



Analisi e simulazione di controlli automatici di formazione

Relatore Prof. Battistelli Giorgio

Candidato Lorenzo Mandelli

Problema di controllo di formazione

Data una squadra di n robot in uno spazio 2D o 3D formulare una legge di controllo **distribuita** che permetta ai robot di realizzare determinate formazioni.



Modelli di agente

- Modello a singolo integratore

$$\dot{p} = u$$

- Modello a doppio integratore

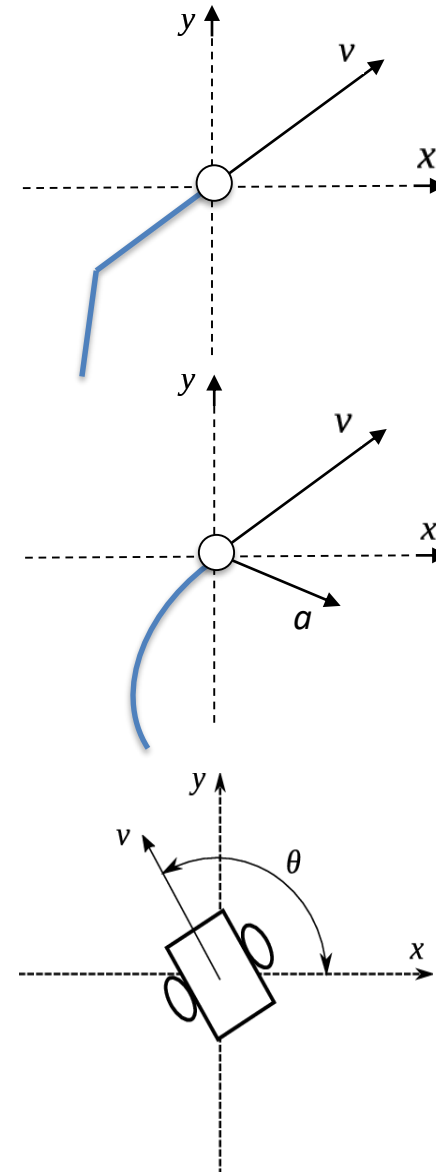
$$\ddot{p} = u$$

- Modello dell'uniciclo

$$\dot{x} = v \cos(\theta)$$

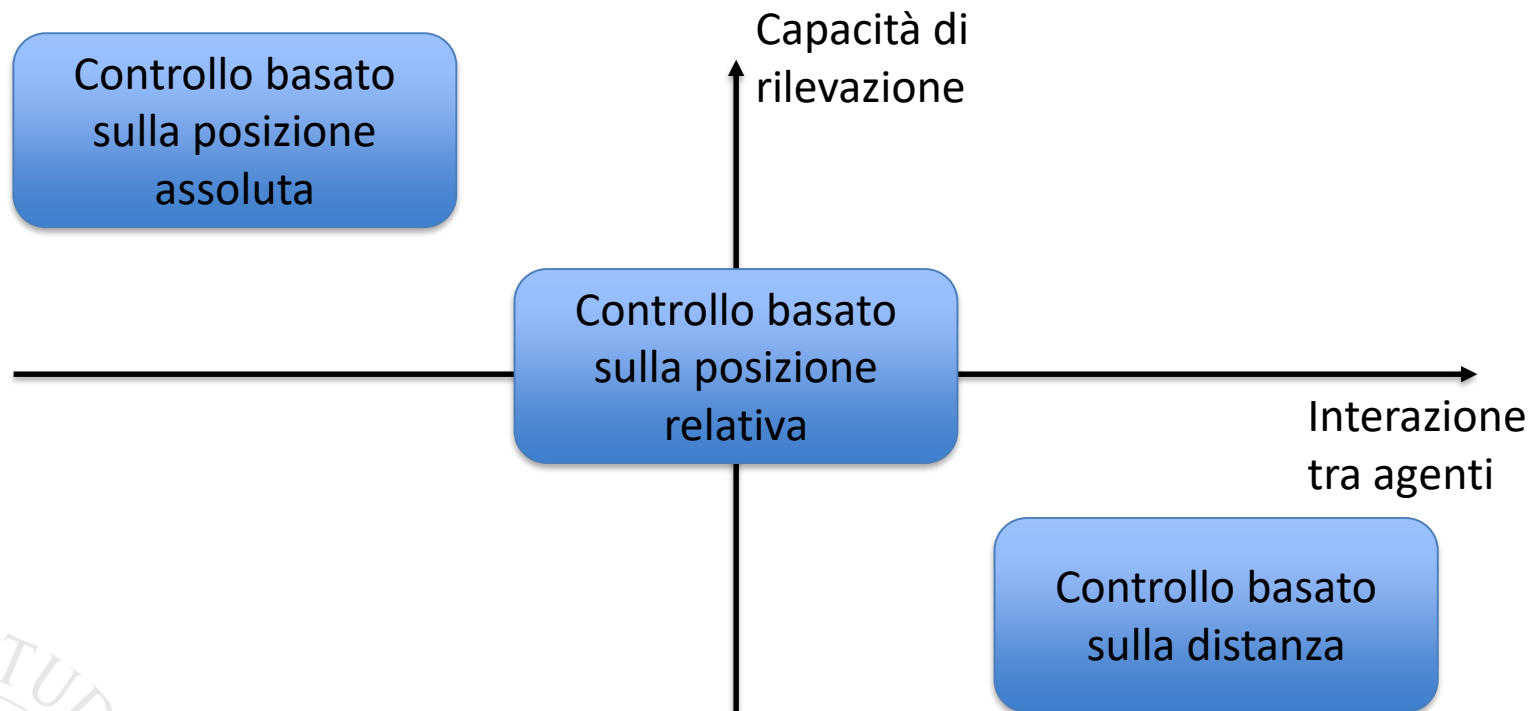
$$\dot{y} = v \sin(\theta)$$

$$\dot{\theta} = w$$



Tipologie di controllo

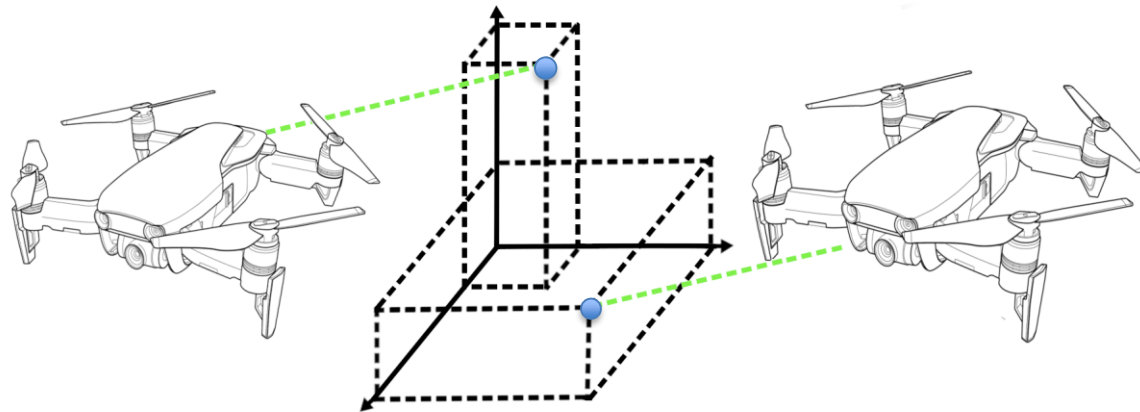
- Capacità di rilevazione
- Interazione tra agenti



