

Robotique Autonome

Histoires, Exemples et conception de comportements

[Archi/Lycée]

Nicolas Bredèche

Maître de Conférences
Université Paris-Sud

bredèche@lri.fr



Symbrion IP (2008-2013)

Ressources bibliographiques utilisées pour ce cours :

- <http://wikipedia.com>
- mon cours de M2R « robots et agents autonomes » (cf. ma page web)
- ma note de cours : <http://www.lri.fr/~bredèche/Rsc/cours-1-m2r-robotbehavior.pdf>
- Handbook of Robotics, chap. 38
- M.J. Mataric, The robotics primer (2007)
- R.C. Arkin, Behavior-based robotics (1998)
- R. Pfeiffer, C. Scheier, Understanding Intelligence (2001)

Les sources des illustrations sont données en bas à droite. En l'absence de commentaire, il s'agit de source:Wikipedia.



Quelques repères historiques

Un peu d'histoire

Mythes et légendes (1)

- **Mythologie grecque**
 - Sculptures de métal (Héphaïstos/vulcain, dieu des forgerons),
 - tables circulaires sur trois pieds avec des roues (Homère)
 - Les deux servantes en or d'Hephaistos
 - Talos (Dedale ou Hephaistos) défend la crête du roi Minos
- **Mythologie mésopotamienne**
 - statues d'argile animées
- **Le Golem**
 - tradition juive : c'est un être inachevé - non encore pourvu d'âme. Créature artificielle soumise à ses maîtres mais qui peut devenir maléfique.
 - Roman « le Golem » de Gustave Meyrink (1862-1932)

Un peu d'histoire

Mythes et légendes (2)



Metropolis
Fritz Lang
(1926)

- **Le mythe de Frankenstein (1816)**
 - Mary Shelley
 - Idée que l'électricité donne vie
 - mythe de la création de la vie par la science
- **Rossum Universal Robots (1921)**
 - Pièce de théâtre du tchèque Karel Capek
 - Naissance du mot **robot** (idée de son frère Josef)
 - Tchèque : robota - travailleur terne, corvée, travail forcé
 - Latin : tripalium - instrument de torture pour les esclaves
 - idée d'esclavage omniprésente.
 - Histoire : les robots se révoltent contre leur créateur.
 - Thématique de la révolte contre l'esclavage très repris par la suite (Metropolis, Blade Runner, etc.)

Un peu d'histoire

la vision japonaise (1)

• Japon : une exception notable



Tetsuwan Atomu
Osamu Tezuka
1951

- Influence bouddhisme et shintoïsme
 - Pas de notion de bien ou de mal ni de métaphore de l'acte de création
- Les Karakuri (automates)
 - origine : époque Heian (794-1185),
 - Utilisation de l'hydraulique, puis des ressorts (contact avec l'Europe, 16^e)
 - Deux types de Karakuri
 - *Zashiki* : automates de petite taille présenté sous la forme d'animaux sacrés ou d'enfants qui viennent servir le thé.
 - *Dashis* (apparu en 1622) : automates montés sur les chars de fêtes shintoïstes pendant les processions et festivals.
 - XVII^e siècle : les Takeda-Karakuri d'Ominoshojo Takeda – créateur très célèbre de théâtre d'automates.
 - XIX^e siècle : fabricants d'automates - Hisashige Tanaka (1799-1881), fondateur de Toshiba et constructeur d'automates et Sakichi Toyoda (1867-1930), fondateur de Toyota.

6

Un peu d'histoire

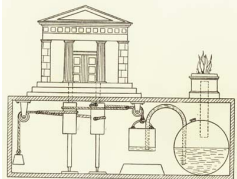
la vision japonaise (2)

- **1er choc** : 1868, ère Meiji – ouverture au monde très tardive (et forcée)
 - Considère la technologie comme un outil à maîtriser
 - La technologie symbolise le renouveau, le moyen d'égaliser les puissances
 - 1905: bataille navale historique entre le Japon et la Russie
 - **2ème choc** : 6 et 9 août 1945 – Bombe A sur Hiroshima et Nagasaki
 - La reconstruction du Japon passe par la maîtrise de ces technologies
 - Plusieurs approches d'un même thème (littérature, manga, cinéma, animés):
 - *Nécessité de maîtriser la technologie ou les outils en respectant la nature (cf. le nucléaire)*
 - *Bénéfique ou non, le résultat est toujours le fait des hommes*
- Le robot est vu comme un outil évolué (pas d'ambiguïté)
- Financement très important de l'IA par le MITI (ex. ordinateur de 5^{ème} gén. – 1982-92)
 - La moitié des grands programmes de recherche en robotique domestique sont basés au Japon
 - Réalité industrielle et commerciale (ex. robot ludique, aide aux personnes âgées...)

7

Un peu d'histoire

Les automates (1)

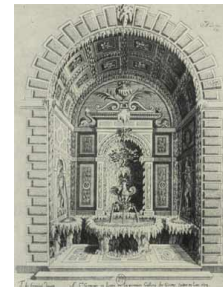


- **Héron d'Alexandrie** (1^{er} siècle)
 - Le Traité des Automates
 - Automates présentant des pièces de théâtre
 - Utilisation d'eau, de pierres, du feu, du vin, du lait, etc.
 - Mécanismes de poids et de contre-poids à l'aide de réservoir d'eau (vase de Tantale)
- **En Chine (entre -52 et 124)**
 - Construction de clepsydes
 - Def. Horloge qui indique l'heure par écoulement d'eau dans un récipient gradué.
 - Simulation de mouvement céleste

8

Un peu d'histoire

Les automates (2)



- **Automates Arabes et Perses** (~IX^e siècle)
 - Nombreux traités de mécanique hydraulique
 - frères Banou-Mousa (850), AlJazari, Ridwan
 - Horloges hydrauliques, application scientifique (astronomie, etc.)
- **Les Francini (Francine)** XVI^e siècle
 - ingénieurs et hydrauliciens-machinistes
 - Les « grottes » au château royal de Saint Germain (20km de Paris)
 - Machinerie aquatique au parc de Versailles

9

Un peu d'histoire

Les automates (3)

- **Descartes** (1596-1650. philosophe, scientifique)
 - Grand intérêt pour les automates
 - L'épisode de sa « fille Francine »
 - « l'homme est une machine, comme une horloge! »
 - Le corps se réduit à des mécanismes explicables
 - Seul l'âme (qui caractérise +/- la pensée) différencie les hommes des animaux et des horloges

→ Au delà de l'apparence, il faut copier les mécanismes biologiques.

