

# 速度拘束を考慮した 二輪移動ロボットの合意制御

首都大学東京 ヒューマンメカトロニクスシステムコース  
B4 西沢 倅紀 (児島研究室)

## 1.はじめに

群ロボットは広範な空間で効率よく活動を行うことや1台のロボットのみでは不可能なタスクを行うことを目標に開発が進んでいる。

マルチエージェントシステムを群ロボットに適用することによって、フォーメーションを組む等の**協調的な作業**が可能になる<sup>[1]</sup>。



Fig.1 : KheperaIV

### マルチエージェントシステム<sup>[1]</sup>

・複数のエージェントが相互作用しながら協働し、大域的な目的を達成するシステム。

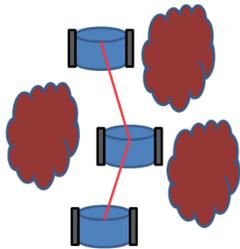


Fig.2 : 障害物回避

### フォーメーションを組むメリット<sup>[1]</sup>

- ・リスクの分散  
1台のロボットが故障した場合、他のロボットで補完できる。
- ・障害物回避  
柔軟なフォーメーション形成による障害物や狭路への対応 (Fig.2)

## 研究の目的と課題

ロボット間の部分的な情報交換による**フォーメーションの形成**と**ネットワーク構造による応答の違い**を考察する。  
二輪移動ロボットの**動特性を考慮した制御モデル**の設計と、**仮想ロボットを用いた合意制御**を行う。

## 2.移動ロボットモデル

仮想ロボットモデルはFig.4のように設定する。また、ネットワーク構造はFig.3に示すように完全グラフ(左)と道グラフ(右)を想定する。

### 移動ロボットモデル<sup>[2]</sup>

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_i \\ \dot{y}_i \\ \dot{\theta}_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & 0 \\ \sin \theta_i & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_i \\ \omega_i \end{bmatrix}$$

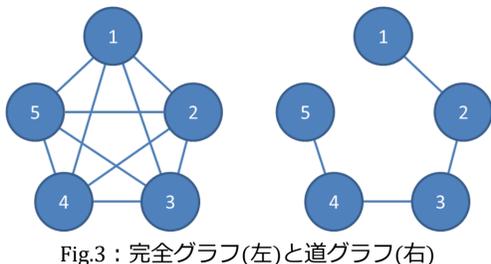


Fig.3 : 完全グラフ(左)と道グラフ(右)

### 仮想ロボットモデル<sup>[2]</sup>

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_{ri} \\ \dot{y}_{ri} \\ \dot{\theta}_{ri} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_i \\ B_\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_i \\ \omega_i \end{bmatrix}$$

$$B_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -x_{di} \sin \theta_i - y_{di} \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & x_{di} \cos \theta_i - y_{di} \sin \theta_i \end{bmatrix}$$

$$B_\theta = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix}$$

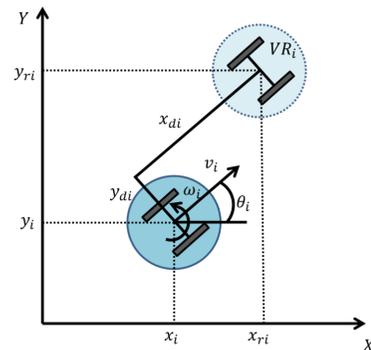


Fig.4 : 仮想ロボットモデル

### 制御則

ロボットのネットワーク間で位置情報のみが交換可能と想定した時の制御則は以下ようになる。

$$u_i = B_i^{-1} \left( -k_i \sum_{j \in N_i} (\hat{r}_i - \hat{r}_j) - v^* \right)$$

### 状態方程式の離散モデル

$$x(k+1) = x(k) + B_d u(k) \quad y(k) = x(k)$$

$$B_d = T_s \begin{bmatrix} \sin \theta_i & 0 \\ \cos \theta_i & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