Tipologie di controllo

Controllo basato sulla posizione assoluta

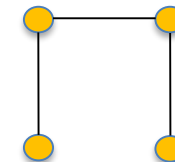
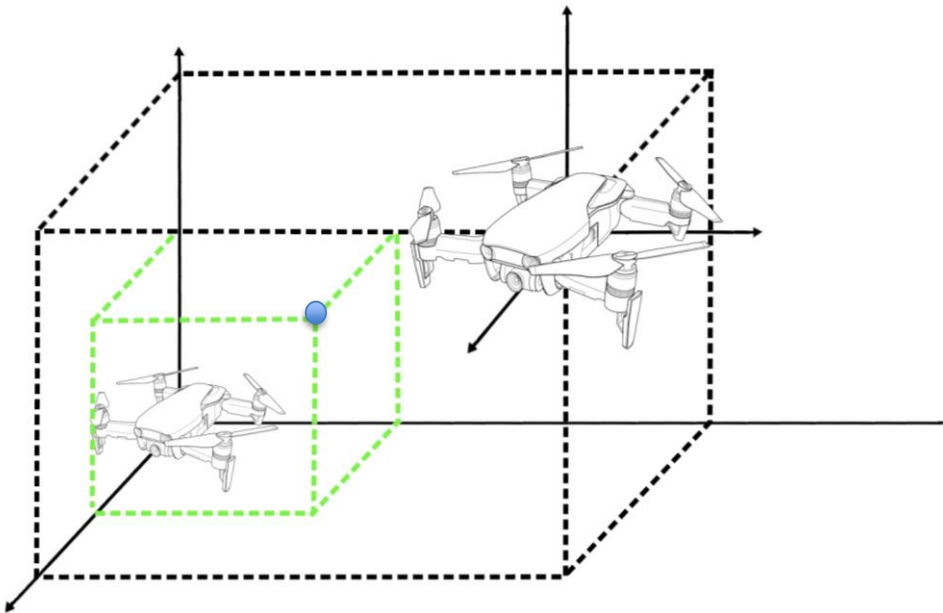
- Unico sistema di **coordinate globali**
- Necessità di misurare la propria posizione nel sistema di coordinate globale
- Formazione specificata in termini di posizioni assolute
- Nessuna interazione necessaria tra agenti



Tipologie di controllo

Controllo basato sulla posizione relativa

- Agenti dotati di un sistema di coordinate locale ma con **orientazione comune**
- Necessità di misurare la posizione degli agenti vicini nel proprio sistema di coordinate
- Formazione specificata in termini di posizioni relative tra agenti
- Formazione ben specificata \Leftrightarrow **albero di copertura** di connessioni

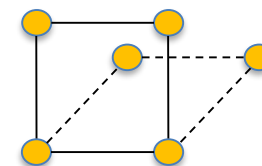
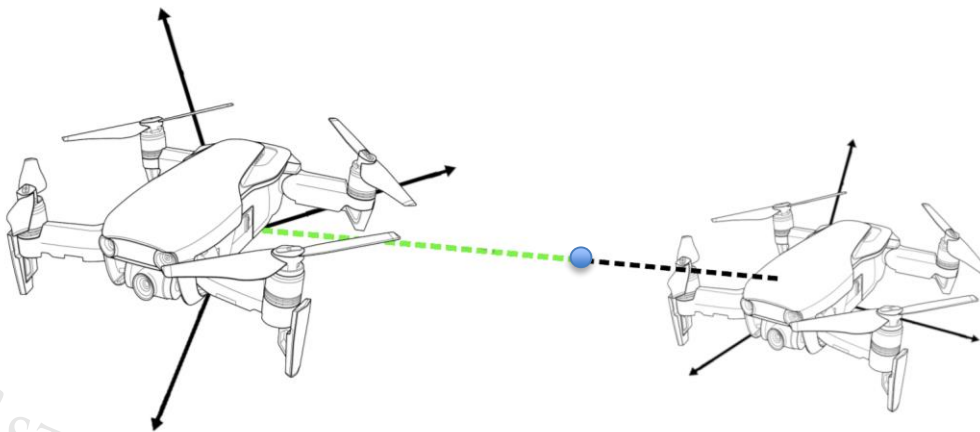