- **Pascal** (1623-1662. écrivain, philosophe, scientifique)
 - 1623: l'horloge à calculer de Wilhelm Shickard
 - 1645: La Pascaline, machine à calculer (addition)
 - 1673: Leibniz ajoute la multiplication



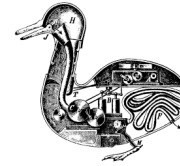
→ Au XIXème siècle

Machines-outils [Clements&a, 1820], Analytical engine [Babbage&Lovelace, 1830], etc.

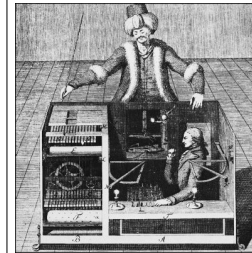
10

Un peu d'histoire

Les automates (4)



- **Jacques de Vaucasson** (1709-1782)
 - But** : reproduire les principales fonctions de la vie
 - 1738 : le joueur de flûte
 - Simule le souffle, le mouvement des lèvres et des doigts.
 - 1739 : le canard digérateur
 - bat des ailes, mange du grain, le digère et défèque des petites crottes (astuces)



- **Le baron von Kempelen** (1734-1804)
 - 1777 : Le joueur d'échecs
 - **supercherie** dont le but était de faire évader de Russie un officier polonais rebelle amputé de ses deux jambes
 - 1779 : La machine parlante
 - Production artificielle des voyelles.

11

Un peu d'histoire

XXème siècle : La cybernétique



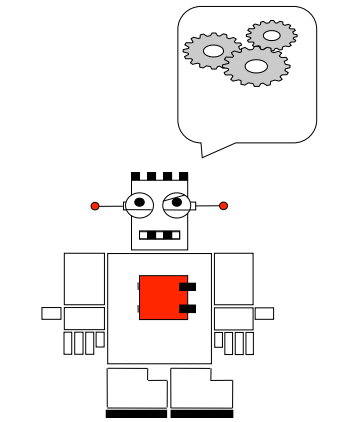
Homéostat
Ou Machine Ultra-stable
Ashby, 1950

- **Théorie du contrôle**
 - Étude de la manipulation des paramètres affectant le comportement d'un système afin d'obtenir un résultat donné
- **Théorie de l'information** [Shannon&Weaver, 1948]
 - Analyse de la nature de l'information indépendamment du support
- **Cybernétique** [Norbert Wiener, 1948]
 - Comment l'information permet de produire un comportement original
- Système auto-gouverné
- Boucle de rétro-action (feedback)
- Exemple : l'homéostat [Ashby, 1950]
 - Système électromécanique « ultrastable »
 - Conditions initiales choisie au hasard
 - But : Retour à l'état stable

12

La robotique autonome

Des automates aux robots



- **Automates**
 - Reproduit les mécanismes apparents du vivant
- **Robots**
 - Capteurs (sensation)
 - Effecteurs (action)
 - Architecture de contrôle
 - adaptation du comportement en fonction de l'environnement.

Dans la suite de l'exposé on parlera des robots

13

La robotique autonome

Quelques définitions

- **On parle de robotique autonome par opposition à :**
 - La robotique industrielle
 - Les robots télé-opérés par l'homme
 - La robotique ménagère
- **Éléments d'une définition de la robotique autonome :**
 - corporéité
 - boucle sensori-motrice
 - notion de survie
 - autonomie énergétique, tâche comportementale, etc.

14

La robotique autonome : quelques exemples

La robotique autonome

Un exemple de robot mobile (spécifications)



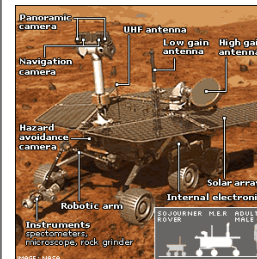
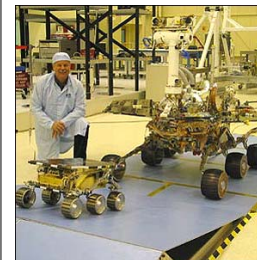
Peoplebot 2
ActivMedia

- **Communication**
 - Réseau sans fil (WiFi)
 - Microphone
 - Haut-parleurs
- **Vision**
 - Caméra couleur/n&b/linéaire/stéréo
 - Fonction Zoom
 - Boîtier de commande Pan-Tilt
- **Senseurs de proximité**
 - Ceinture de sonars ou IR
 - Bumpers (de contact)
- **Moteur** (servo-moteurs, muscles artificiels, ...)
 - Bras manipulateur
 - Moteur (avec odomètre)
- **Autres**
 - PC embarqué (Linux) au format PC104+
 - Autonomie énergétique (Batterie rechargeable)
 - Compas
 - Gyroscope
 - Accéléromètre
- **Etc.**

16

Robots en milieu extrême

Les robots du JPL – Jet Propulsion Laboratory (NASA)



- **Les robots martien de la NASA**
 - Sojourner (1997)
 - Télécommandé depuis la terre
 - Autonomie relative
 - Lien radio : délai de 10 minutes!
 - Ajustement du comportement
 - Spirit (2004)
 - Même fonctionnement que Sojourner
 - Beaucoup plus gros et complexe

