

Vers l'Auto-Assemblage de Modules Robotiques...

Benjamin Girault, supervisé par Serge Kernbach

IPVS, Stuttgart, Allemagne

08 Septembre 2010

Contexte

Laboratoire et Projet

- ▶ Université de Stuttgart, à 1h15 de Strasbourg

Contexte

Laboratoire et Projet

- ▶ Université de Stuttgart, à 1h15 de Strasbourg
- ▶ Projets de Recherche Européen : Symbrion / Replicator

Contexte

Laboratoire et Projet

- ▶ Université de Stuttgart, à 1h15 de Strasbourg
- ▶ Projets de Recherche Européen : Symbion / Replicator
- ▶ Projet reliant de nombreuses universités

Laboratoire et Projet

- ▶ Université de Stuttgart, à 1h15 de Strasbourg
- ▶ Projets de Recherche Européen : Symbrion / Replicator
- ▶ Projet reliant de nombreuses universités
- ▶ Stage en trois étapes :
 - ▶ Étude, simulation et amélioration d'un algorithme d'Auto-Assemblage
 - ▶ Programmation bas niveau
 - ▶ Développement d'un protocole de découverte de voisins

Présentation des Robots

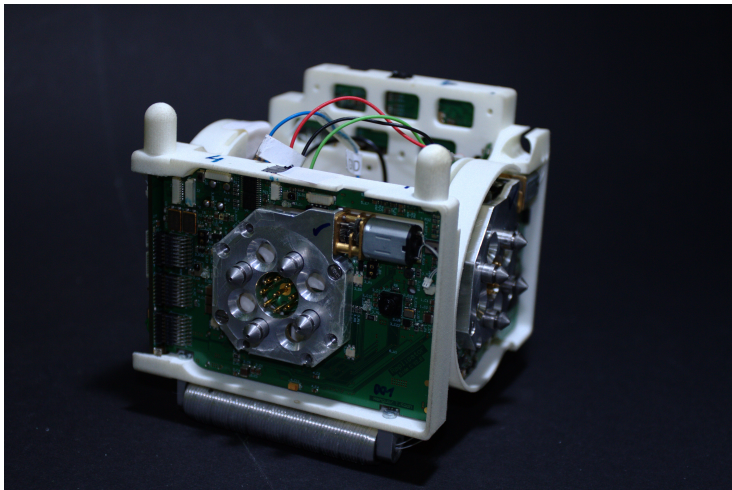


Figure: Robot de Karlsruhe

Présentation des Robots

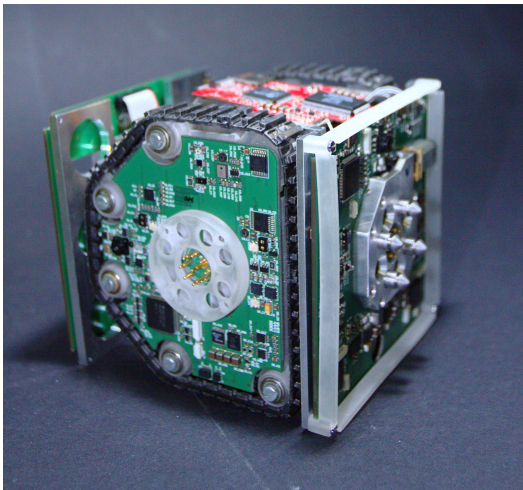


Figure: Robot Scout

Présentation des Robots

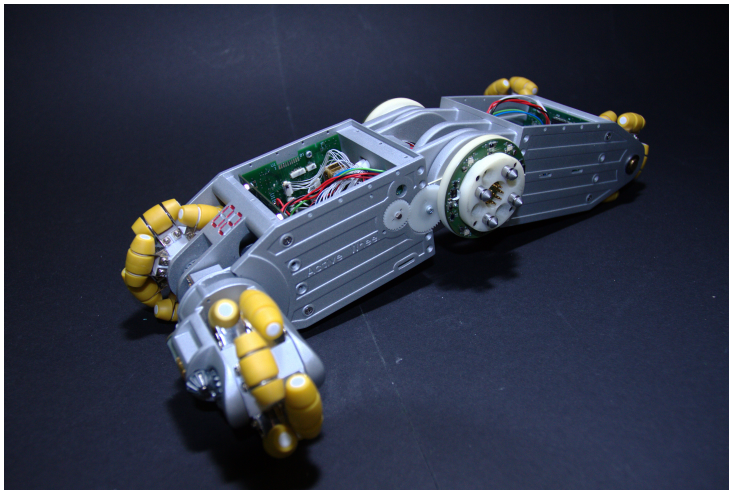


Figure: ActiveWheel

Présentation des Robots

Remarques Matérielles

Structure identique sur les différentes plates-formes :

- ▶ Processeur BlackFin BF561 (bi-cœur 600MHz)
- ▶ RAM : 64Mo / NOR Flash : 8Mo
- ▶ Quatre MSP430 (MSP430F2418) connectés par un bus SPI au processeur
- ▶ Capteurs identiques : IR / Mic. / Accéléromètre / Couleurs / Caméras
- ▶ Communication : IR / ZigBee / Ethernet

Problème Étudié

Auto-Assemblage (*Self-Assembling*)

- ▶ Utilisation de modules robotiques