Esempio di formazione a forma quadratica nel caso di controllo basato sulla posizione relativa

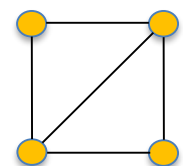
Tipologie di controllo

Controllo basato sulla distanza

- Agenti dotati di un sistema di coordinate locale
- Necessità di misurare la posizione degli agenti vicini nel proprio sistema di coordinate
- Formazione specificata in termini di distanze tra agenti
- Formazione ben specificata \Leftrightarrow grafo di connessioni **rigido**



Grafo non
rigido



Grafo rigido

Leggi di controllo

Esempio legge di controllo basata sulla distanza con agente a singolo integratore

$$u_i = -\nabla_{p_i^i} \phi(p_i^i, p_j^j, j \in N_i) = \sum_{j \in N_i} \frac{\partial \gamma_{ij}(d_{ij})}{\partial (d_{ij})} \frac{(p_j^i - p_i^i)}{(d_{ij})}$$

$$\gamma_{ij}(d_{ij}) := k_p \frac{(d_{ij}^2 - d_{ij}^{*2})^2}{d_{ij}^2}$$

- Minimizzazione **potenziale** dato dalla somma dei vincoli
- La legge γ_{ij} permette di evitare le collisioni tra agenti connessi

Applicazione software

Obbiettivo:

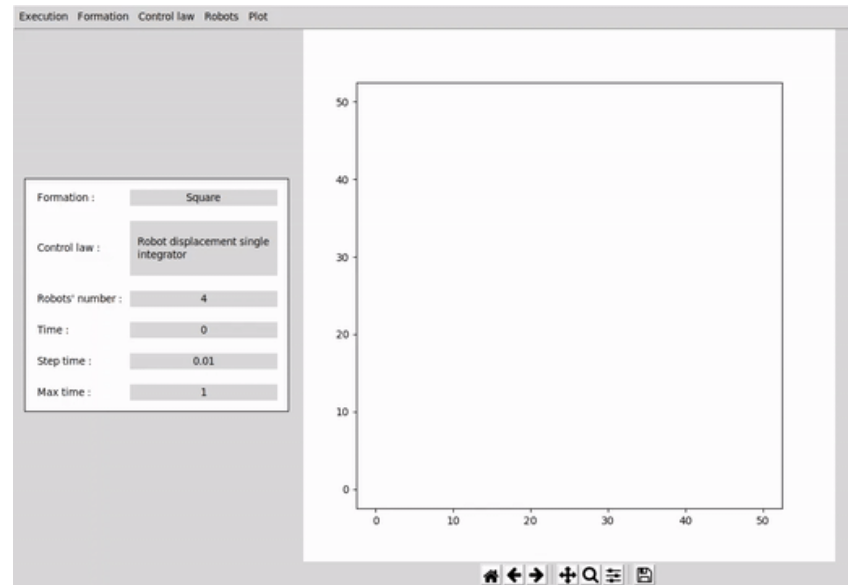
- Simulare la dinamica di n robot volti al raggiungimento di una determinata formazione
- Analisi di convergenza dei robot alla formazione

Consente di scegliere:

- Formazione
- Modello agente
- Tipologia di legge di controllo (posizione relativa o distanza)