17

Robots en milieu extrême

Nomad - Carnegie Mellon University

- **Nomad**

2000, CMU Robotics Institute, NASA

- Recherche de météorites en Antarctique
 - Rôle de détection et classification
 - Pas de prélèvements
- Spécifications
 - Support mobile
 - 2.4m, 725kg
 - Caméra stéréo, Laser rangefinder, GPS
 - Motorola 68060 VME, Pentium 133mhz sous Linux
 - Bras manipulateur
 - Caméra haute-résolution
 - Spectromètre
 - Techniques
 - Apprentissage artificielle
 - Analyse statistique



Robots en milieu extrême

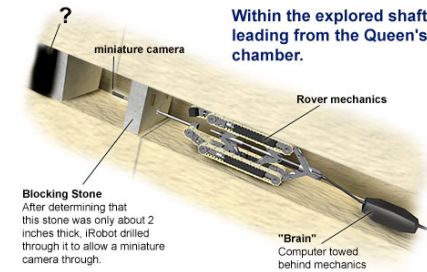
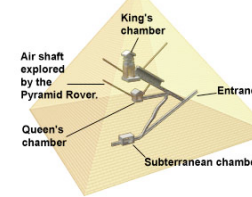
Pyramid rover – i-robot



- **Pyramid rover (i-robot)**

- Exploration de la grande pyramide de Giza
- Collaboration (été 2002)
 - National Geographic
 - Egypt's Supreme Council of Antiquities

Great Pyramid

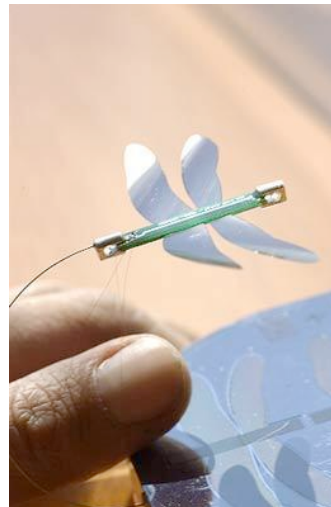


Robots volants

exemples de microdrones



drone X4



(DGA/COM)

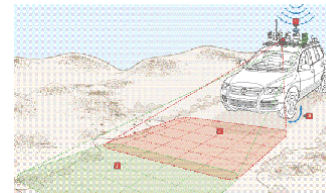
DARPA Grand Challenge



Stanley (Stanford)
1st Place



Tartan Racing – Pittsburgh, PA
1st Place



(2eme) DARPA Challenge [2005]



DARPA Urban Challenge [2007]
100 km en 6 heures

Plate-formes expérimentales

Quelques robots que l'on trouve dans les labos



Pioneer 2dx
Activmedia



iCub
Projet européen



Wifibot
Wifibot



Koala
K-team



Mindstorms
Lego



Aibo
Sony

Et tous ceux construits directement dans les labos...

23

AIBO

le robot-chien de Sony



Aibo ERS-210



Aibo ERS7

• AIBO – Artificial Intelligence Robot

- Sony, Boston dynamics
- 1999, ERS-111 et 112
- 2002, ERS-31L
- Caractéristiques principales :
 - Interaction sociale riche
 - évolution de la « personnalité » du robot
 - Vitesse de marche : 4.2 km/h
- Environnement de développement disponible

24

QRIO

Sony



- **Projet robot humanoïde SDR**
 - SDR : Sony Dream Robot
 - Sony Digital Creatures Lab. Group 2
 - K. Yoshihiro et D. Toshikata
- **Objectifs**
 - Marche fluide
 - Système de reconnaissance de l'entourage
 - Système de communication *situé* (à proximité)

26

QRIO (historique)

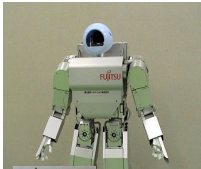
Sony

- **1997 : début du projet**
- **2000 : SDR-3X**
 - 50 cm, 24 degrés de liberté
- **2002 : SDR-4X**
 - 58cm, 6.5kg
 - 38 degrés de liberté (28 pour le corps + 10 pour les doigts)
 - Fonctionnalités :
 - Marche
 - Évitement d'obstacle
 - Gestion de l'équilibre (après un choc)
 - Marche en terrain accidenté
 - Franchissement d'un escalier
 - Compréhension/production paroles
 - Reconnaissance vocale (7 micros, 60000 mots, distingue 10 locuteurs)
 - Production de parole (voix de synthèse, phrases pré-enregistrées)
 - Système de vision stéréoscopique (2 cameras sur la tête)

28

HOAP

Fujitsu



- **Prototype HOAP-1, HOAP-2 puis HOAP-3**

- HOAP – Humanoid for Open Architecture Platform (2001)
- 48cm, 6kg
- 22 degrés de liberté

- **Objectifs**

développement d'algorithme de commande de mouvement pour la marche bipède

→ Programmable sous Linux

Cible commerciale : laboratoires de recherche

29

ASIMO

le robot bipède de Honda (1)



- **Projet de robot bipède intelligent**

- Objectif :
 - Mobilité, Transport d'objets, Coexistence/coopération avec des humains (sous la direction de Y. Hiroyuki)
- Historique :
 - 1986 : début du projet
 - 1993 : P1, la première version, capable de marcher
 - 1996 : P2 (1m82, 210kg)
 - porte des objets et pousse des chariots
 - 1997 : P3 (1m60, 130kg)
 - 2000 : ASIMO (1m20, 43kg)
 - « Advanced Step in Innovative MObility »
 - 26 degrés de liberté
 - Gyroscope, capteur de décélération, etc.
 - i-walk : Système de marche « intelligente » (1.6 km/h)
 - Reconnaissance de visage, suivi de personne, synthèse de parole.

