



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



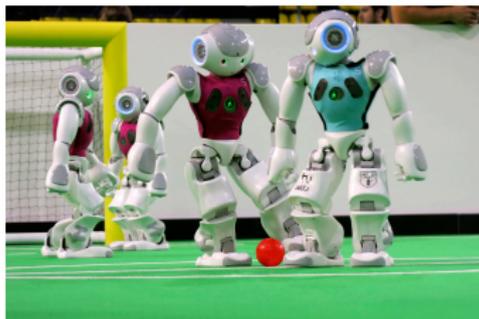
Intel 500 drones



Kilobots



Swarmanoid



Robocup

Conclusion sur les systèmes multi-robots

Systèmes 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...

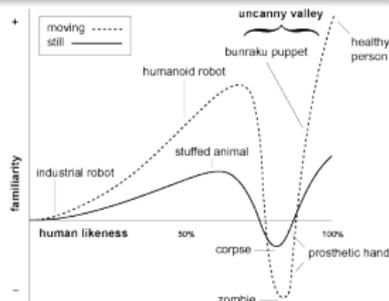
Acceptabilité

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 ?