

Les Robots humanoïdes :

Un **robot humanoïde** est un robot dont l'apparence générale rappelle celle d'un corps humain. Généralement, les robots humanoïdes ont un torse avec une tête, deux bras et deux jambes, bien que certains modèles ne représentent qu'une partie du corps, par exemple à partir de la taille. Certains robots humanoïdes peuvent avoir un « visage », avec des « yeux » et une « bouche ».

Un robot est un dispositif autonome composé d'éléments mécaniques articulés et d'éléments électroniques :

- **Partie décisionnelle : ordinateur, microcontrôleurs, contrôleur**, c'est l'unité de programmation, le cerveau du robot.

La programmation indique au robot les mouvements qu'il doit réaliser. Elle peut s'effectuer en amont, sur ordinateur, ou pendant l'utilisation, par une interface humain-machine (panneau de commande, télécommande) ;

- **Partie Motrice : des actionneurs**, qui permettent la mise en mouvement du robot et la réalisation des interactions (avancer, reculer, attraper un objet...).

Principalement, les robots ont des actionneurs électriques :

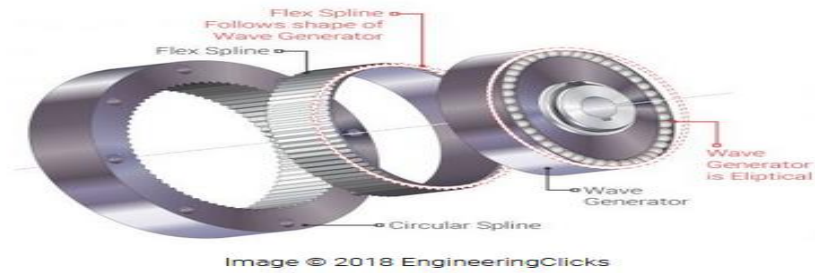
Moteur électrique :

- Moteur électrique à courant continu (MCC)
- Synchrone ou asynchrone : robotique mobile
- Brushless : drone, robots bipèdes

→ On note que les moteurs électriques tournent à grande vitesse avec un couple faible.

→ afin d'avoir une vitesse de rotation faible et un grand couple, on utilise un réducteur (Réducteur à engrenage, harmonic drive)

*Harmonic drive est un engrenage à onde de déformation, il présente : un jeu très réduit ; des rapports de transmission importants pour un mécanisme compact et très ; un couple transmissible important ; des arbres d'entrée et de sortie coaxiaux.



- **Structure Mécanique : ossature, réducteurs, ...** La structure est principalement métallique.

- **Partie sensitive : des capteurs**, afin de détecter des informations pour pouvoir réagir en interaction avec l'environnement. Ils sont assimilables à des organes de perception (vision, toucher, capteur d'efforts...)

* Capteurs proprioceptifs : détectent des informations l'état du robot.

* Capteurs extéroceptifs : détectent des informations sur l'état de l'environnement.

Exemple Robot NAO :



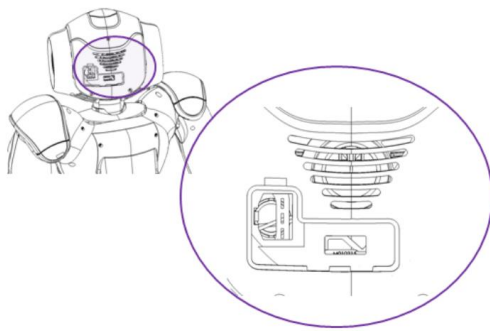
Robot Nao créé par SoftBank Robotics

Le robot Nao a 25 degrés de liberté qui lui permettent de bouger et de s'adapter au monde qui l'entoure. Il dispose de 7 capteurs tactiles répartis répartis sur la tête, les mains et les pieds, des sonars et une

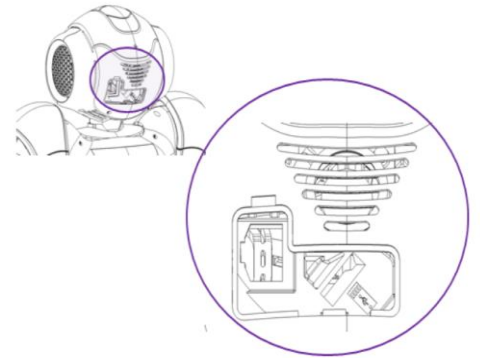
centrale inertielle pour percevoir son environnement et se repérer dans l'espace, de 4 micros directionnels et des hauts parleurs pour interagir avec les humains et de 2 caméras 2D pour reconnaître les formes, les objets et même les personnes.

Il existe plusieurs versions du corps NAO, ces versions sont différenciées par le design dans l'arrière de la tête.