30

ASIMO

le robot bipède de Honda (2)



- **ASIMO :**

- Présenté à Robodex 2002
 - Développement tenu secret
 - Présenté 1 jour avant le robot bipède de Sony!
- Applications
 - Système robotique quasi-commercialisable
 - Destiné pour le moment à la location
 - Possibilité de location à l'année (~160 000 € par an)
 - « livré » avec les ingénieurs de Honda
 - Clients : grandes entreprises, Musée national des sciences de l'Ingénieur et de l'Innovation de Tokyo (2002), etc.

32

HRP

"Humanoid Robotics Project"



- **Prototype HRP-2P**

- Présenté au Robodex 2002
- 1.54m, 58kg
- 30 degrés de liberté
- Regroupe plusieurs entreprises et organismes de recherche publique
 - Parainage du MITI (ministère de l'économie et de l'industrie)
 - AIST – National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (Tsukuba)
 - MSTC – Manufacturing Science and Technology Center
 - Kawada Kyogo (structure et contrôle), Yaskawa Electric (bras), Shimizu (vision)
- A terme, devrait être commercialisé
- Disponible à Toulouse au JRL (labo franco-japonais)

33

NAO

Aldebaran Robotics (Paris, France)

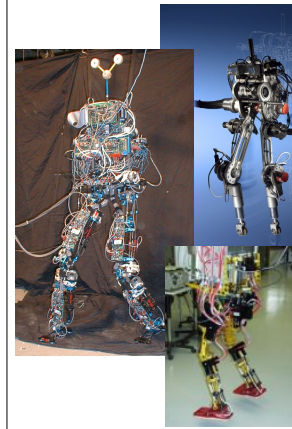


(cherchez l'imposteur)

34

Autres travaux sur marche bipède

Travaux en Europe et aux Etats-Unis



Rabbit – CNRS-Robeo/INRIA/U.Michigan/U.Ohio (2000-...)

M2 – MIT/Olin College (1998-...)

BIP – INRIA/LMS (2000-...)

• Caractéristiques principales

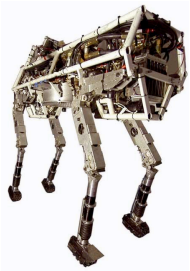
- Réservés aux laboratoires de recherche
- Un design plus... dépouillé
- Moins aboutis techniquement
- Les crédits ne sont pas comparables!
- **Mais** : les problématiques sont pertinentes
 - ex. course, marche perturbée, etc.

→ Pour résumer : malgré l'aspect un tant soit peu rebutant, les recherches menées sur ces plate-formes sont tout à fait pertinentes.

36

The Mule (et "little dog")

Boston Dynamics



Mule



Little Dog

• Big Dog

- une sorte de «pendule inversé»
- alimentation: moteur diesel
- financement: DARPA
- charge possible: 150kg
- locomotion: pente de 35°
- vitesse: 6.5 km/h

• Little Dog

- DARPA "Learning Locomotion"
- Dans quelques universités ...

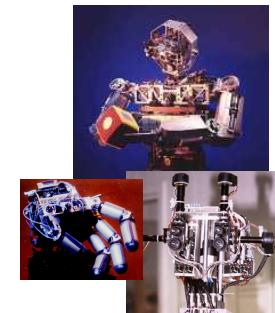
37

COG

Robotique Cognitive

• Projet Cog

- Projet commencé en 1993
- MIT, AI lab, Rodney Brooks.
- Pas de jambes!
- 21 degrés de liberté
- Vision, audition, toucher



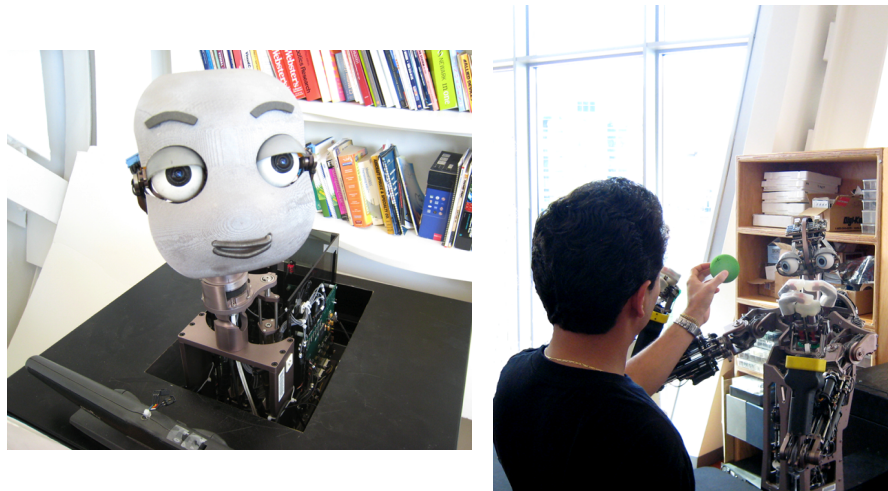
• Deux objectifs principaux :

- Construire une représentation du monde
 - **Argument** : si l'on veut qu'un robot se construise une représentation du monde semblable à celle utilisée par un humain, il faut d'abord lui donner un moyen d'appréhender le monde comme nous le faisons, c'est à dire à travers un corps semblable au notre.
- Interaction sociale
 - **Argument** : il est plus engageant pour un humain d'interagir avec un robot anthropomorphe plutôt qu'avec un robot à roues ou un écran d'ordinateur.

39

MIT CSAIL

Les descendants de COG



41

iCub

Projet Européen



iCub (à gauche)

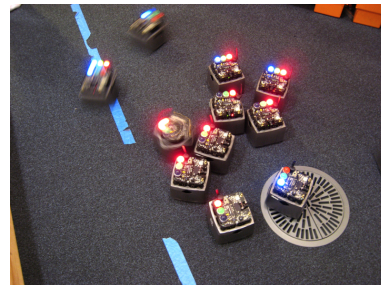
- 50aine de DoF
- dont une grande partie dans les mains
- mécanique: cables (imitation des nerfs)
- travail sur l'expressivité
- Projet européen

42

Robotique en essaim



Swarmbot (Projet européen)



swarm robotics (MIT)

43

Robotique modulaire

Chaîne ou treillis ?

