



# Robotique autonome

## Coopération et interaction

Francis Colas

# Introduction

## Robot

- système mécatronique ;
- perception, décision, action.

# Introduction

## Robot

- système mécatronique ;
- perception, décision, action.

## Coopération multi-robots

- plusieurs robots pour réaliser une tâche ;
- organisation et communication.

# Introduction

## Robot

- système mécatronique ;
- perception, décision, action.

## Coopération multi-robots

- plusieurs robots pour réaliser une tâche ;
- organisation et communication.

## Interaction homme-robot

- donner ou recevoir de l'information ;
- réaliser une tâche ensemble.

# Introduction

## Robot

- système mécatronique ;
- perception, décision, action.

## Coopération multi-robots

- plusieurs robots pour réaliser une tâche ;
- organisation et communication.

## Interaction homme-robot

- donner ou recevoir de l'information ;
- réaliser une tâche ensemble.

## Objectifs de la séance

- introduction à la coopération multi-robots ;
- introduction aux problématiques d'interaction.

# 1

## Coopération multi-robots

# Coopération multi-robots

## Avantages

- tâche trop compliquée pour un robot seul ;
- tâche intrinsèquement distribuée ;
- robots plus simples ;
- parallélisme ;
- redondance.

# Coopération multi-robots

## Avantages

- tâche trop compliquée pour un robot seul ;
- tâche intrinsèquement distribuée ;
- robots plus simples ;
- parallélisme ;
- redondance.

## Inconvénients

- besoin de coordination ;
- besoin de communication.



# Architectures multi-robots

## Centralisée

- un seul point de contrôle ;
- toute l'information disponible ;
- difficulté de communication ;
- *single point of failure.*

# Architectures multi-robots

## Centralisée

- un seul point de contrôle ;
- toute l'information disponible ;
- difficulté de communication ;
- *single point of failure.*

## Hiérarchique

- un robot supervise quelques autres robots,
- qui eux-mêmes en supervisent d'autres...
- pyramide de responsabilité ;
- besoin de robustesse des niveaux élevés.

# Architectures multi-robots

## Décentralisée

- information locale ;
- communication locale ;
- grande robustesse aux pannes ;
- faible réactivité à un changement d'objectif du système ;
- difficulté d'obtention d'un comportement global.

# Architectures multi-robots

## Décentralisée

- information locale ;
- communication locale ;
- grande robustesse aux pannes ;
- faible réactivité à un changement d'objectif du système ;
- difficulté d'obtention d'un comportement global.

## Hybrides

- diversité d'approches ;
- combinaison local/global.

## Moyens de communication

### Stigmergie

- communication par des traces dans l'environnement ;
- exemples : fourmis, termites avec des phéromones ;
- nécessite de modifier l'environnement de manière détectable.

# Moyens de communication

## Stigmergie

- communication par des traces dans l'environnement ;
- exemples : fourmis, termites avec des phéromones ;
- nécessite de modifier l'environnement de manière détectable.

## Reconnaissance passive

- reconnaissance de l'état des autres robots ;
- reconnaissance de leur action ;
- état caché ;
- difficulté de reconnaissance.

# Moyens de communication

## Stigmergie

- communication par des traces dans l'environnement ;
- exemples : fourmis, termites avec des phéromones ;
- nécessite de modifier l'environnement de manière détectable.

## Reconnaissance passive

- reconnaissance de l'état des autres robots ;
- reconnaissance de leur action ;
- état caché ;
- difficulté de reconnaissance.

## Communication explicite

- simplicité ;
- possibilité d'échanges et de négociations rapides ;
- fiabilité des moyens de communication ;
- questions de passage à l'échelle.

# Systemes multi-robots

## Typologie

- hétérogènes
  - complémentarité des capacités,
  - architecture hiérarchique ou centralisée ;
- homogènes
  - redondance,
  - coordination fine.



# Systemes multi-robots

## Typologie

- hétérogènes
  - complémentarité des capacités,
  - architecture hiérarchique ou centralisée ;
- homogènes
  - redondance,
  - coordination fine.

## Swarm (essaim)

- homogène ;
- grand nombre ;
- robots simples ;
- architecture décentralisée ;
- émergence.

## Allocation de (sous-)tâches

### Tâche

- robot seul ;
- multi-robot.

## Allocation de (sous-)tâches

### Tâche

- robot seul ;
- multi-robot.

### Robot

- mono-tâche ;
- multi-tâche.

## Allocation de (sous-)tâches

### Tâche

- robot seul ;
- multi-robot.

### Robot

- mono-tâche ;
- multi-tâche.