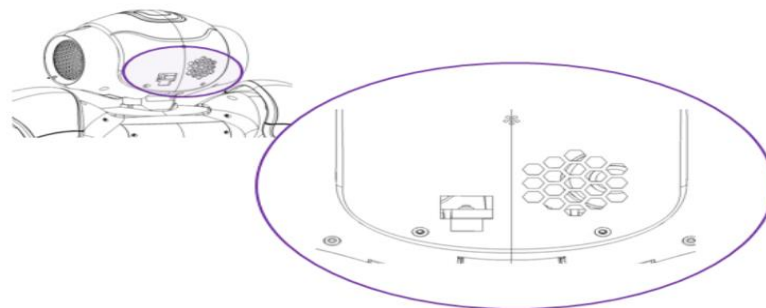
NAO V4



NAO V3.3



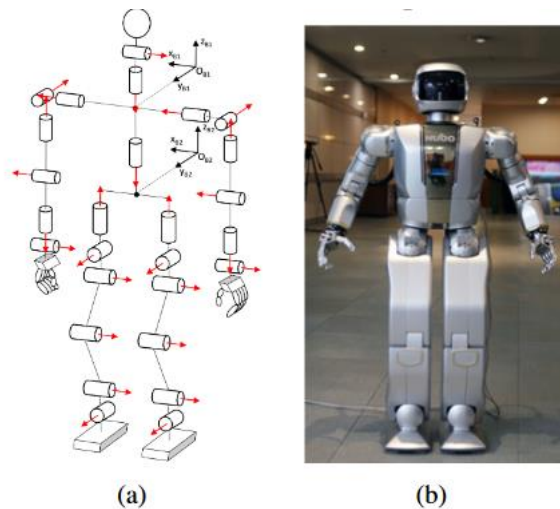
NAO V3+, V3.2



Modélisation du robot :

Un robot est composé de différents corps reliés entre eux par des articulations. On attribue à chaque corps un repère. En définissant également un repère de référence : le repère monde.

On considère des articulations virtuelles entre le repère monde et le repère virtuelle, pour pouvoir localiser le robot dans son environnement.



Robot humanoïde Hubo KHR-4

Source: Closed-Form Inverse Kinematic Joint Solution for Humanoid Robots de Muhammad A. Ali, H. Andy Park, and C. S. George Lee

La conception et la commande des robots nécessitent le calcul de certains modèles mathématiques, tels que :

Modèle Géométrique Direct (MGD)

En robotique on considère deux espaces :

- L'espace articulaire noté q
- L'espace cartésien noté X : ensemble de positions des différents corps/repères.

$$X = \text{MGD}(q)$$

Pour les robots séries ou arborescent, le MGD se calcule de manière récursive en partant d'un repère connu vers les repères souhaités.

Modèle Cinématique Direct (MCD)

Le MCD permet de calculer la vitesse (la dérivée temporelle de X) par rapport aux positions et vitesses articulaires.

$$\dot{X} = \frac{\partial \text{MGD}(q)}{\partial t}$$

Modèle géométriques et cinématiques inverses (MGI,MCI)

Le modèle géométrique inverse permet de calculer les valeurs articulaires q en fonction des poses de X .

$$q = MGI(X)$$

Le modèle cinématique inverse permet de calculer les vitesses articulaires en fonctions des vitesses de poses et des valeurs articulaires q .

$$\dot{q} = MCI(\dot{X}, q)$$

Le modèle dynamique inverse (MDI) :

Le MDI permet de calculer les couples articulaires en fonctions des positions, vitesses et accélérations et des efforts extérieurs.

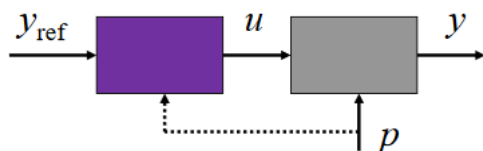
Utilisation des modèles

On distingue 4 types d'utilisation des modèles :

- Visualisation/vérification : MGD, MCD.
- Contrôle/commande des robots : MGD, MCI, MDI.
- Planification : MGD, MGI, MCD, MDD.
- Simulation : MGD, MCD, MDD.