- ▶ Collaboration au sein d'un essaim (*swarm*)
- ▶ Passage d'essaim à organisme ?
- ▶ Hétérogénéité

Modèle Robotique

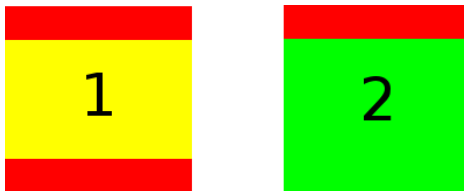


Figure: 2 Modèles de Robot

Représentation d'une Topologie (Organisme)

$\phi = (c_1, \dots, c_n, C)$ écrit aussi $\phi = c_1 \dots c_n / C$

Topologie

- ▶ c_i : Connectivité (degré) de chaque nœud
- ▶ $c_i \geq c_{i+1}$
- ▶ C : Nombre de connections

Représentation d'une Topologie (Organisme)

$\phi = (c_1, \dots, c_n)$ écrit aussi $\phi = c_1 \dots c_n$

Topologie

- ▶ c_i : Connectivité (degré) de chaque nœud
- ▶ $c_i \geq c_{i+1}$
- ▶ C : Nombre de connections

Affinage

- ▶ **Hypothèse** : Graphe acyclique connexe (arbre) : $C = n - 1$

Représentation d'une Topologie (Organisme)

$\phi = (c_1, \dots, c_n)$ écrit aussi $\phi = c_1 \dots c_n$

Topologie

- ▶ c_i : Connectivité (degré) de chaque nœud
- ▶ $c_i \geq c_{i+1}$
- ▶ C : Nombre de connections

Affinage

- ▶ **Hypothèse** : Graphe acyclique connexe (arbre) : $C = n - 1$
- ▶ **Hypothèse** : $n \leq 5$ (stratégie *divide & conquer* sinon)

Représentation d'une Topologie (Organisme)

$$\phi = \left(\left\{ c_1, (\varphi_{1,1}, \dots, \varphi_{1,m_1}) \right\}, \dots, \left\{ c_n, (\varphi_{n,1}, \dots, \varphi_{n,m_n}) \right\} \right)$$

Topologie

- ▶ c_i : Connectivité (degré) de chaque nœud
- ▶ $c_i \geq c_{i+1}$
- ▶ C : Nombre de connections

Affinage

- ▶ **Hypothèse** : Graphe acyclique connexe (arbre) : $C = n - 1$
- ▶ **Hypothèse** : $n \leq 5$ (stratégie *divide & conquer* sinon)
- ▶ Contraintes Fonctionnelles : $(\varphi_{i,j})$

$$\varphi_{i,j} = (\text{module type}_{\text{dock type}}, \text{module type}_{\text{dock type}})$$