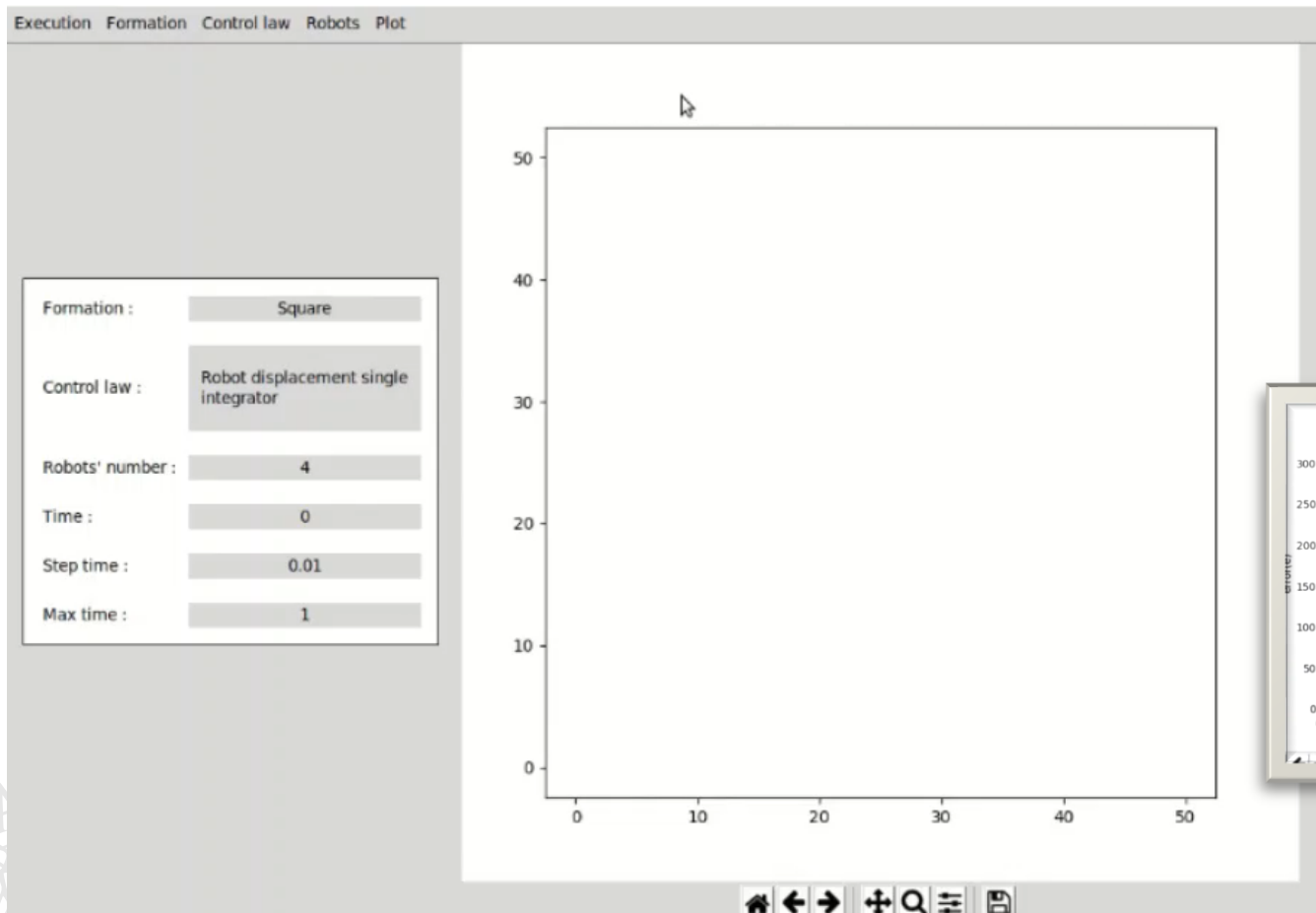
Permette anche:

- Scelta numero robot
- Scelta Tempo di campionamento e tempo massimo della simulazione
- Spazio 2D o 3D
- Editor formazioni bidimensionali

