

METODE INTELIGENTE DE REZOLVARE A PROBLEMELOR REALE



Laura Dioşan
Tema 5

Fundamentele și principiile manipulării roboților

- Definire
- Tipologie
- Domenii de utilizare a roboților
- Principiile manipulării roboților
 - Roboți mobili și mișcările lor
 - Roboți și percepția lor
 - Roboți și localizarea lor
 - Roboți și navigarea lor

Robot

- Robot

- Termen derivat din cuvântul ceh "robot"=muncă (silnică)

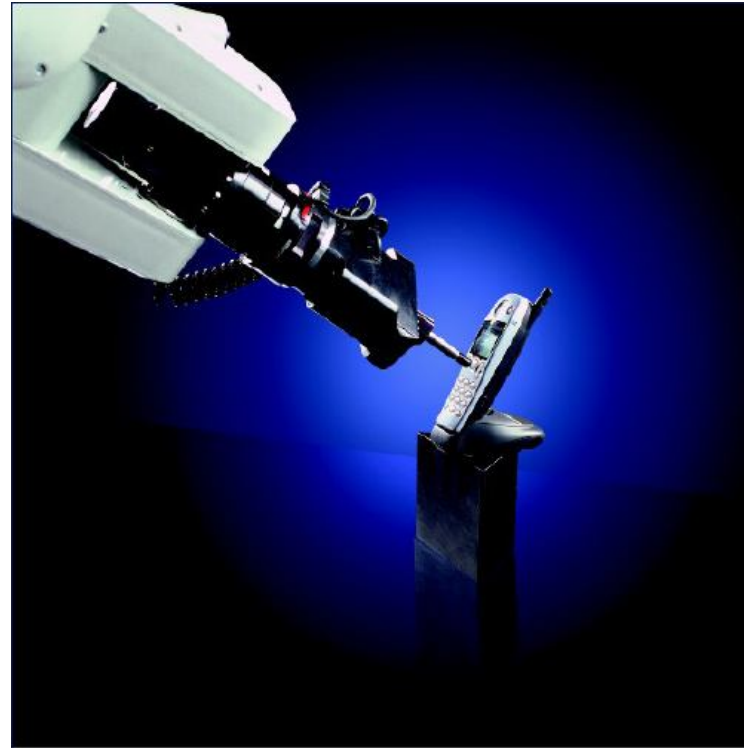
- Definiție (a Institutului American de Robotică)

- *A reprogrammable, multifunctional manipulator designed to move material, parts, tools, or specialized devices through various programmed motions for the performance of a variety of tasks*

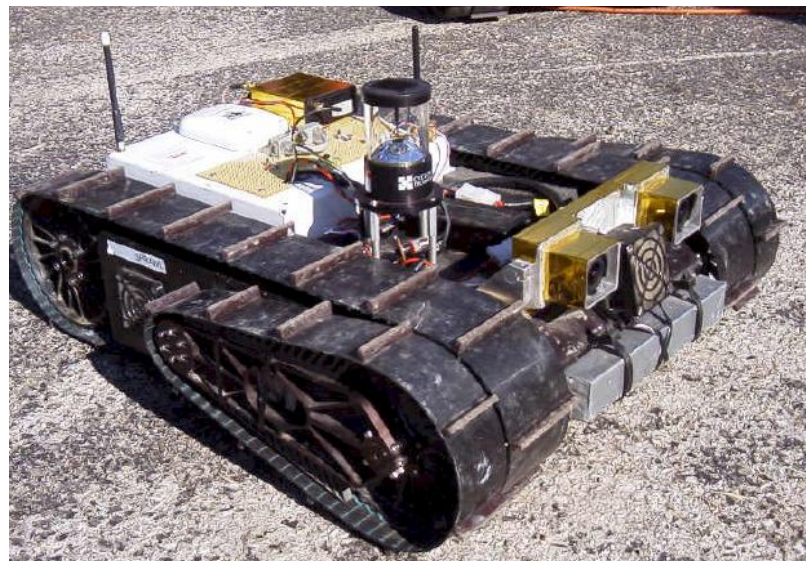
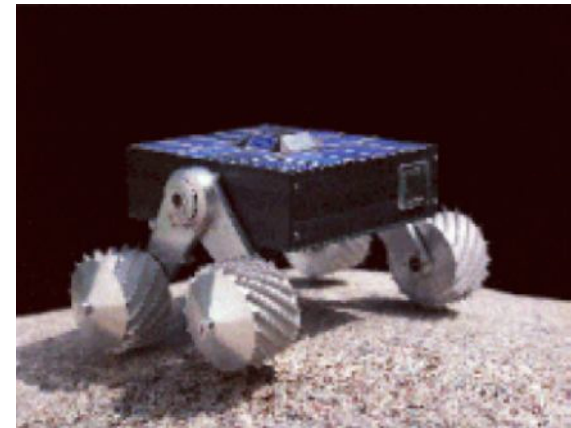
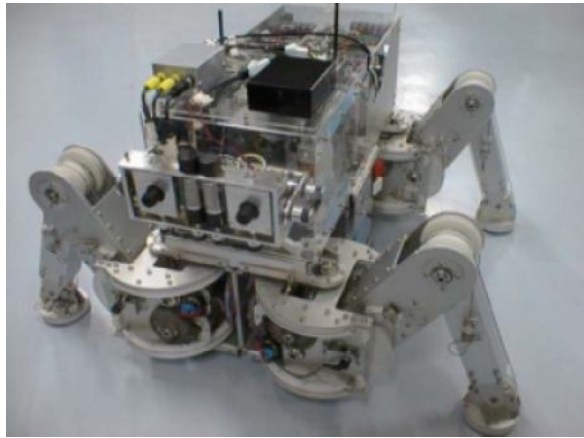
Roboți – tipologie

- Tipuri de roboți
 - Manipulatori
 - Roboți mobili
 - Cu roți
 - Cu picioare
 - De amuzament
 - Educaționali
 - Autonomi (submarine, sateliți)

Roboți manipulatori



Roboți mobili



Roboți de amuzament



Domenii de utilizare a roboților

- Sarcini periculoase pentru oameni
 - Manevrarea substanțelor chimice
- Sarcini repetitive, plictisitoare sau care presupun multă muncă
 - Sudură

Principiile manipulării roboților

- Întrebări fundamentale ale roboților mobili:
 - Cine sunt?
 - Cum funcționez? → Anatomia și mobilitatea roboților
 - Ce este în jurul meu?
 - Interpretarea senzorială: ce obiecte se află în vecinătatea robotului? → Roboți și percepția lor
 - Unde mă aflu?
 - Localizare: determinarea poziției pe o hartă (dată sau construită de către robot) → Roboți și localizarea lor
 - Unde trebuie să ajung?
 - Construirea hărții: cum se integrează informația primită de la senzori cu mișcările robotului? → Roboți și localizarea lor
 - Cum ajung la destinație?
 - Planificarea deplasării: stabilirea acțiunilor necesare atingerii țintei propuse → Roboți și navigarea lor

Anatomia și mobilitatea roboților

- Anatomia unui robot → 3 sisteme de bază
 - Sistemul mecanic → mobilitatea
 - Sistemul senzorial → percepția
 - Sistemul de control → deciziile