Exemple de Topologie

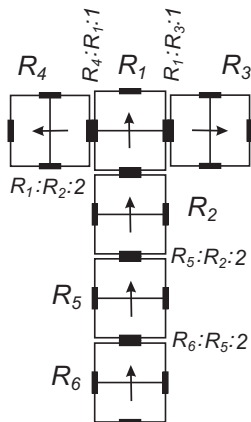


Figure: Exemple de Topologie :

$$\left(\left\{ 3, (A_1, A_1), (A_1, A_1), (A_2, A_1) \right\}, \left\{ 2, (A_1, A_1) \right\}, \left\{ 2, (A_1, A_1) \right\}, 1, 1, 1 \right)$$

Formulation du Problème de Satisfaction de Contraintes

- ▶ Minimisation de $\Theta = \mathbf{s}^T \cdot \mathbf{x}$
- ▶ En vérifiant $\mathbf{A} \cdot \mathbf{x} = \mathbf{b}$ et $\mathbf{C} \cdot \mathbf{x} \leq \mathbf{d}$

Formulation du Problème de Satisfaction de Contraintes

- ▶ Minimisation de $\Theta = \mathbf{s}^T \cdot \mathbf{x}$
- ▶ En vérifiant $\mathbf{A} \cdot \mathbf{x} = \mathbf{b}$ et $\mathbf{C} \cdot \mathbf{x} \leq \mathbf{d}$

Paramètres et Variables

- ▶ \mathbf{x} : vecteur booléen sur les couples de robots
- ▶ \mathbf{s} : vecteur coût pour chaque connexion
- ▶ $\mathbf{A}, \mathbf{b} / \mathbf{C}, \mathbf{d}$: contraintes de degré, de fonction, d'arbre et de nombre de docks

Exemple en Simulation

$$\phi = ((4, (A_X, B_1)), 1, 1, 1, 1)$$

Remarques

Problème

Comment déterminer le coût d'une connexion dans le cas réel ?

Remarques

Problème

Comment déterminer le coût d'une connexion dans le cas réel ?

Hypothèses Fonctionnelles

- ▶ Robots Aveugles
- ▶ Communication Locale (Ouïe)
- ▶ Ouïe Directive

Remarques

Problème

Comment déterminer le coût d'une connexion dans le cas réel ?

Hypothèses Fonctionnelles

- ▶ Robots Aveugles
- ▶ Communication Locale (Ouïe)
- ▶ Ouïe Directive

Question

Comment tirer parti de ces fonctionnalités pour déterminer s ?

Détection du Voisinage

Communication (IR) :

- ▶ Échange d'identifiant
- ▶ Multiplexage
- ▶ Division temporelle (TDMA)

Détection du Voisinage

Communication (IR) :

- ▶ Échange d'identifiant
- ▶ Multiplexage
- ▶ Division temporelle (TDMA)

Problématique

Canal de communication commun : **Comment Multiplexer ?**

Détection du Voisinage

Communication (IR) :

- ▶ Échange d'identifiant
- ▶ Multiplexage
- ▶ Division temporelle (TDMA)

Problématique

Canal de communication commun : Comment Multiplexer ?

Solution Étudiée

Aléatoire (PTDMA)

PTDMA

Idée

- ▶ Discrétisation du temps
- ▶ Envoi probabiliste de l'identifiant (probabilité p)

PTDMA

Idée

- ▶ Discrétisation du temps
- ▶ Envoi probabiliste de l'identifiant (probabilité p)

Hypothèses

- ▶ Nœuds asynchrones
- ▶ Algorithme identique sur tous les nœuds
- ▶ Discrétisation identique
- ▶ N nœuds partageant le même canal

PTDMA

Idée

- ▶ Discrétisation du temps
- ▶ Envoi probabiliste de l'identifiant (probabilité p)

Hypothèses

- ▶ Nœuds asynchrones
- ▶ Algorithme identique sur tous les nœuds
- ▶ Discrétisation identique
- ▶ N nœuds partageant le même canal

Question

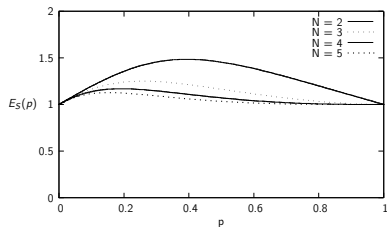
Espérance du nombre de messages reçus ?