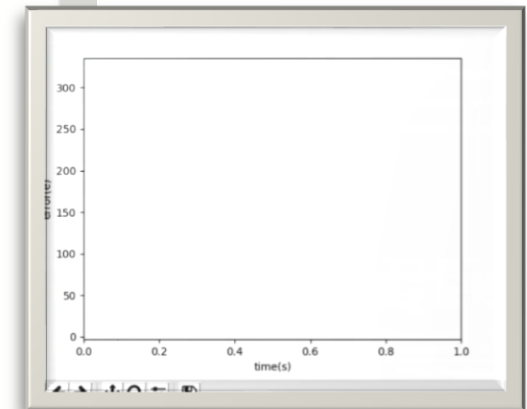


Applicazione software

Esempio di funzionamento



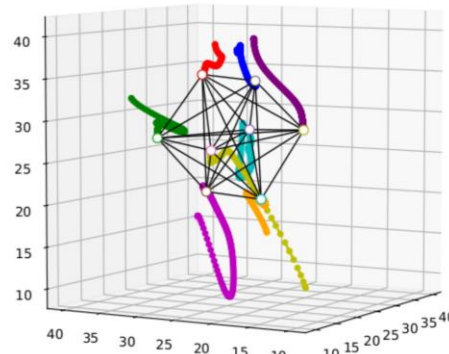
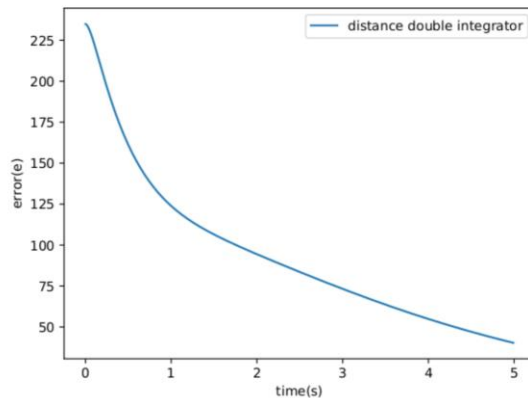
Formazione a
forma cubica con
controllo basato
sulla distanza e
modello agente a
singolo integratore



Risultati

Errore di formazione

$$e(t) = \sqrt{\sum_{i \in V} e_i(t)^2}$$



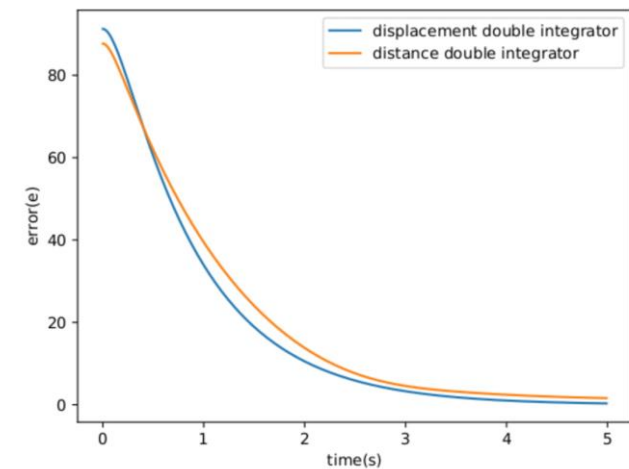
- Convergenza con andamento esponenziale
- Velocità di convergenza lievemente migliori nel caso di controlli basati sulla posizione relativa rispetto a controlli basati sulla distanza