• Deux classes de robots modulaire



• Chaîne / Chain :

- Les agents forment une chaîne, parfois reconfigurable, ou la principale problématique est la coordination des efforts sur une structure fixe.
- Conro (EU), M-Tran (Japon), PolyBot (Xerox)
- ⇒ prototypes qui fonctionnent, application (visite d'égout)

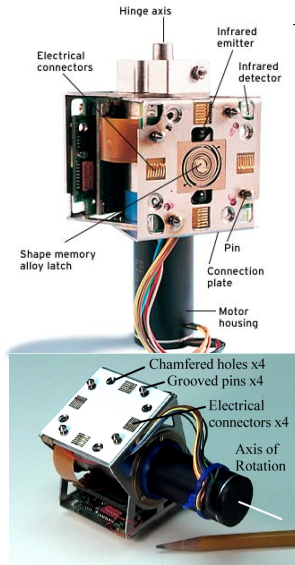


• Treillis / Lattice :

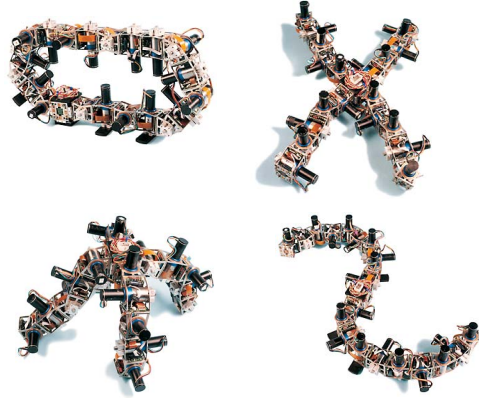
- les agents sont des modules qui se déplacent les uns p/r aux autres. La principale problématique est la reconfiguration.
- Atron (Danemark), Molecule (EU), TeleCube (Xerox), Proteo (Xerox), MaM (France)
- ⇒ premiers prototypes, test de faisabilité, rarement un système complet

45

« Chaîne » - PolyBot de Xerox



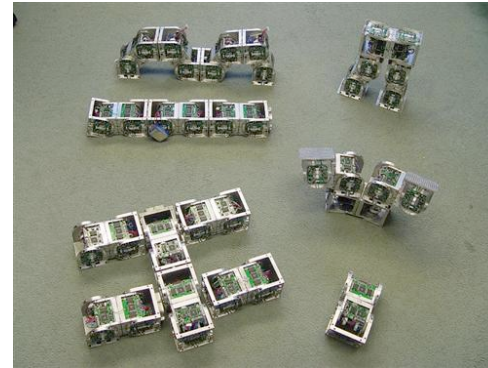
- **Chaque module est autonome**
- Peut se détacher ou s'attacher tant que l'entité reste unique



Polybot de Xerox

46

Robotique modulaire



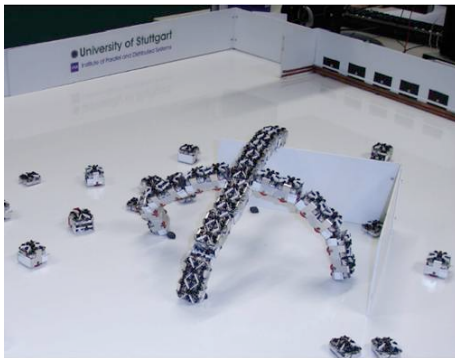
Superbot (USC, USA)



Odin (danmark)

48

De l'essaim à l'assemblage



Symbrion (Projet européen)

49

Conception de
comportements

Robotique et commande optimale

(...en un transparent...)

- Approche classique en théorie du contrôle
 - Commande optimale
 - ▶ Calculer une trajectoire optimale
 - ▶ Construire un contrôleur pour suivre cette trajectoire
 - Synthèse
 - ▶ Nombreuses applications
 - ▶ Mais: problèmes de coût, de gestion de l'imprévu, de modèles
 - ▶ En pratique, pas toujours applicable.
 - même si: méthode approchée, introduction d'apprentissage, etc.

Evans, L.C., An Introduction to Optimal Control Theory -- <http://math.berkeley.edu/~evans/control.course.pdf>

Question: comment concevoir une architecture de contrôle pouvant réagir rapidement dans un environnement dynamique, et non prédictible ?

Motivations

- Approches top-down vs. bottom-up
 - GOFAI, approche symbolique
 - manipuler des symboles
 - mais... symbol grounding problem [harnad, 1986]
 - Approches sub-symbolique [brooks, 1986]
 - «le monde est son propre modèle»
 - boucle perception-action
 - contrôle réactif, capacité d'adaptation
- Aujourd'hui: approches hybrides + adaptation en ligne

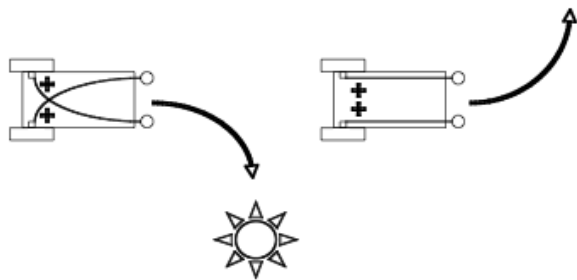
- Différentes architectures de contrôle
 - Approche délibérative (planification)
 - Réactive
 - Hybride (Délibératif+Réactif)
 - Comportementale ("behavior-based")

Approche Réactive

Propriétés

- Modèle “stimulus-réponse”
 - Couplage sensori-moteur direct
 - Pas de raisonnement
 - Pas de modèle du monde
- Implémentation
 - base de règles (ex.: si obstacle, recule)
 - cablage (physique ou logique)