Résultats Combinatoires

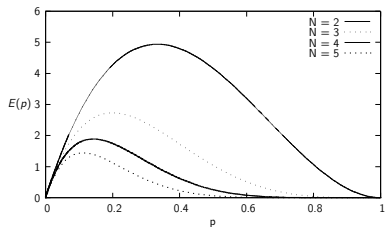
Espérance du nombre de messages reçus (N nœuds)

$$E = \frac{p}{T}(1 - p)^{2(N-1)}$$

Résultats Combinatoires



(a) E_s



(b) E

Figure: E_s et E avec une discrétisation toutes les 30ms

Résultats Combinatoires

Espérance du nombre de messages reçus (N nœuds)

$$E = \frac{p}{T}(1 - p)^{2(N-1)}$$

Meilleur cas

$$p_{max} = \frac{1}{2N - 1}$$

$$E_{max} = \frac{1}{T(2N - 1)} \left(\frac{2N - 2}{2N - 1} \right)^{2(N-1)}$$

Valeur pour certains N

N	2	3	4	5	6	7
E_{max}	4.94	2.73	1.89	1.44	1.17	0.98

Résultats Expérimentaux

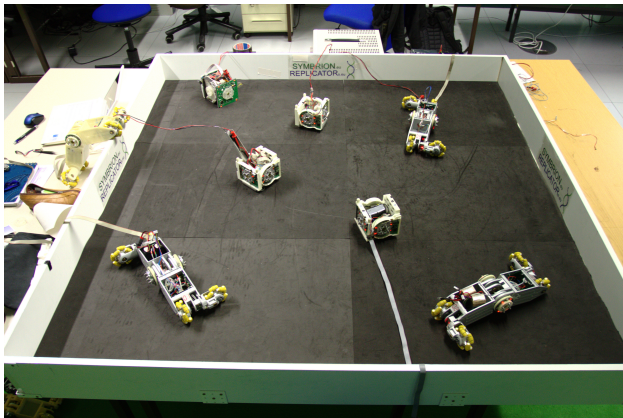


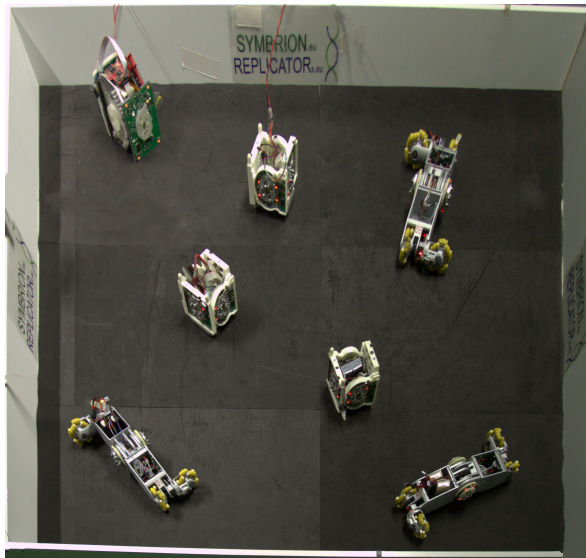
Figure: Swarm Test Case

Résultats Expérimentaux

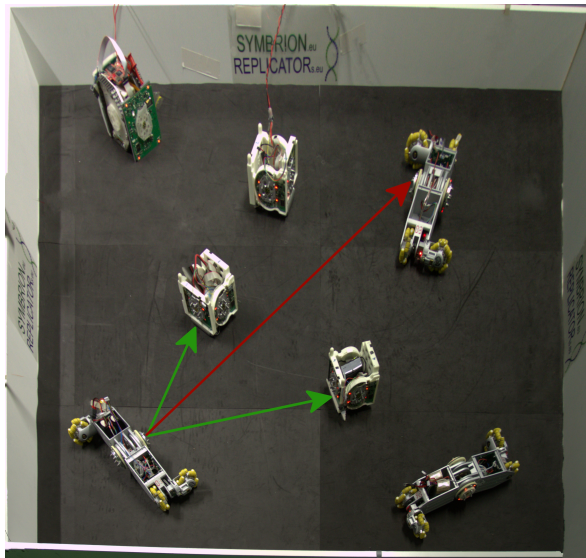
Remarques

- ▶ Moyenne sur 30 minutes
- ▶ Protocole légèrement modifié (goulot SPI)
- ▶ N déterminé par échange d'informations
- ▶ Données obtenues expérimentalement : nb. msgs. / s. moyenné
- ▶ Valeur représentée : pourcentage du nb. msg. / s. attendu