- Mobilitatea unui robot
 - Tipologie
 - Reprezentarea poziției și a orientării
 - Mișcarea efectivă

Anatomia și mobilitatea roboților

□ Mobilitatea unui robot

■ Tipologie

□ Scopul mișcării

- Mișcări de brațe
- Locomoție
 - Cu ajutorul roților, picioarelor, unei elice, aripilor
 - Prin târâre, alunecare, alergare, sărire, mers (biped), rostogolire
- Care este mediul în care se desfășoară mișcarea?
 - Pe sol sau diferite suprafețe solide (deplasare)
 - În aer sau apă (zbor sau înot)

Anatomia și mobilitatea roboților

- Mobilitatea unui robot
 - Reprezentarea poziției și a orientării
 - Reprezentarea poziției
 - Reprezentarea orientării
 - Combinarea translației cu orientarea (rotația)

Anatomia și mobilitatea roboților

□ Mobilitatea unui robot

■ Reprezentarea poziției și a orientării

□ Reprezentare poziției → cu ajutorul diferitelor sisteme de coordonate:

■ carteziene

- (x,y) , (x,y,z)
- spațiul Euclidian

■ polare/complexe

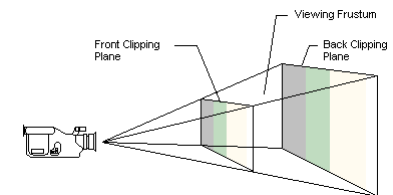
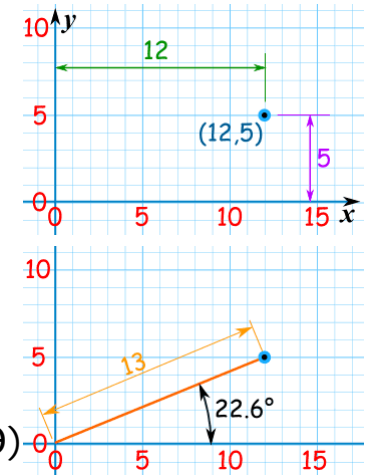
- $(r, \theta) = (\sqrt{x^2+y^2}, \arctg(y/x))$ sau
- $(x,y) = (r \cdot \cos(\theta), r \cdot \sin(\theta))$
- $(r, \theta, \varphi) = (\sqrt{x^2+y^2+z^2}, \arccos(z/r), \arctg(y/x))$ sau
- $(x,y,z) = (r \cdot \cos(\theta) \cdot \sin(\varphi), r \cdot \sin(\theta) \cdot \sin(\varphi), r \cdot \cos(\theta))$

■ omogene

- $[x,y,1] = \{(ax, ay, a), a - nr \text{ real}\}$
- $[x,y,z,1] = \{(ax, ay, az, a), a - nr \text{ real}\}$

■ quaternioniene/hiper-complexe

- $q = s + v = s + v_1i + v_2j + v_3k$, unde $i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1$
- reprezentarea rotațiilor



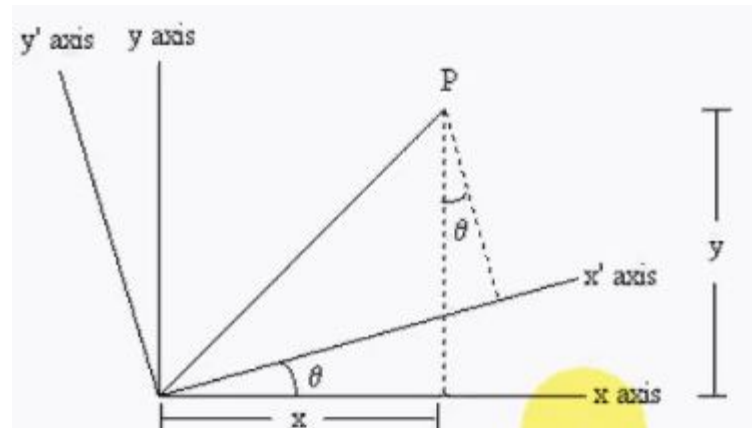
Anatomia și mobilitatea roboților

□ Mobilitatea unui robot

■ Reprezentarea poziției și a orientării

- Reprezentarea orientării → cu ajutorul unor sisteme
 - matricii ortonormale (matricea de rotație)

$$\begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{pmatrix}$$



Anatomia și mobilitatea roboților

□ Mobilitatea unui robot

■ Reprezentarea poziției și a orientării

□ Reprezentarea orientării → cu ajutorul unor sisteme

- matricii ortonormale (matricea de rotație)
- a 3 unghiuri (unghiuri Euler)

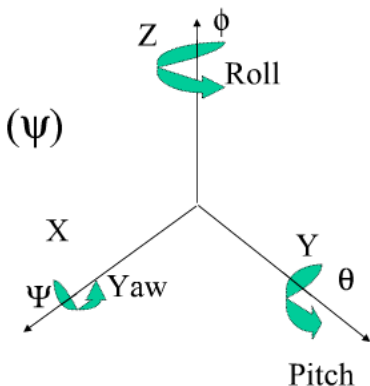
$$\mathbf{R} = \mathbf{R}_z(\phi)\mathbf{R}_y(\theta)\mathbf{R}_x(\psi)$$

$$\mathbf{R}_x(\theta) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{R}_y(\theta) = \begin{pmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{R}_z(\theta) = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{R}_{xyz}(\phi\theta\psi) = \mathbf{R}_z(\phi) \mathbf{R}_y(\theta) \mathbf{R}_x(\psi)$$



Anatomia și mobilitatea roboților

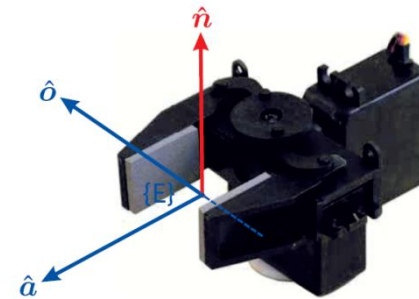
□ Mobilitatea unui robot

■ Reprezentarea poziției și a orientării

□ Reprezentarea orientării → cu ajutorul unor sisteme

- matricii ortonormale (matricea de rotație)
- a 3 unghiuri (unghiuri Euler sau unghiuri Cardaniene)
- a 2 vectori (vector/versor de apropiere și vector/versor de orientare)

$$R = \begin{pmatrix} n_x & o_x & a_x \\ n_y & o_y & a_y \\ n_z & o_z & & a_z \end{pmatrix}$$



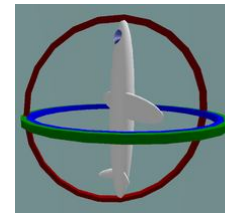
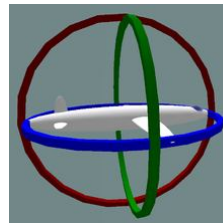
Anatomia și mobilitatea roboților

□ Mobilitatea unui robot

■ Reprezentarea poziției și a orientării

□ Reprezentarea orientării → cu ajutorul unor sisteme

- matricii ortonormale (matricea de rotație)
- a 3 unghiuri (unghiuri Euler sau unghiuri Cardaniene)
- a 2 vectori (vector/versor de apropiere și vector/versor de orientare)
- numerelor hyper-complexe (reprezentare quaternionă)
 - $S = \sin(\phi/2)$ și $C = \cos(\phi/2)$
 - Rotație în jurul axei lui k :
 $O + \text{Rot}(k, \phi) x u = [C + S^* k] x [O + u] x [C - S^* k]$
 - $Q = \text{Rot}(k, \phi) = [C + S^* k]$