[Agir sur un système : la commande en chaine directe ou indirecte \(open-loop/closed-loop control\)](#)

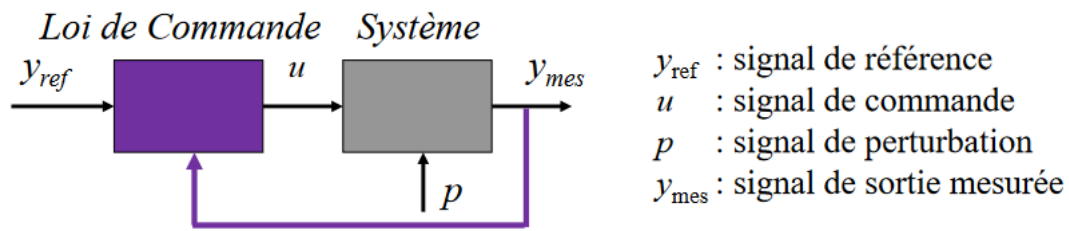
La commande en boucle ouverte :



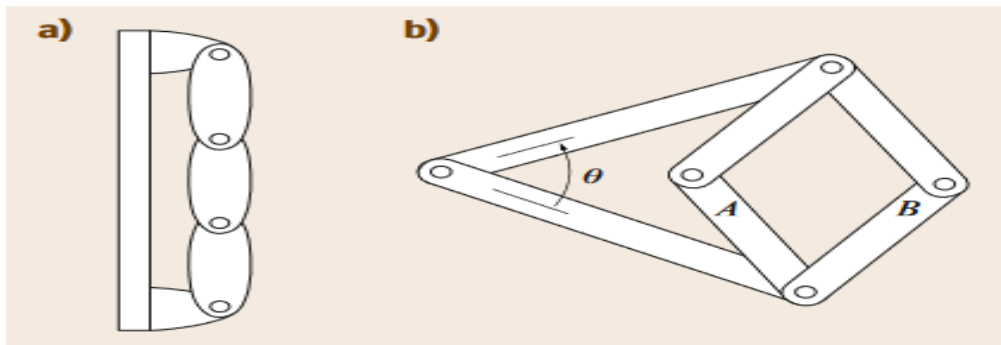
- ➔ Nécessite moins de capteurs
- ➔ Commande calculable hors-ligne

La commande en boucle fermée :

Vérification de l'effet du signal de commande appliquée au système (comparaison des valeurs désirée et mesurée de la sortie à asservir) pour éventuellement en modifier la valeur. On parle aussi de commande par rétroaction (feedback en anglais) ou de commande par contre-réaction.



- ➔ Rejet de l'effet des perturbations
- ➔ Atténuation de l'effet d'une connaissance imparfaite du système
- ➔ Stabilise la sortie d'un système instable
- La contre-réaction permet de « robustifier » le fonctionnement en le rendant moins sensible aux incertitudes.



Système closed-loop pathologique

Exemple d'un algorithme pour calculer les contraintes d'une boucle fermée :

```

inputs: model, RNEA partial results
outputs: L, l
model data:  $N_B, p(i), N_J, p(k), s(k), LB(i),$ 
 $X_{L1}(k), X_{L2}(k), K_p, K_v$ 
RNEA data:  $\Phi_i, {}^iX_{p(i)}, \mathbf{v}_{p(k)}, \mathbf{v}_{s(k)}, \mathbf{a}_{p(k)}^{vp}, \mathbf{a}_{s(k)}^{vp}$ 
for  $i = 1$  to  $N_B$  do
  if  $p(i) \neq 0$  then
     ${}^iX_0 = {}^iX_{p(i)} {}^{p(i)}X_0$ 
  end
  if  $LB(i) \neq \text{null}$  then
     ${}^0\Phi_i = {}^iX_0^{-1} \Phi_i$ 
  end
end
 $L = \mathbf{0}$ 
for  $k = N_B + 1$  to  $N_J$  do
   $i = p(k)$ 
   $j = s(k)$ 
  while  $i \neq j$  do
    if  $i > j$  then
       $L_{k,i} = -{}^0\Phi_i$ 
       $i = p(i)$ 
    else
       $L_{k,j} = {}^0\Phi_j$ 
       $j = p(j)$ 
    end
  end
   $\mathbf{a}_e = {}^{s(k)}X_0^{-1} \mathbf{a}_{s(k)}^{vp} - {}^{p(k)}X_0^{-1} \mathbf{a}_{p(k)}^{vp}$ 
   $\mathbf{v}_e = {}^{s(k)}X_0^{-1} \mathbf{v}_{s(k)} - {}^{p(k)}X_0^{-1} \mathbf{v}_{p(k)}$ 
   $\mathbf{p}_e = \text{x\_to\_vec}({}^{p(k)}X_0^{-1} X_{L1}^{-1}(k) X_{L2}(k) {}^{s(k)}X_0)$ 
   $\mathbf{l}_k = -\mathbf{a}_e - K_v \mathbf{v}_e - K_p \mathbf{p}_e$ 
end

```

Source: Springer Handbook of Robotics de Siciliano et Khatib.

Architecture des robots :

L'architecture des robots est faite de façon à faciliter l'exécution simultanée des comportements d'accomplissement de tâches.