### Horizon

- décision instantanée ;
- planification à long terme.

# Allocation de (sous-)tâches

## Tâche

- robot seul ;
- multi-robot.

## Robot

- mono-tâche ;
- multi-tâche.

## Horizon

- décision instantanée ;
- planification à long terme.

## Approches

- basée sur des comportements ;
- négociation (*market-based*).

# Applications

## Mouvement

- formation ;
- platooning.

# Applications

## Mouvement

- formation ;
- platooning.

## Environnement

- exploration ;
- couverture ;
- recherche de ressources (*foraging*) ;
- pâturage (*grazing*).

# Applications

## Mouvement

- formation ;
- platooning.

## Environnement

- exploration ;
- couverture ;
- recherche de ressources (*foraging*) ;
- pâturage (*grazing*).

## Autres agents

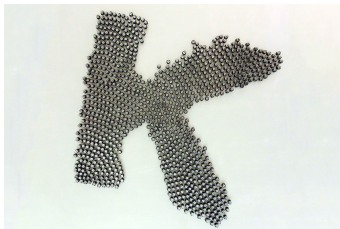
- détection, suivi ;
- poursuite, évasion ;
- football. . .



## Exemples de systèmes



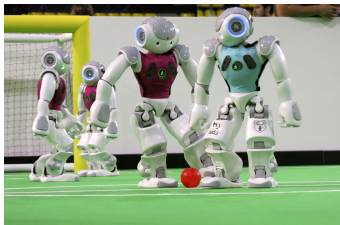
Intel 500 drones



Kilobots



Swarmanoid



Robocup

# Conclusion sur les systèmes multi-robots

## Systemes multi-robots

- variété d'applications ;
- homogènes ou hétérogènes ;
- architectures différentes.

## Questions de recherche

- allocation de tâches ;
- communication.

# 2

## Interaction homme-robot

# Interaction homme-robot

## Interaction homme-robot

- sécurité ;
- interaction physique ;
- communication ;
- acceptabilité.

# Sécurité

## Partage d'espace

- robots industriels dans des cages ;
- certaines tâches nécessitent le partage d'espace ;
- besoin de sécurité intrinsèque.

# Sécurité

## Partage d'espace

- robots industriels dans des cages ;
- certaines tâches nécessitent le partage d'espace ;
- besoin de sécurité intrinsèque.

## Collisions

- réduction de la gravité des impacts :
  - vitesse réduite,
  - réduction de la masse,
  - réduction de l'inertie,
  - *compliance* ;

# Sécurité

## Partage d'espace

- robots industriels dans des cages ;
- certaines tâches nécessitent le partage d'espace ;
- besoin de sécurité intrinsèque.

## Collisions

- réduction de la gravité des impacts :
  - vitesse réduite,
  - réduction de la masse,
  - réduction de l'inertie,
  - *compliance* ;
- détection de collision :
  - estimation du couple externe,
  - erreur de couple ;

# Sécurité

## Partage d'espace

- robots industriels dans des cages ;
- certaines tâches nécessitent le partage d'espace ;
- besoin de sécurité intrinsèque.

## Collisions

- réduction de la gravité des impacts :
  - vitesse réduite,
  - réduction de la masse,
  - réduction de l'inertie,
  - *compliance* ;
- détection de collision :
  - estimation du couple externe,
  - erreur de couple ;
- stratégies de réaction :
  - arrêt du robot,
  - passage en compensation de gravité,
  - contrôle en admittance.



# Sécurité

## Partage d'espace

- robots industriels dans des cages ;
- certaines tâches nécessitent le partage d'espace ;
- besoin de sécurité intrinsèque.

## Collisions

- réduction de la gravité des impacts :
  - vitesse réduite,
  - réduction de la masse,
  - réduction de l'inertie,
  - *compliance* ;
- détection de collision :
  - estimation du couple externe,
  - erreur de couple ;
- stratégies de réaction :
  - arrêt du robot,
  - passage en compensation de gravité,
  - contrôle en admittance.



Sami Haddadin

<https://youtu.be/dnUwqngH0bM>

## Interaction physique

### Interaction physique

- plus simplement partage d'espace ;
- mais réalisation conjointe d'une tâche :
  - assemblage.

# Interaction physique

## Interaction physique

- plus simplement partage d'espace ;
- mais réalisation conjointe d'une tâche :
  - assemblage.

## Approches

- systèmes d'assistance intelligents :
  - portiques de levage avec interface de forces ;
- amplification de force :
  - exo-squelettes,
  - industrie ou réhabilitation ;
- cobots (*collaborative robots*) :
  - robot contraint à un sous-espace de travail,
  - dans lequel l'humain contrôle finement.