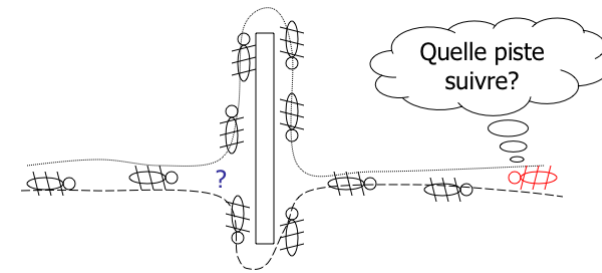
Véhicules de Braitenberg



[Braitenberg, 1984]

- connexions excitatrices et/ou inhibitrices
- exemple: aller vers la lumière, fuir la lumière, suivre le mur, éviter les obstacles, ...
- comportement unique, mais robuste et réactif

Ant algorithm

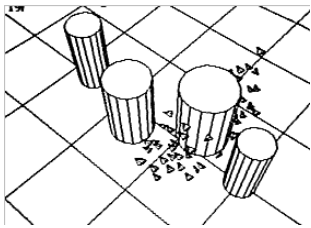
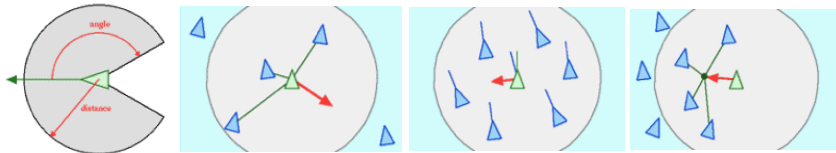


[dorigo96]

- Réactif, mais trouve le plus court chemin
- Applications: routage sur internet, France Telecom, Brit. T.

Demo : <http://www.rennard.org/alife/french/ants.html>

“Boids”

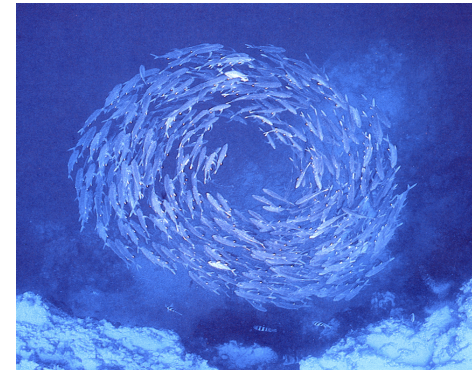


[Reynolds, 1986]

cf. <http://www.red3d.com/cwr/boids/applet/>

Flocking, Schooling, Herding

(vol en bande, nage en banc, déplacement en troupeau)



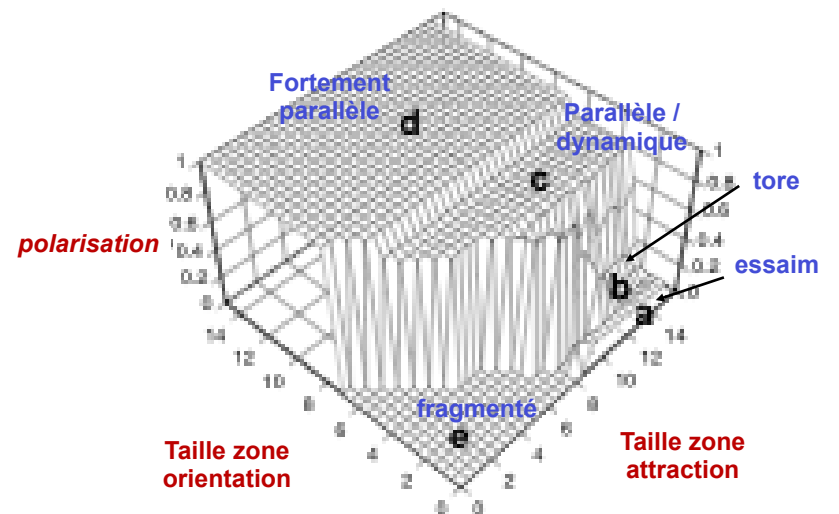
- Intérêt Biologique p/r prédateurs:
 - Le groupe est moins visible
 - Un individu a moins de chance d'être choisi

Exemple de modèle de Flocking

- niveau individuel: des règles simples
- niveau population: trois “attracteurs”
 - Caractérisés par la polarisation, le moment d’inertie, la mobilité

[Couzin02]

Emergence de dynamiques



[Couzin02]

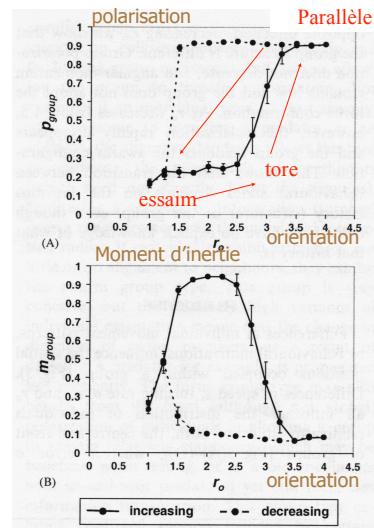
Mémoire collective

- Expérience en simulation

- la taille de la zone d'orientation varie

- résultats:

- cycle entre attracteurs
- phénomène d'hystérésis



64

Synthèse sur le contrôle réactif

- Avantages:

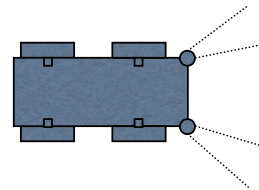
- efficace dans les environnements peu structurés
- pas besoin de modèle du monde (!= délibératif)
- dynamiques complexes avec plusieurs agents

- Inconvénients:

- pas de mémoire (locale)
- pas d'apprentissage

Architecture de comportements

Didabots



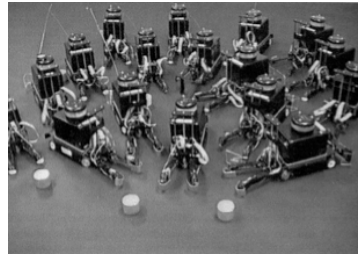
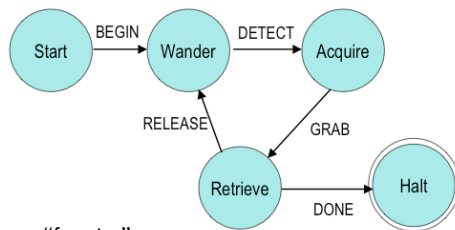
EVAL group – NTNU - <http://www.idi.ntnu.no>

- Didabots

- Plusieurs robots
- Contrainte physique: aveugle devant
- Comportements simples
 - Par défaut, avance
 - Si obstacle alors recule, tourne a droite

[Maris96]

“The Nerd Herd”



“foraging”

- Combinaison de 4 ou 5 comportements de base
- **Homing** : navigation vers un endroit particulier ; **Dispersion** : écartement garantissant l'absence de conflit ; **Aggregation** : regroupement garantissant l'existence d'un groupe ; **safe-wandering** : évite les collisions ; **Following** : capacité à suivre un autre agent dans ses traces (facultatif)
- Résultats: 20 robots accomplissant diverses tâches en environnement dynamique (flocking et foraging)

[Mataric92-94]

69

Détails des comportements (1/2)

Aggregate:

- Whenever nearest agent is outside $d_{aggregate}$
 - Turn toward the local $centroid_{aggregate}$, go.
- Otherwise, stop.

Dispersion:

- Whenever one or more agents are within $d_{disperse}$
 - Move away from $Centroid_{disperse}$

Follow:

- Whenever an agent is within d_{follow}
 - If an agent is on the right only, turn right
 - If an agent is on the left only, turn left

Home:

- Whenever at home
 - Stop
- Otherwise, turn toward home, go.

[Mataric92-94]

70

Détails des comportements (2/2)

Avoid-Kin:

- Whenever an agent is within d_{avoid}
 - If the nearest agent is on the left
 - Turn right
 - Otherwise, turn left

Avoid-Everything-Else

- Whenever an obstacle is within d_{avoid}
 - If obstacle is on right only, turn left
 - If obstacle is on left only, turn right
 - After 3 consecutive identical turns, backup and turn
 - If an obstacle is on both sides, stop and wait.
 - If an obstacle persists on both sides, turn randomly and back up

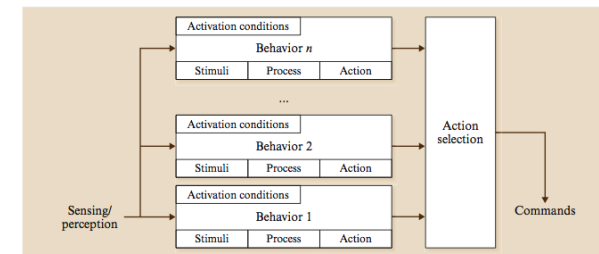
Move-Around:

- Otherwise move forward by $d_{forward}$, turn randomly

[Mataric92-94]

71

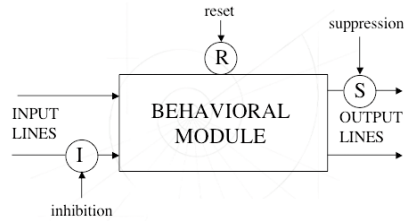
Définitions



credits: handbook of robotics, chap 38

- une bibliothèque de comportements
 - ex.: obstacle-avoider, target-follower, go-recharge, find-target, pick-up-object...
- un système de sélection d'action
 - structure et hiérarchisation entre comportements

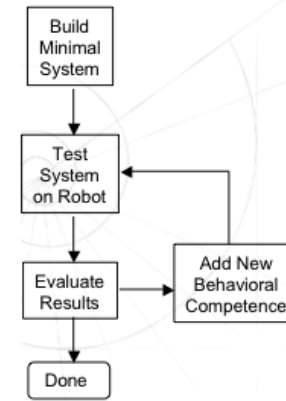
Architecture de subsomption (1/2)



- comportement simple
- niveaux d'abstraction

[Brooks, 1986]

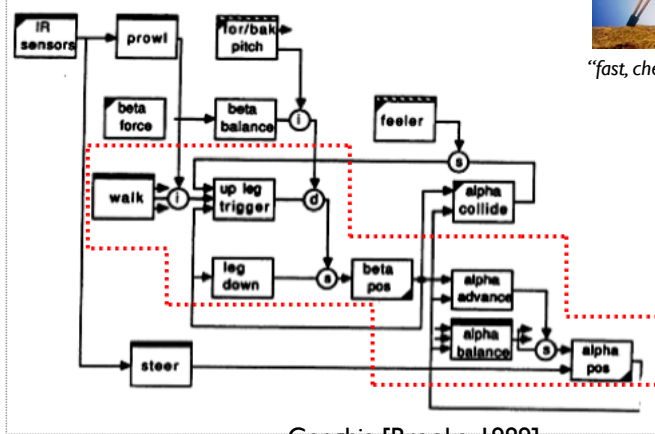
(Méthodologie)



Architecture de subsomption (2/2)