## 3.シミュレーション

### 条件

完全グラフと道グラフを想定し、ロボット2が蛇行した場合としなかった場合に分けてシミュレーションを行う。目標フォーメーションと初期状態、パラメータは以下の通り。

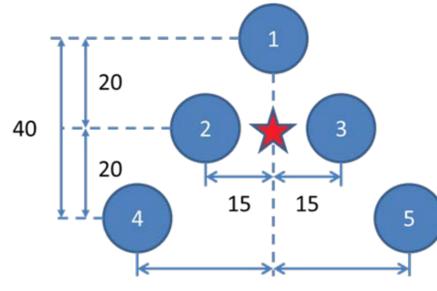


Fig.5 : 目標フォーメーション

	x[cm]	y[cm]	θ[rad]
ロボット1	2	23	π/2
ロボット2	-14	2	π/2
ロボット3	18	-1	π/2
ロボット4	-27	-19	π/2
ロボット5	28	-20	π/2

Fig.6 : 初期状態

$(x_{di}, y_{di})$ [cm]	(4, 0)
$v^*$ [cm/s]	[0 5] <sup>T</sup>
$T_s$ [s]	0.01
$k_i$	1

Fig.7 : パラメータ

### 結果

Fig.10では実線が完全グラフ、破線が道グラフを表す。

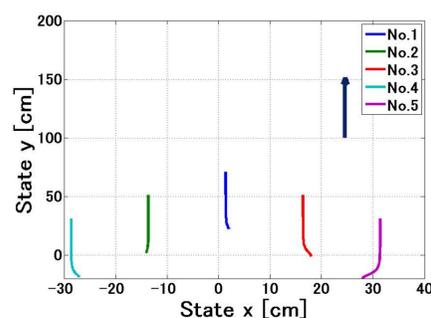


Fig.8 : エージェントの軌跡(完全グラフ)

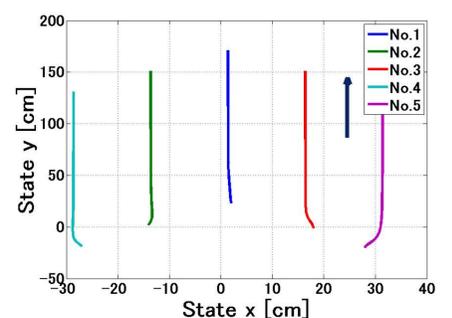


Fig.9 : エージェントの軌跡(道グラフ)

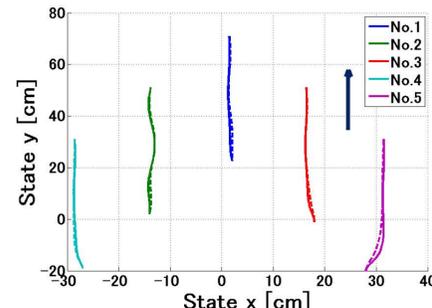


Fig.10 : エージェントの軌跡(蛇行)

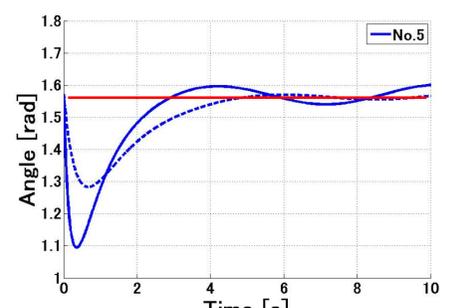


Fig.11 : ロボット5の姿勢角(蛇行)

- ・ネットワークが密であるほど、目標フォーメーション形成までの**時間が短い**。
- ・ネットワークが疎であるほど、蛇行の影響が少ない。

## 4.まとめと今後の方針

### まとめ

- ・位置情報の交換により、5台のロボットが**所望のフォーメーションを形成することができた**。
- ・ネットワーク構造の密度は収束速度と蛇行による影響の大きさに**トレードオフの関係性**を確認できた。

### 今後の方針

- ・5台分の実機実験を行う。
- ・障害物回避を行う制御則の検討を行う。

### 参考文献

- [1] 東, 永原, 石井, 林, 桜間, 畑中 “マルチエージェントシステムの制御”, コロナ社, 2015
- [2] 池田, J., Jongusuk, 池田, 美多 “ノンホロミック車両のフォーメーション制御”, IEEJ Trans. IA, Vol.124, No.8, pp.814~819, 2004