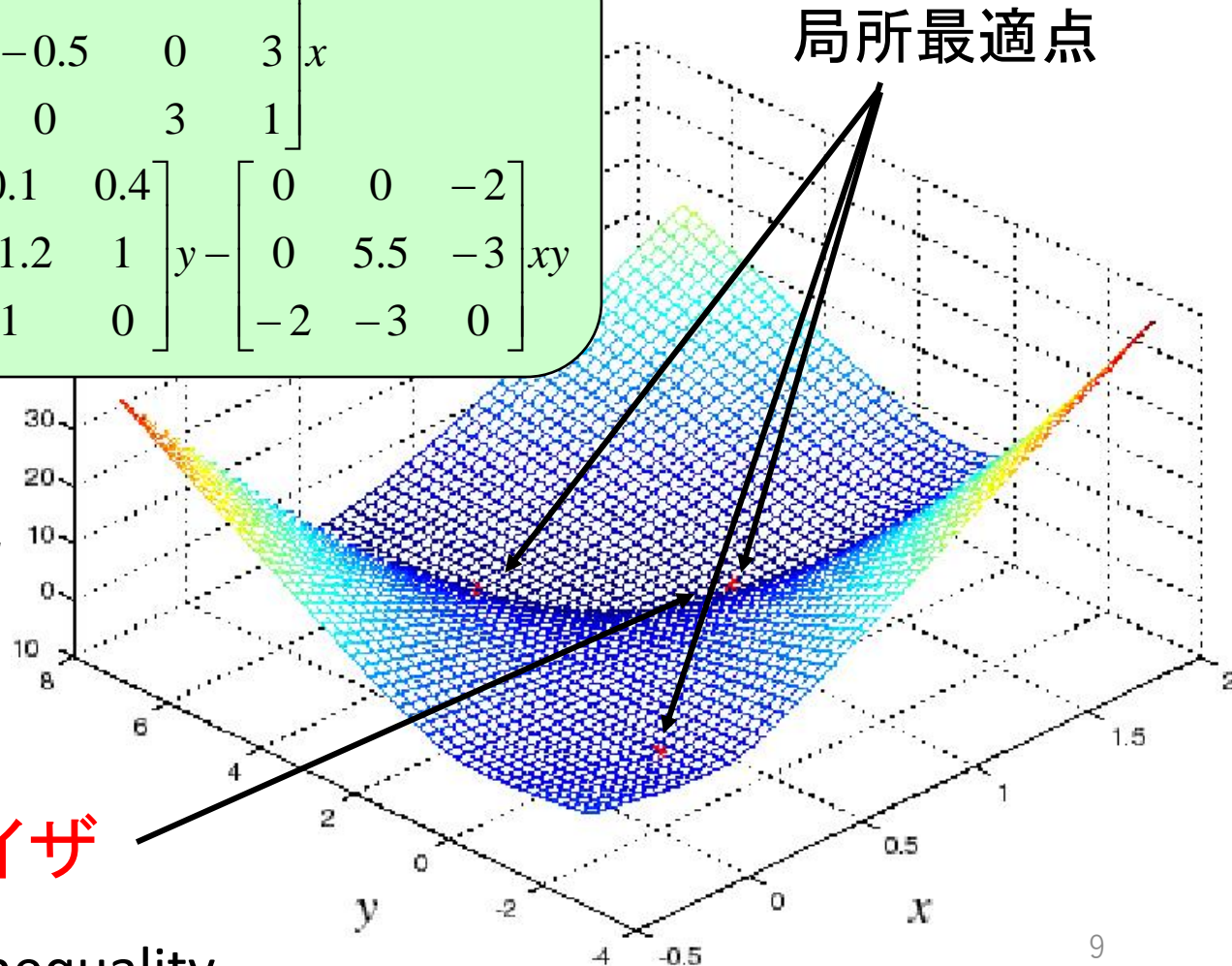
大規模最適化によるMAS制御器設計(1)