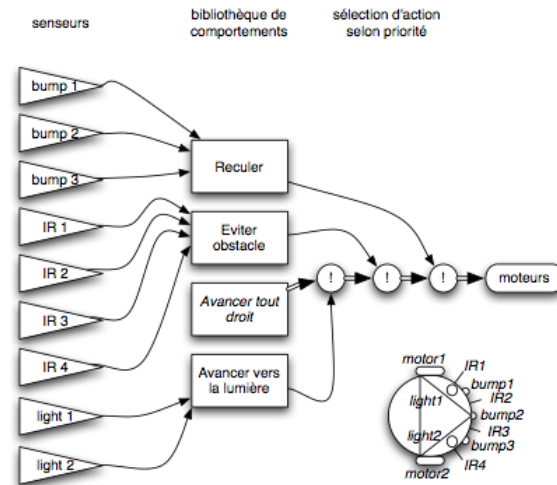


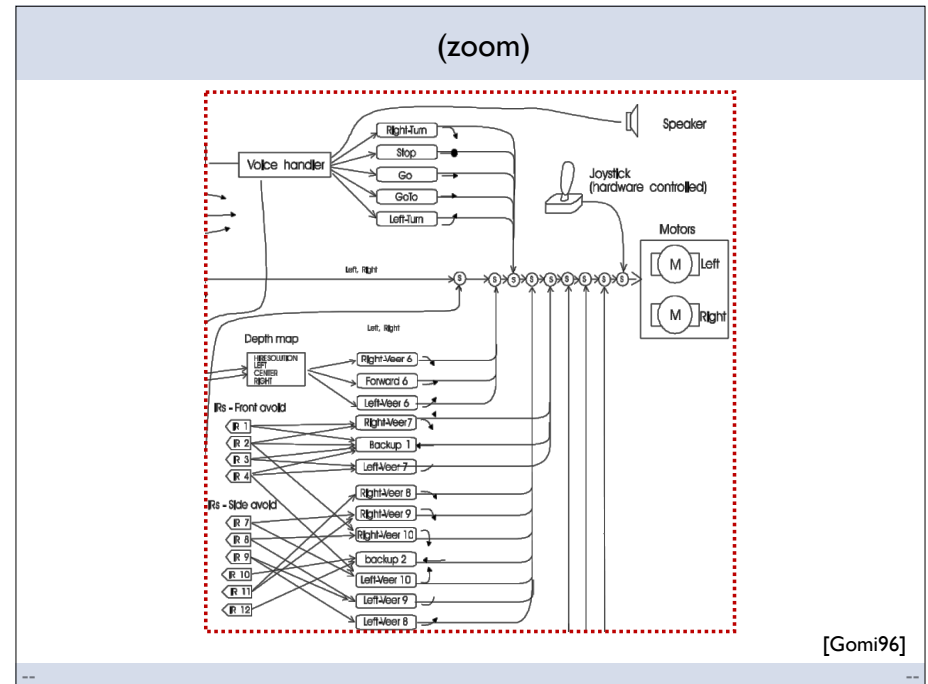
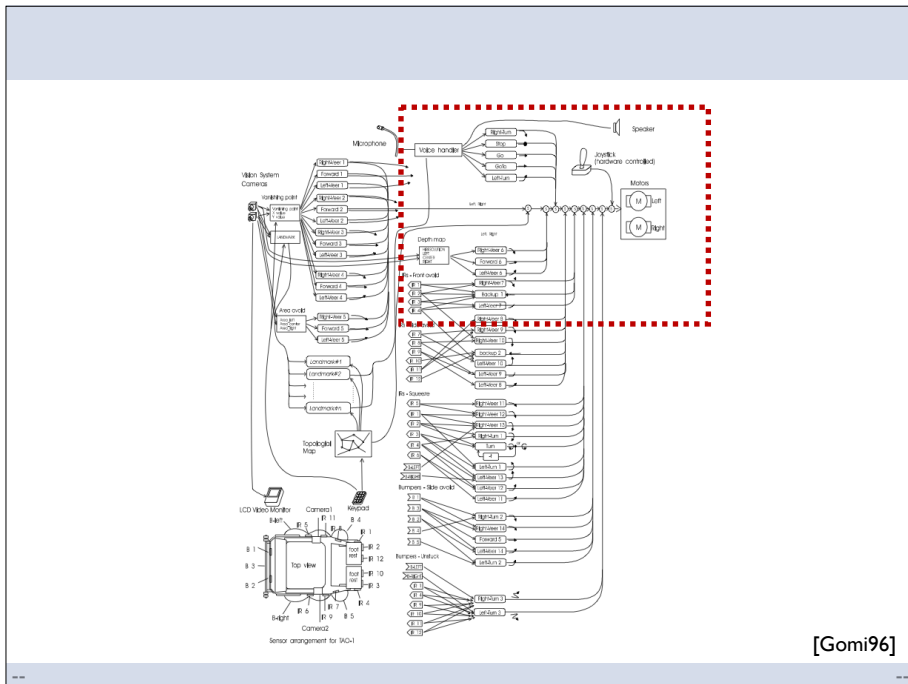
"fast, cheap, and out of control!"



Genghis [Brooks, 1989]

Sélection d'action





Sélection d'action

- Mécanismes de sélection d'action [Arkin98]
 - subsomption: ordonnancement des priorités
 - action selection: chaque comportement donne un niveau d'activation
 - voting: l'action la plus "votée" est exécutée
- Quelques notions importantes:
 - Persistence (permet d'éviter oscillation comportementale)
 - Etats internes (permet de changer la dynamique au cours du temps)
 - Orthogonalité entre comportements (clustering parfait)

Synthèse sur les archi. comportementales

- Avantages:
 - conception incrémentale
 - comportement de base pas limité (mémoire)
 - pas de contrôle centralisé
- Inconvénients:
 - parfois, il est nécessaire de planifier
 - pas d'apprentissage

=> architectures hybrides

Apprentissage

- Apprentissage par renforcement
 - espace d'états-actions = senseurs-comportements
 - Progress estimator [mataric94]
 - décomposition du problème, une récompense par étape
- Apprentissage sur le réseau des comportements
 - lien entre fonction d'activation et comportements
- Apprentissage sur l'historique des comportements
 - probabilité de transition entre états
 - identifier les meilleures séquences

Synthèse

- Points abordés
 - Architecture de contrôle réactive
 - Architecture comportementale
 - Robot seul et groupe de robots
- Les points essentiels:
 - Contrôle réactif vs. délibératif
 - Les véhicules de Braitenberg
 - Architecture de subsomption