Comau AURA

# Interaction physique

## Interaction physique

- plus simplement partage d'espace ;
- mais réalisation conjointe d'une tâche :
  - assemblage.

## Approches

- systèmes d'assistance intelligents :
  - portiques de levage avec interface de forces ;
- amplification de force :
  - exo-squelettes,
  - industrie ou réhabilitation ;
- cobots (*collaborative robots*) :
  - robot contraint à un sous-espace de travail,
  - dans lequel l'humain contrôle finement.



Comau AURA

Estimation de ce que fait  
l'humain.

## Communication homme-robot

### Communication homme-robot

- robot autre qu'un outil pour expert ;
- communication naturelle.

## Communication homme-robot

### Communication homme-robot

- robot autre qu'un outil pour expert ;
- communication naturelle.

### Communication multimodale

- verbale ;
- non-verbale :
  - gestes,
  - expression,
  - posture...

## Communication homme-robot

### Communication homme-robot

- robot autre qu'un outil pour expert ;
- communication naturelle.

### Communication multimodale

- verbale ;
- non-verbale :
  - gestes,
  - expression,
  - posture...

### Communication complémentaire

- réguler la conversation ;
- montrer son état :
  - pointage,
  - attention,
  - émotion...
- illustrer.

## Communication homme-robot

### Communication homme-robot

- robot autre qu'un outil pour expert ;
- communication naturelle.

### Communication multimodale

- verbale ;
- non-verbale :
  - gestes,
  - expression,
  - posture...

### Communication complémentaire

- réguler la conversation ;
- montrer son état :
  - pointage,
  - attention,
  - émotion...
- illustrer.



Leonardo robot



## Communication homme-robot

### Communication homme-robot

- robot autre qu'un outil pour expert ;
- communication naturelle.

### Communication multimodale

- verbale ;
- non-verbale :
  - gestes,
  - expression,
  - posture...

### Communication complémentaire

- réguler la conversation ;
- montrer son état :
  - pointage,
  - attention,
  - émotion...
- illustrer.



Leonardo robot

Estimation de ce que l'humain communique.

# Acceptabilité

## Acceptabilité

- les robots peuvent aider,
- mais seulement s'ils sont acceptés ;
- études avec les utilisateurs ;
- inquiétudes :
  - aspect,
  - compréhension,
  - effets sociétaux...

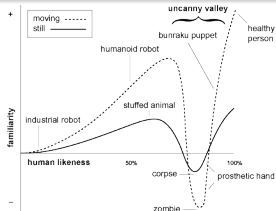
# Acceptabilité

## Acceptabilité

- les robots peuvent aider,
- mais seulement s'ils sont acceptés ;
- études avec les utilisateurs ;
- inquiétudes :
  - aspect,
  - compréhension,
  - effets sociétaux. . .

## Uncanny valley

- apparence humaine mais pas totalement,
- réponse émotionnelle négative,
- perte d'empathie ;
- plus important en mouvement.



uncanny valley (Mori)

# 3

## Conclusion

# Conclusion

## Multi-robot

- schéma d'organisation ;
- mode de communication ;
- allocation des tâches.

# Conclusion

## Multi-robot

- schéma d'organisation ;
- mode de communication ;
- allocation des tâches.

## Interaction homme-robot

- sécurité ;
- interaction physique ;
- communication ;
- acceptabilité ;
- estimation de l'humain.

# Conclusion

## Multi-robot

- schéma d'organisation ;
- mode de communication ;
- allocation des tâches.

## Interaction homme-robot

- sécurité ;
- interaction physique ;
- communication ;
- acceptabilité ;
- **estimation de l'humain.**

# Bibliographie

## Sécurité intrinsèque

- Haddadin *et al.*, *Collision detection and reaction : a contribution to safe physical human-robot interaction*, IROS 2008.

## Social robotics

- Dautenhahn, *Socially intelligent robots : dimensions of human-robot interaction*, Phil. Trans. R. Soc. B, 2007.

## Livres

- Siciliano *et al.*, *Springer Handbook of Robotics*, Springer 2016.



## Pour continuer

### Sujets de projets de recherche

- apprentissage de contrôleurs pour des robots hexapodes ;
- navigation sur un robot Pepper ;
- apprentissage pour la coordination multi-robots ;
- apprentissage d'un modèle interne ;
- filtrage pour le suivi multi-objets. . .

<https://team.inria.fr/larsen/master-subjects/>

Merci de votre attention.

Des questions ?

Des retours sur le cours ?