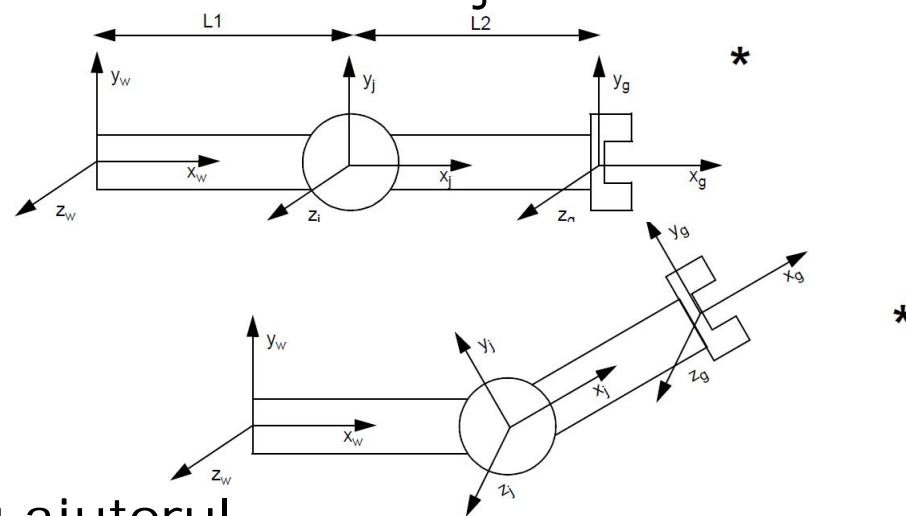


Anatomia și mobilitatea roboților

□ Mobilitatea unui robot

■ Reprezentarea poziției și a orientării

□ Combinarea translației cu orientarea (rotația)



□ cu ajutorul

- perechii de vectori quaternionieni
 - unde $\xi = (t, q)$,
 - $t \in \mathbb{R}^3$ – poziția carteziană a originii
 - $q \in \mathbb{Q}$ – orientarea cadrului
- matricei transformării omogene

$$\xi_1 \oplus \xi_2 = (t_1 + \hat{q}_1 \cdot t_2, \hat{q}_1 \oplus \hat{q}_2)$$

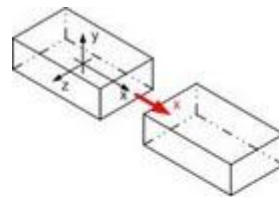
$$\begin{pmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} {}^A R_B & t \\ \mathbf{0}_{1 \times 3} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B_x \\ B_y \\ A_z \\ 1 \end{pmatrix}$$

Anatomia și mobilitatea roboților

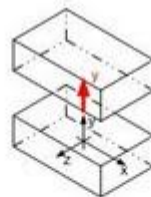
- Mobilitatea unui robot
 - Mișcarea efectivă
 - Gradele de libertate a mișcării
 - Mișcarea cu ajutorul roților
 - Mișcarea (cu ajutorul) brațelor
 - Mișcarea cu ajutorul elicilor
 - Cinematica

Anatomia și mobilitatea roboților

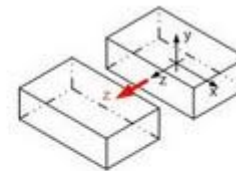
- Mobilitatea unui robot → Mișcarea efectivă
→ Gradele de libertate a mișcării
 - Definiere
 - Numărul și parametrii deplasărilor și/sau rotațiilor care pot fi efectuate
 - Pentru un corp solid paralelipipedic există:
 - 6 grade de libertate:
 - 3 translații (de-a lungul fiecărei axe a sistemului ortogonal)
 - 3 rotații (în jurul fiecărei axe a sistemului ortogonal)



Linear in x-direction



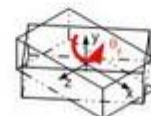
Linear in y-direction



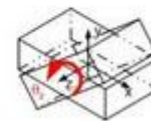
Linear in z-direction



Rotation around x-axis



Rotation around y-axis



Rotation around z-axis

Anatomia și mobilitatea roboților

Mobilitatea unui robot → Mișcarea efectivă → Gradele de libertate a mișcării

□ Definiere

- Locul în care un robot se poate îndoi (plia), rota sau translata

□ Fiecare GDL necesită (în general) un motorăș

- într-un spațiu de lucru

□ 2D → 3 GDL:

- 2 translații pe O_x și O_y și o rotație

□ 3D → 6 GDL:

- 3 translații pe O_x , O_y , O_z

- *Heave* – deplasare sus-jos
- *Surge* – deplasare înainte-înapoi
- *Sway* – deplasare stânga-dreapta

- și 3 rotații

- *Yaw* – viraj stânga și dreapta (rotirea)
- *Roll* – rostogolire (rularea)
- *Pitch* – răsturnare față-spate (înălțimea)

- de către un corp sau mecanism

□ Mecanisme holonomice

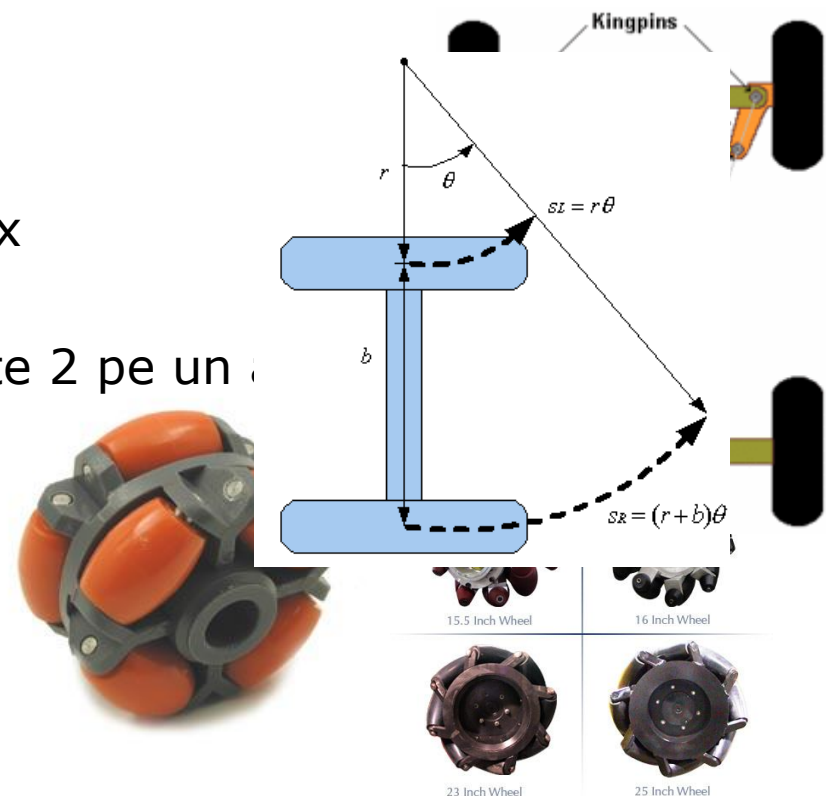
- Efectuează mișcări controlate în oricare GDL