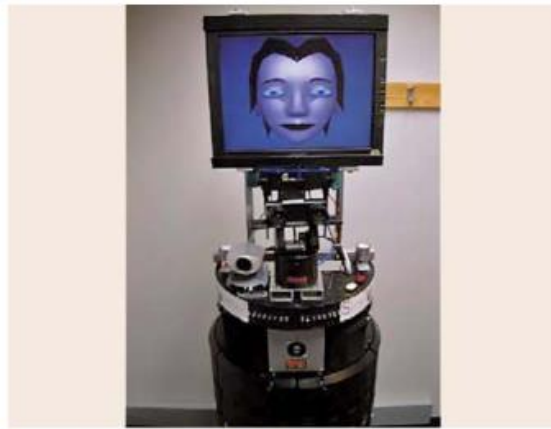
Une architecture propose une méthode de définition et d'organisation des différents composants qui sont nécessaires à la mise en place d'un robot. Par exemple, elle précisera les couches s'il y a lieu, les fonctions satisfaites à leur niveau, les contraintes temporelles qui leur sont liées, etc.

Cas d'étude : le robot GRACE

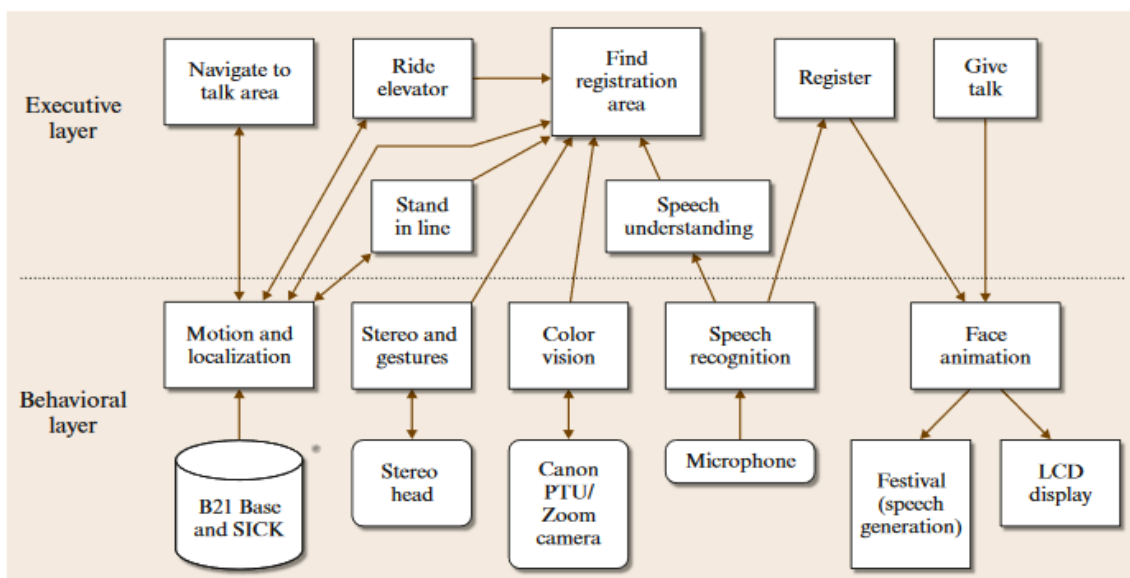
Le robot GRACE avait gagné le challenge mis par l'AAAI (Association for the Advancement of Artificial Intelligence), le challenge consistait à ce qu'un robot assiste à la conférence nationale en temps que participant, retrouve le bureau des inscriptions afin qu'il s'inscrive lui-même pour la conférence. Le robot sera ensuite fourni d'une carte qu'il devrait utiliser afin de retrouver un lieu spécifique dans un temps indiqué et de faire ensuite un discours technique sur lui-même.

Le design architectural du robot était particulièrement important vu la complexité de la tâche. Le robot devait intégrer différentes techniques, notamment la localisation dans un endroit dynamique, déplacement en toute sécurité dans la présence de plusieurs personnes, planning du chemin, suivi visuel des gens et des signes, reconnaissance des gestes et des visages, comprendre le dialogue et dialoguer, génération d'un discours et interagir avec les humains.

Le robot est conçu sur une interface du monde réel (RWI), et doté d'un visage expressif animé par un ordinateur et projeté sur un écran LCD. Il dispose aussi d'un scanner laser qui donne un champ de vue de 180°, plusieurs caméra (PTU, CANON), Microphone et d'un software générateur de discours.



Structure architecturale du robot GRACE :



Bibliographie :

- <https://www.youtube.com/watch?v=0FISZZXR5Mk&feature=youtu.be> (cours de M. Lengagne)
- <https://www.youtube.com/watch?v=N51wHvE6Tvo&feature=youtu.be> (cours de M. Lengagne)
- Springer Handbook of Robotics de Siciliano et Khatib.