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

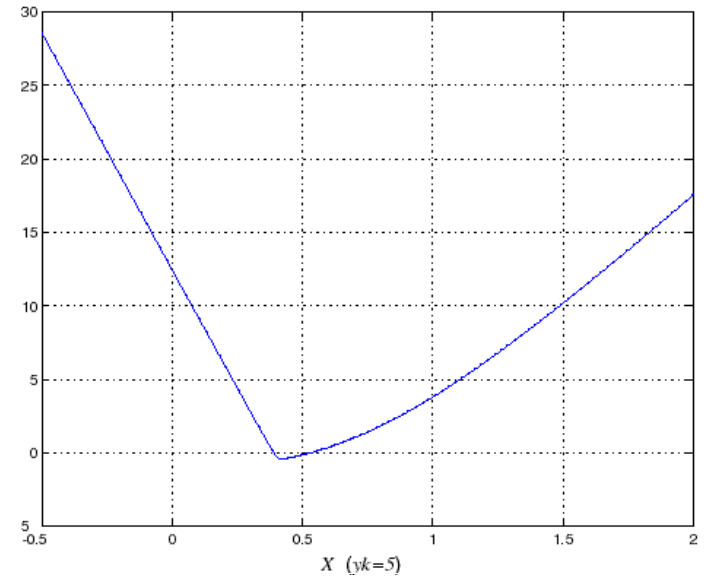
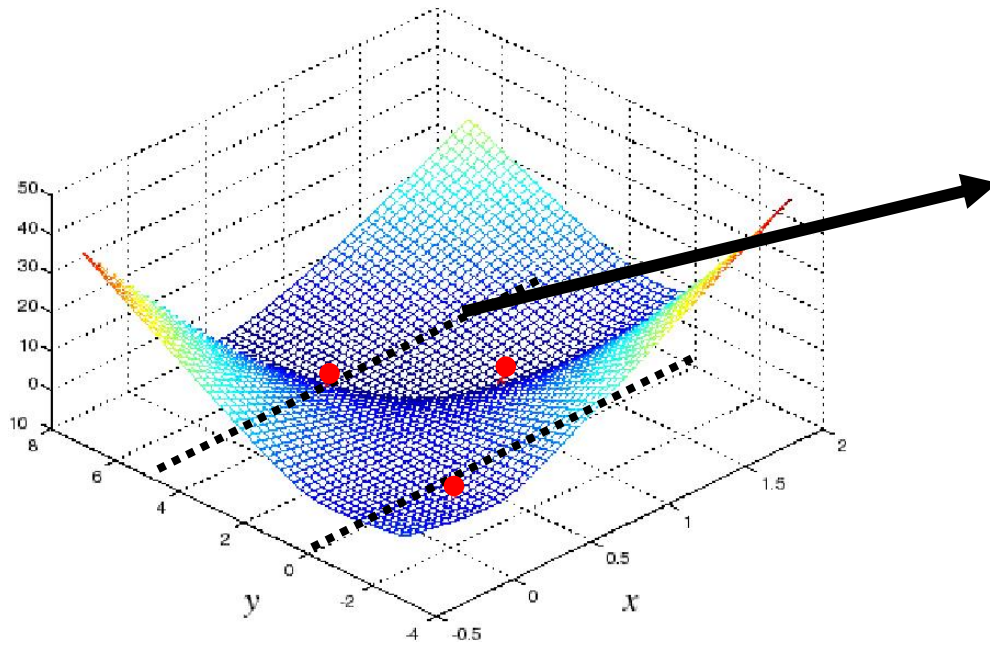
オプティマイザ



BMI: Bilinear Matrix Inequality

大規模最適化によるMAS制御器設計(2)

BMIの最小値を探索



[特徴] 片側の変数を固定すれば凸



Beowulfクラスタ計算機

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
 - ✓ 大規模蓄電システム
 - ✓ ドローン制御
- マルチエージェントシステム制御理論の開発
 - ✓ セクター有界不確かさ
 - ✓ 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
 - ✓ 分枝限定法と粒子群最適化のハイブリッド最適化