□ Mecanisme ne-holomonice

- Efectuează mișcări controlate doar în anumite GDL

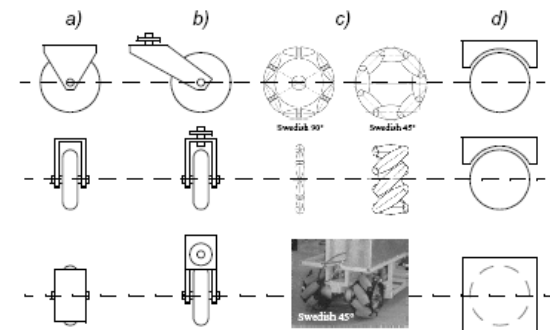
Anatomia și mobilitatea roboților

- Mobilitatea unui robot → Mișcarea efectivă
→ Mișcarea cu ajutorul roților
 - Model de mișcare bazat pe viteza roților
 - Mecanisme de direcție (controlul și schimbarea direcției de mișcare)
 - Sincron
 - Diferențial
 - Clasic → 2 roți pe un ax
 - Șenile
 - Ackerman → 4 roți, câte 2 pe un ax
 - 2 din ele se pot roti
 - Omnidirecțional



Anatomia și mobilitatea roboților

- Mobilitatea unui robot → Mișcarea efectivă
→ Mișcarea cu ajutorul roților
 - Tipuri de roți
 - Roata standard
 - 2 GDL: în jurul axului roții (rotație) și punctul de contact (translație)
 - Roata de tip castor
 - 3 GDL: în jurul axului roții (rotație), punctul de contact (translație), în jurul axului castor (rotație)
 - Roata de tip Swedish
 - 3 GDL: în jurul axului roții (rotație), în jurul *roller*-ului și punctul de contact (translație)
 - Roata de tip sferă










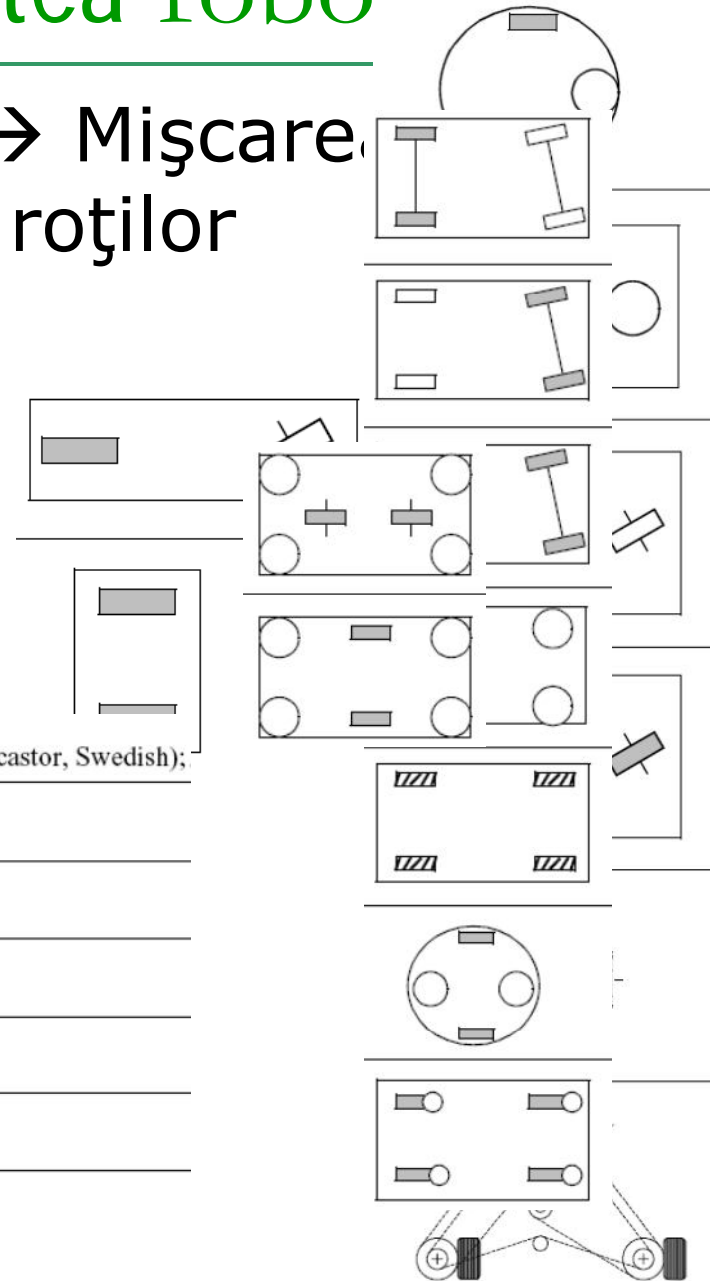
Anatomia și mobilitatea roboților

□ Mobilitatea unui robot → Mișcare
 → Mișcarea cu ajutorul roților

■ Nr și poziționarea roților

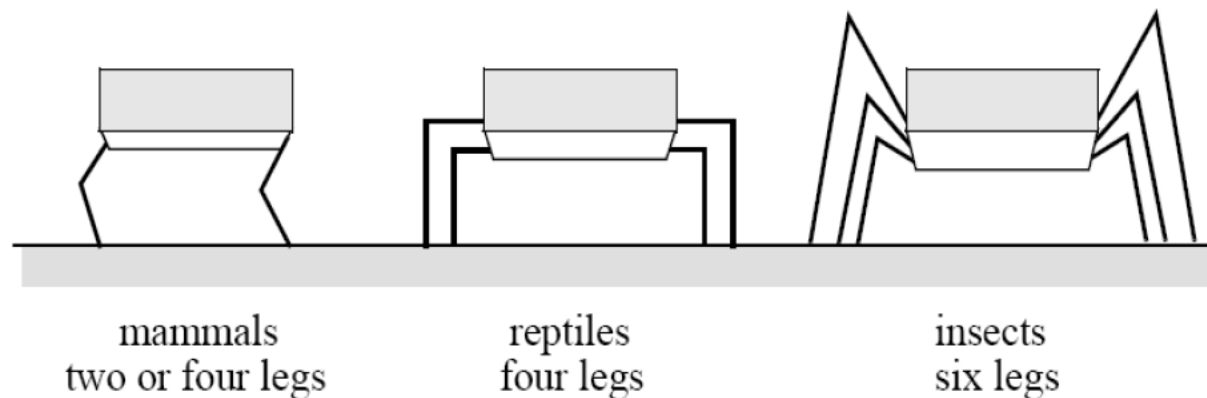
- 2 roți
- 3 roți
- 4 roți
- 6 roți

	unpowered omnidirectional wheel (spherical, castor, Swedish);
	motorized Swedish wheel (Stanford wheel);
	unpowered standard wheel;
	motorized standard wheel;
	motorized and steered castor wheel;
	steered standard wheel;
	connected wheels.