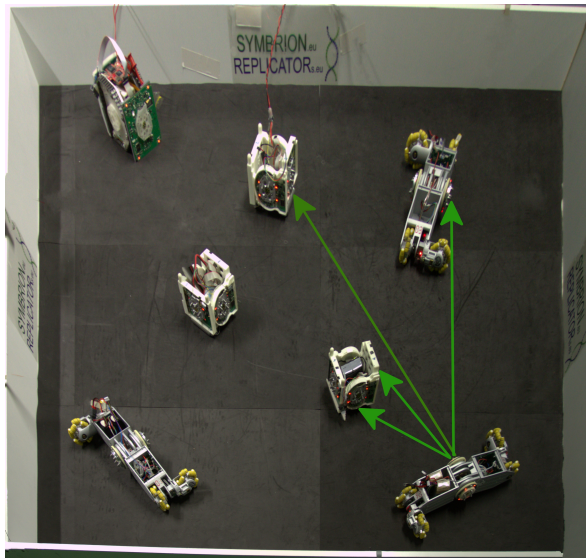
Résultats Expérimentaux



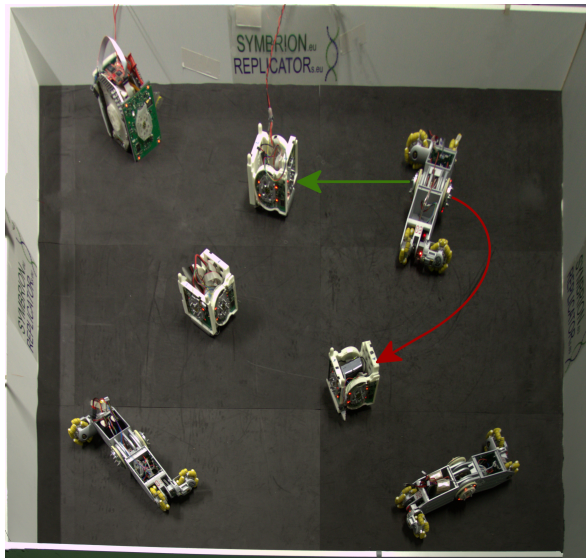
Résultats Expérimentaux



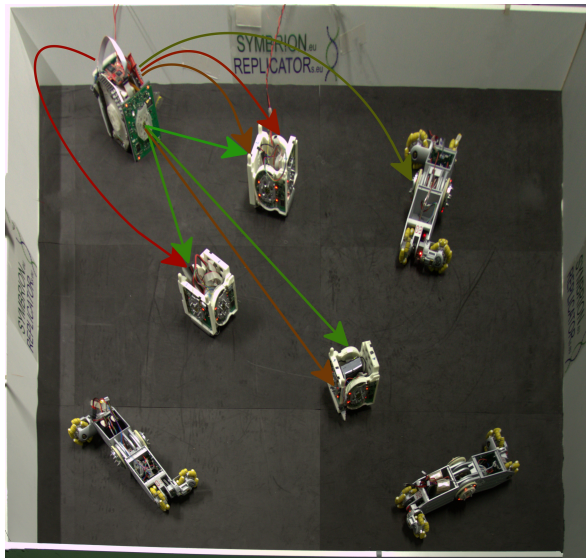
Résultats Expérimentaux



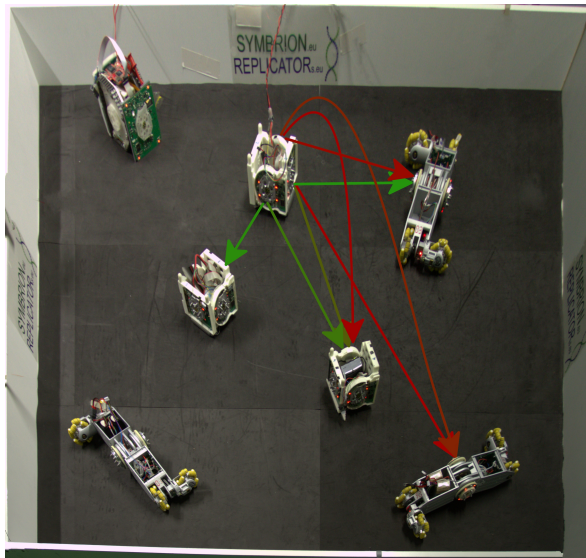
Résultats Expérimentaux



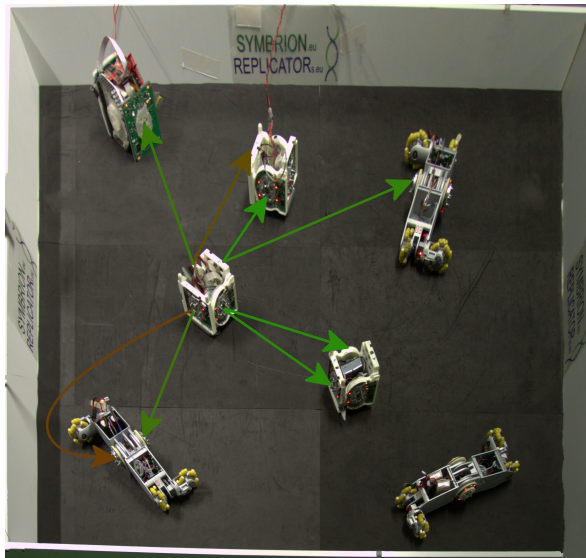
Résultats Expérimentaux



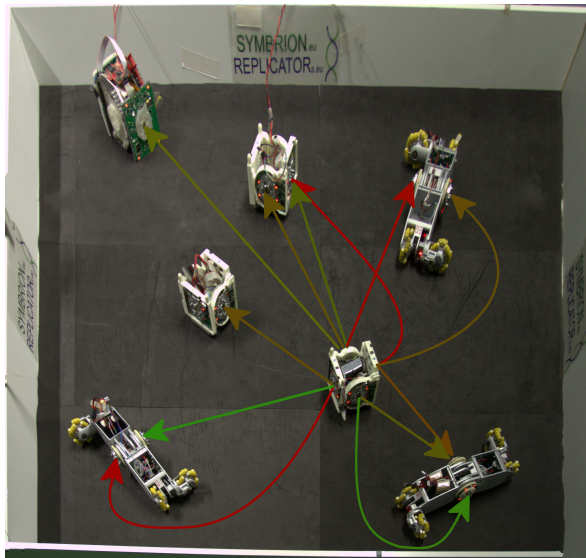
Résultats Expérimentaux



Résultats Expérimentaux



Résultats Expérimentaux



Bilan

Remarques

- ▶ Robots globalement **non prêts** (ex. : pas de Caméra)
- ▶ **Peu de compétences** au sein du projet en prog. bas niveau
- ▶ Stage très **pratique** : prog. bas niveau / élec. / méca.

Bilan

Remarques

- ▶ Robots globalement non prêts (ex. : pas de Caméra)
- ▶ Peu de compétences au sein du projet en prog. bas niveau
- ▶ Stage très pratique : prog. bas niveau / élec. / méca.

Travail restant

- ▶ Test de l'approche aléatoire sur un autre moyen de communication locale
- ▶ Goulot SPI : résolution possible
- ▶ Distribution de probabilité
- ▶ Construction des poids s
- ▶ Implémentation de l'approche par CSP sur BlackFin

Conclusion

Merci pour votre attention.