Controlli basati sulla posizione relativa

$$e_i(t) = \sqrt{\sum_{j \in N_i} (\|p_j^* - p_i^* - p_j + p_i\|)^2}$$

Controlli basati sulla distanza

$$e_i(t) = \sqrt{\sum_{j \in N_i} (d_{ij}^* - d_{ij})^2}$$



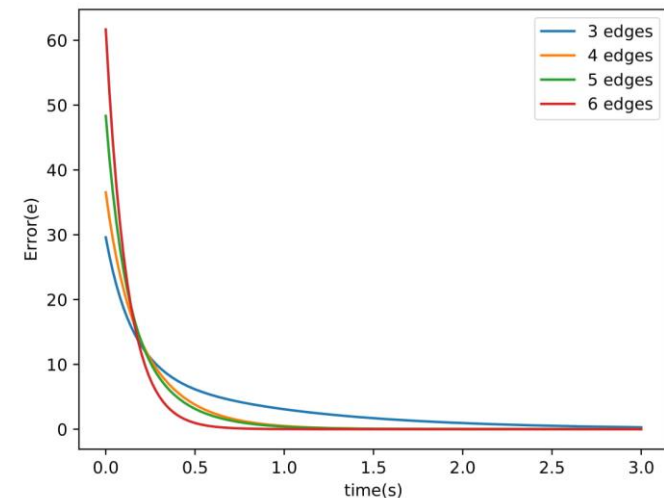
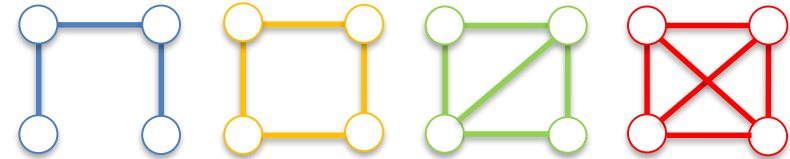
Risultati

Controllo basato sulla posizione relativa

- Velocità di convergenza alla formazione cresce all'aumentare del numero di connessioni

Controllo basato sulla distanza

- Punti di equilibrio instabili rallentano la convergenza
- Algoritmi di assegnazione dei ruoli
- Strategie per fuggire dagli estremi locali



Formation :

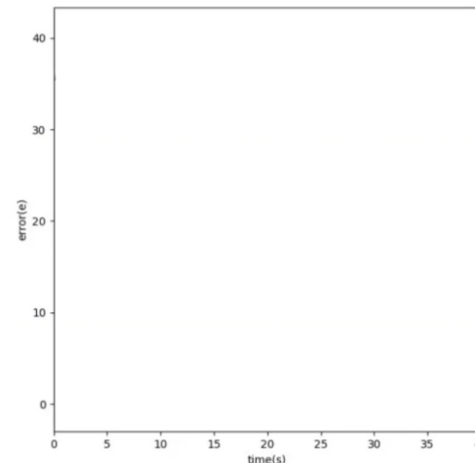
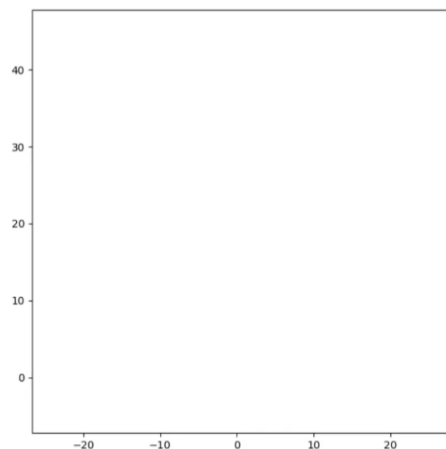
Control law :

Robots' number :

Time :

Step time :

Max time :



Conclusioni

Controlli basati su posizione relativa:

- maggiore capacità di rilevazione necessaria
- Velocità di convergenza lievemente migliore
- Aumento della velocità di convergenza all'aumentare dei vincoli

Controlli basati sulla distanza:

- minor capacità di rilevazione necessaria
- Velocità di convergenza lievemente peggiore
- Maggiore probabilità di conformazione di blocco

Sviluppi futuri

- Introduzione e analisi di comportamenti volti a evitare collisioni
- Maggior numero di modelli agenti da prendere in considerazione
- Sperimentazioni delle leggi di controllo formulate su robot reali



Analisi e simulazione di controlli automatici di formazione

Relatore Prof. Battistelli Giorgio

Candidato Lorenzo Mandelli

Extra

Editor formazioni bidimensionali