Anatomia și mobilitatea roboților

- Mobilitatea unui robot → Mișcarea efectivă → Mișcarea cu ajutorul brațelor (picioarelor)
 - Braț/picior
 - Format din mai multe segmente și articulații
 - Nr gradelor de libertate depinde de nr de articulații
 - Model de mișcare bazat pe poziția, orientarea și viteza segmentelor și articulațiilor
 - Locomoția facilă implică cât mai multe brațe
 - mai multe puncte de contact
 - pt deplasare sunt necesare (minim) 4 sau 6 brațe
 - Mecanică complexă



Anatomia și mobilitatea roboților

- Mobilitatea unui robot → Mișcarea efectivă
→ Mișcarea cu ajutorul brațelor (picioarelor)

- Nr picioarelor

- 1

- Raibert hopper

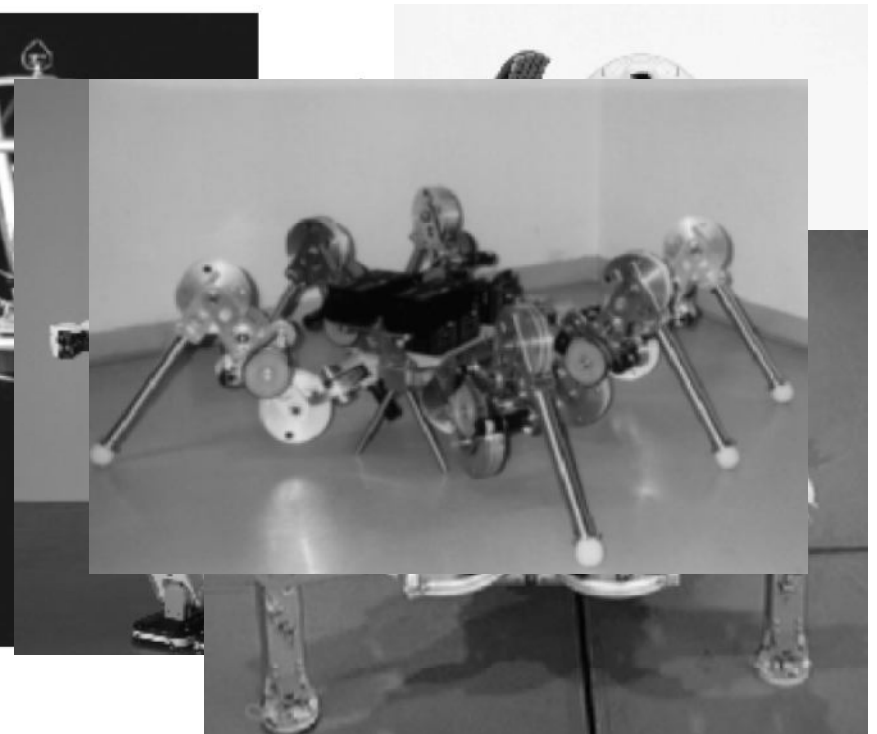
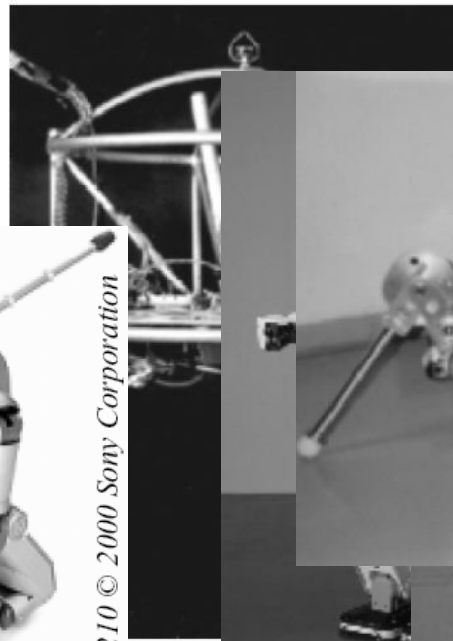
- 2

- Roboți bipezi (H

- 4

- Aibo (Sony), Tita

- 6



Anatomia și mobilitatea roboților

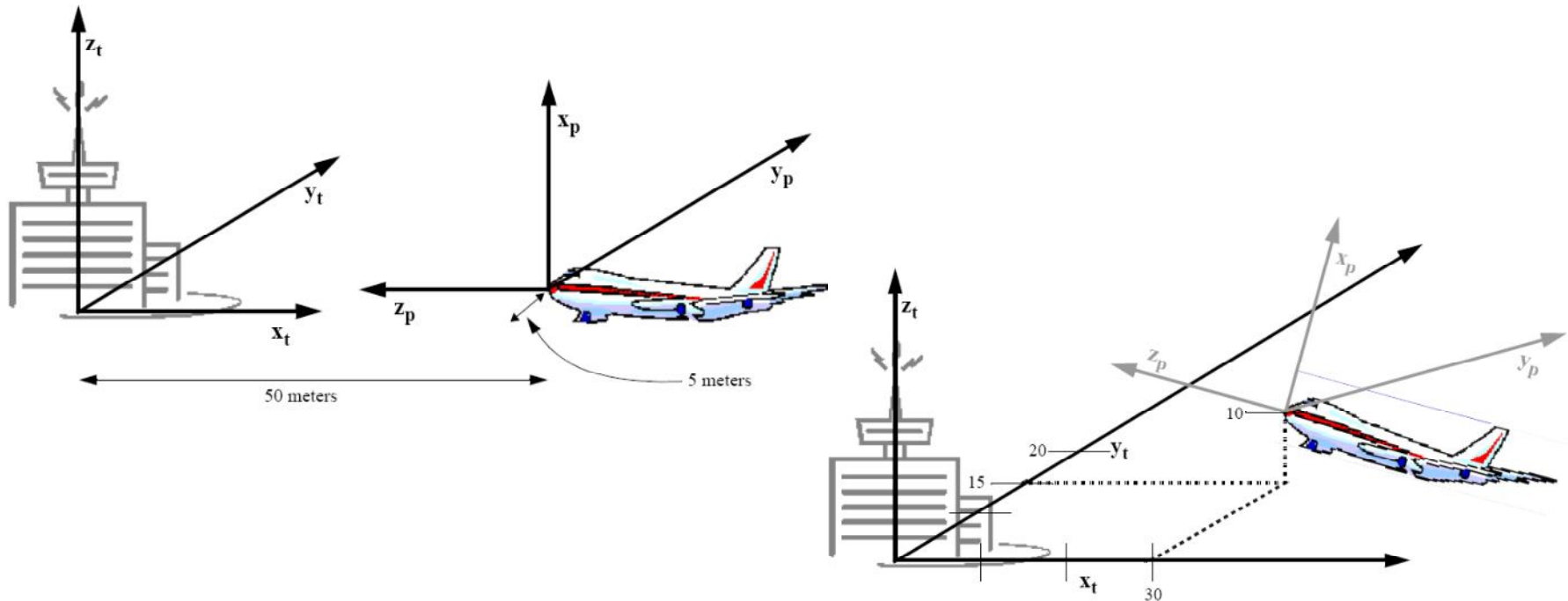
- Mobilitatea unui robot → Mișcarea efectivă
 - Mișcarea cu ajutorul elicilor/aripilor
 - Model de mișcare bazat pe forțe și rotații
 - Cum are loc mișcarea
 - Prin zbor
 - Prin înot

Anatomia și mobilitatea roboților

- Mobilitatea unui robot → Mișcarea efectivă
→ Cinematica roboților
 - Definiere
 - Descriere spațială a mișcării roboților fără a considera și cauzele care au determinat mișcarea
 - Poziționarea robotului
 - Distanță → drumul parcurs efectiv
 - $r=r(t)$
 - Deplasare (poziționare) → lungimea segmentului care unește punctul de start cu punctul final
$$s = \int_{t_1}^{t_2} |dr| = \int_{t_1}^{t_2} ds = \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2} = \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dz}{dt}\right)^2} dt$$
 - Viteză
 - Vectorial → *velocity* $v=dr/dt$
 - Scalar → *speed* $|v| =ds/dt$
 - Accelerație → $a=dv/dt$

Anatomia și mobilitatea roboților

- Mobilitatea unui robot → Mișcarea efectivă
→ Cinematica roboților
 - Poziționarea robotului
 - Sisteme de coordonate (cadre):
 - Sistem general (global, inerțial, inițial)
 - Sistem specific (local, al robotului, al roții, al articulației)



Anatomia și mobilitatea roboților

□ Mobilitatea unui robot → Mișcarea efectivă → Cinematica roboților

■ Poziționarea robotului

□ Plasamentul în cadru

■ Poziția unui punct

- În spațiul 2D: $[x \ y \ 1]^T$
- În spațiul 3D: $[x \ y \ z \ 1]^T$

■ Poziția relativă la cadrul inerțial

- $\xi_i = [x \ y \ \theta]^T$

■ Poziția relativă la cadrul robotului

□ Transformări între cadre

■ Translație

- Multiplicarea poziției cu o matrice de tipul

$$\text{Trans}(a,b,c) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

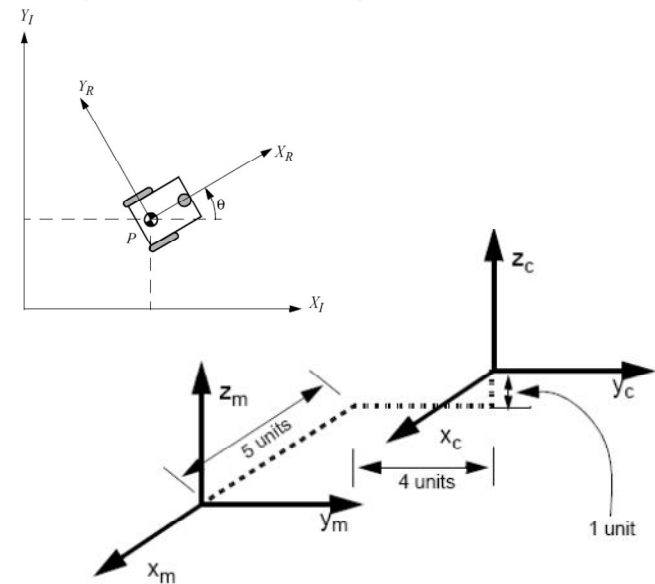
■ Rotație

- Multiplicarea poziției cu o matrice de tipul

$$\text{Rot}(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

■ Translație și rotație

- Multiplicarea poziției cu o matrice de tip translație și cu o matrice de tip rotație



Anatomia și mobilitatea roboților

- Mobilitatea unui robot → Mișcarea efectivă → Cinematica roboților

- Transformări între cadre – exemplu

- Poziția * relativ la gripper: $[4 \ 3 \ 0 \ 1]^T$
 - Poziția * relativ la articulație: $[4+L2 \ 3 \ 0 \ 1]^T$
 - Poziția * relativ la origine: $[4+L1+L2 \ 3 \ 0 \ 1]^T$
 - Transformarea din cadrul general (original) în cadrul articulației

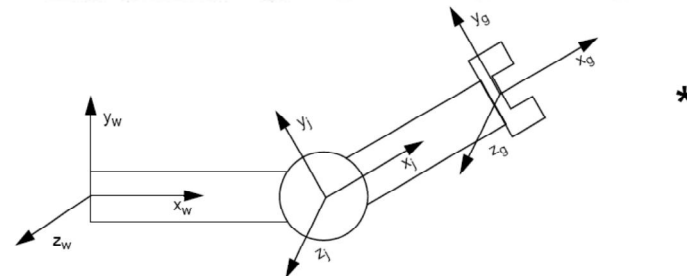
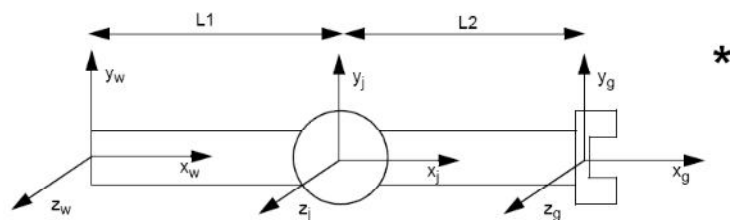
- Trans(L1,0,0) + Rot_z(ψ)

- Multiplicarea cu $\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & L1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \psi & -\sin \Psi & 0 & 0 \\ \sin \Psi & \cos \psi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \psi & -\sin \Psi & 0 & L1 \\ \sin \Psi & \cos \psi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$

- Transformarea din cadrul general (original) în cadrul gripper-ului

- Trans(L1,0,0) + Rot_z(ψ) + Trans(L2,0,0)

- Multiplicarea cu $\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & L1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \cos \psi & -\sin \Psi & 0 & 0 \\ \sin \Psi & \cos \psi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & L2 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \psi & -\sin \Psi & 0 & L2 \cos \psi + L1 \\ \sin \Psi & \cos \psi & 0 & L2 \sin \Psi \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$



Anatomia și mobilitatea roboților

□ Mobilitatea unui robot → Mișcarea efectivă → Cinematica roboților

■ Mișcare liniară

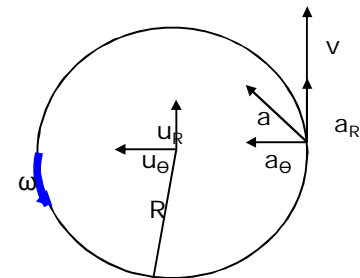
- Poziție r
- Viteză $v = dr/dt$
- Accelerație $a = dv/dt$
- Relații pt mișcarea uniform accelerată:
 - $v(t) = v_0 + at$
 - $r(t) = r_0 + v_0t + at^2/2 = r_0 + (v + v_0)t/2$
 - $v^2 = v_0^2 + 2a(r - r_0)$

■ Mișcare de rotație

- Poziție – sub un unghi Θ față de un sistem de referință
- Viteză (unghiulară) $\omega = d\Theta/dt$
- Accelerație $\alpha = d\omega/dt$
- Relații pt mișcarea de rotație uniform accelerată:
 - $\omega(t) = \omega_0 + \alpha t$
 - $\Theta(t) = \Theta_0 + \omega_0t + \alpha t^2/2 = (\omega + \omega_0)t/2$
 - $\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha(\Theta - \Theta_0)$

■ Mișcare circulară

- Poziția $r(t) = R\mathbf{u}_R(t)$, R – raza cercului
- Viteza $\mathbf{v}(t) = R\omega(t)\mathbf{u}_\Theta$, unde ω – viteza unghiulară
- Accelerația $\mathbf{a}(t) = \mathbf{a}_\Theta(t) + \mathbf{a}_R(t)$

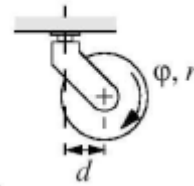


Anatomia și mobilitatea roboților

- Mobilitatea unui robot → Mișcarea efectivă
→ Cinematica roboților

- Mecanismele roților

- Roată standard
- Roată de tip castor
- Roată de tip Swedish
- Roată de tip minge



Anatomia și mobilitatea roboților

□ Mobilitatea unui robot → Mișcarea efectivă
→ Cinematica roboților

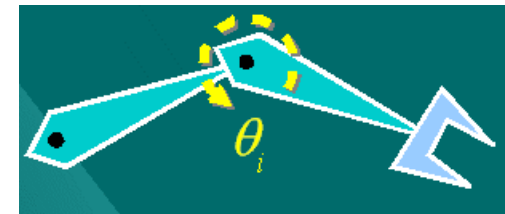
■ Mecanismele brațelor

□ Braț = segmente + articulații

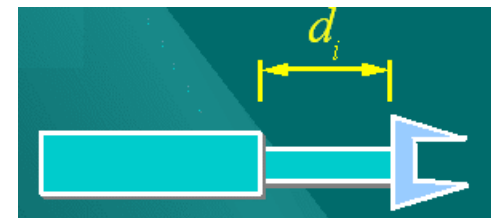
□ Tipuri de articulații

■ Cu 1 GDL

■ Articulație de rotație (de tip balama) → Rotație în jurul unui singur ax



■ Articulație de translație (de tip prismatic) → Mișcare liniară de-a lungul unui ax (extensie sau compresie)

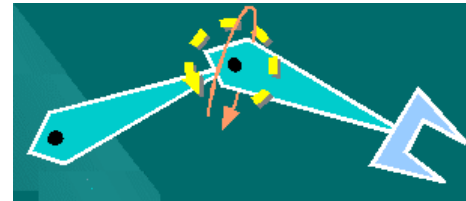


Anatomia și mobilitatea roboților

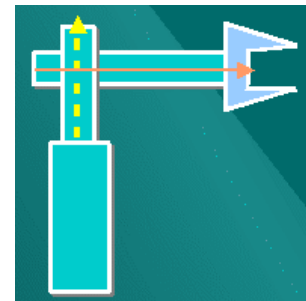
- Mobilitatea unui robot → Mișcarea efectivă
→ Cinematica roboților
 - Mecanismele articulațiilor

- Tipuri de articulații

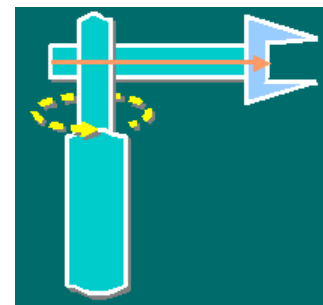
- Cu 2 GDL
 - De tip balama



- De tip planar

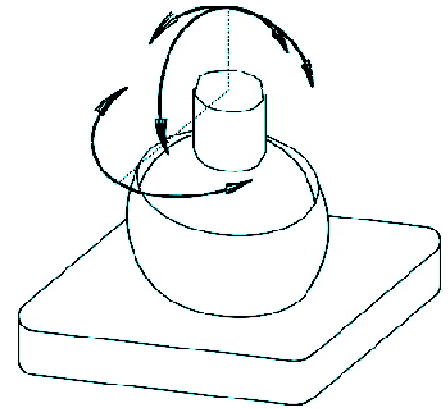


- De tip cilindric



Anatomia și mobilitatea roboților

- Mobilitatea unui robot → Mișcarea efectivă
→ Cinematica roboților
 - Mecanismele articulațiilor
 - Tipuri de articulații
 - Cu 3 GDL
 - De tip sferic → ~ Încheietura mâinii



Anatomia și mobilitatea roboților

- Mobilitatea unui robot → Mișcarea efectivă
→ Cinematica roboților
 - Mecanisme brațelor
 - Braț robotic
 - Segmente (legături) + articulații
 - o configurație q
 - n segmente, fiecare segment cu o anumită lungime (d_i) și o anumită orientare (Θ_i)
 - o țintă x
 - coordonatele carteziene și orientarea
 - Pp. că:
 - fiecare articulație are 1 GDL
 - articulație de translație – deplasarea d
 - articulație de rotație – unghiul Θ
 - Brațul este format din
 - n articulații (de la 1 la n)
 - $n + 1$ segmente (de la 0 la n)
 - Când se mișcă articulația i se mișcă și segmentul i → segmentul 0 este fix (baza)
 - Mai multe segmente → lanț cinetic

Anatomia și mobilitatea roboților

- Mobilitatea unui robot → Mișcarea efectivă
→ Cinematica roboților
 - Mecanismele brațelor → lanțuri cinetice
 - Asociem fiecărei articulații i :
 - o variabilă q_i
 - $q_i = \Theta_i$, dacă articulația i este de rotație
 - $q_i = d_i$, dacă articulația i este de translație
 - un sistem de coordonate $o_i x_i y_i z_i$ → coordonatele segmentului i sunt fixe relativ la acest cadru
 - Sistemul $o_0 x_0 y_0 z_0$ – sistemul inerțial

Anatomia și mobilitatea roboților

- Mobilitatea unui robot → Mișcarea efectivă
→ Cinematica roboților
 - Mecanisme brațelor → lanțuri cinetice
 - Cinematică directă
 - Care este funcția f care transformă (aduce) o anumită configurație q a brațului robotic într-o stare finală x ?
 - Determinarea poziției și orientării robotului în funcție de poziția elementelor și articulațiilor sale
 - Se dă q :
 - Lungimea fiecărui segment
 - Unghiul (deplasarea) fiecărei articulații
 - Să se determine
 - Poziția unui punct (final) de pe braț (efector), adică determinarea unei funcții f care să asigure $f(q) = x$
 - Funcția f reprezintă matricea transformărilor necesare aducerii brațului robotic în ținta x
 - Cinematică indirectă (inversă)
 - Determinarea poziției elementelor și articulațiilor (parametrii articulațiilor) robotului în funcție de poziția robotului (poziția finală a efectorului)
 - Se dau:
 - Lungimea fiecărui segment
 - Poziția unui punct (final) de pe braț (efector)
 - Să se determine
 - Unghiul (deplasarea) fiecărei articulații, respectiv funcția f^{-1} care determină configurația q a brațului robotic necesară pentru a-l poziționa pe acesta într-o stare finală x
 - $f^{-1}(x) = q$

Anatomia și mobilitatea roboților

□ Mobilitatea unui robot → Mișcarea efectivă → Cinematica roboților

■ Mecanismele brațelor → lanțuri cinetice

□ Cinematica directă

- A_i
 - matricea transformării omogene pentru exprimarea poziției și orientării sistemului $o_i x_i y_i z_i$ relativ la sistemul $o_{i-1} x_{i-1} y_{i-1} z_{i-1}$
 - $A_i = A_i(q_i)$
- T_j^i
 - matricea transformării omogene pentru exprimarea poziției și orientării sistemului $o_j x_j y_j z_j$ relativ la sistemul $o_i x_i y_i z_i$
 - $T_j^i = A_{i+1} A_{i+2} \dots A_{j-1} A_j$, pentru $i < j$
 - $T_j^j = I$, pentru $i = j$
 - $T_j^i = (T_j^j)^{-1}$, pentru $i > j$
- Sistemul efectorului relativ la sistemul inerțial
 - $H = \begin{matrix} R_n^0 & O_n^0 \\ 0 & 1 \end{matrix} = T_n^0 = A_1(q_1) A_2(q_2) \dots A_n(q_n)$, unde
 - $A_i = \begin{matrix} R_i^{i-1} & O_i^{i-1} \\ 0 & 1 \end{matrix}$
 - deci,
$$T_j^i = A_{i+1} \dots A_j = \begin{matrix} R_j^i & O_j^i \\ 0 & 1 \end{matrix}$$
 - $R_j^i = R_{i+1}^i \dots R_j^{i-1}$
 - $O_j^i = O_{j-1}^i + R_{j-1}^i O_j^{j-1}$

Anatomia și mobilitatea roboților

□ Mobilitatea unui robot → Mișcarea efectivă
→ Cinematica roboților

■ Mecanismele brațelor → lanțuri cinetice

□ Cinematică directă → Convenția Denavit-Hartenberg

■ $A_i = R_{z, \theta_i} \text{Trans}_{z, d_i} \text{Trans}_{x, a_i} R_{x, \alpha_i} =$

$$\begin{bmatrix} \cos(\Theta_i) & -\sin(\Theta_i)\cos(\alpha_i) & \sin(\Theta_i)\sin(\alpha_i) & a_i\cos(\Theta_i) \\ \sin(\Theta_i) & \cos(\Theta_i)\cos(\alpha_i) & -\cos(\Theta_i)\sin(\alpha_i) & a_i\sin(\Theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

■ unde

- a_i - lungimea segmentului articulației i (constantă)
- α_i – unghiul de răsucire al segmentului articulației i (constantă)
- d_i – deplasarea segmentului articulației i
- Θ_i – unghiul de rotație al articulației i

Anatomia și mobilitatea roboților

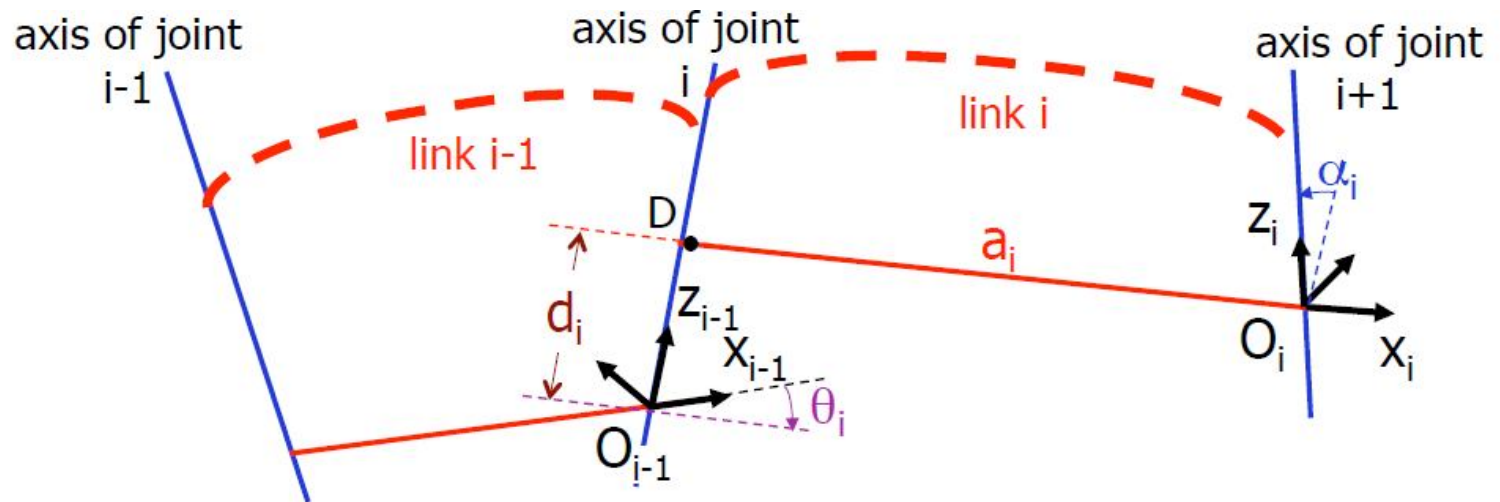
- Mobilitatea unui robot → Mișcarea efectivă
→ Cinematica roboților
 - Mecanismele brațelor → lanțuri cinetice
 - Cinematică directă → procedura pentru cinematica directă
 - Stabilirea sistemelor de coordonate pt fiecare articulație
 - Crearea unui tabel cu parametri
 - Calcularea transformării A_i
 - Calcularea transformării T_n^0

Anatomia și mobilitatea roboților

- Mobilitatea unui robot → Mișcarea efectivă → Cinematica roboților
 - Mecanismele brațelor → lanțuri cinetice → Cinematică directă → procedura pentru cinematica directă
 - Stabilirea sistemelor de coordonate pt fiecare articulație
 - Pp că z_i este axa de acțiune pentru articulația $i+1$
 - Localizarea și stabilirea axelor z_0, \dots, z_{n-1} → Axa de rotație-translație a articulației
 - Stabilirea sistemului de coordonate al bazei → $O_0 \in z_0, x_0, y_0$ – regula mâinii drepte
 - Stabilirea următoarelor $n - 1$ sisteme pe baza sistemelor precedente
 - z_{i-1}, z_i – ne-coplanare → Există o dreaptă $d, d \perp z_{i-1}$ și $d \perp z_i$ a.î. $d \cap z_i = \{O_i\}$ și $d = O_i x_i \rightarrow O_i O_{i-1} = \beta z_{i-1} + (1-\beta)x_i$
 - $z_{i-1} \parallel z_i$ → Există o infinitate de drepte d a.î. $d \perp z_{i-1}$ și $d \perp z_i$ → Se alege d a.î. $O_{i-1} \in d \rightarrow d_i = 0, a_i = 0$
 - $z_{i-1} \cap z_i \neq \emptyset \rightarrow x_i \perp (z_i, z_{i-1}), z_i \cap z_{i-1} = O_i \rightarrow a_i = 0$
 - Stabilirea sistemului final (efector)
 - O_n – mijlocul degetelor
 - $(x_n, y_n, z_n) \rightarrow (n, s, a)$, unde: $n \rightarrow$ normala pe planul (a, s) , $s \rightarrow$ sliding, $a \rightarrow$ approach
 - Observație
 - Ultima mișcare a brațului este o rotație de unghi Θ_n
 - Axele z ale ultimelor 2 articulații coincid
 - → translație pe z_{n-1} cu d_n + rotație în jurul lui z_{n-1} cu Θ_n radiani

Anatomia și mobilitatea roboților

- Mobilitatea unui robot → Mișcarea efectivă → Cinematica roboților
 - Mecanismele brațelor → lanțuri cinetice → Cinematică directă → procedura pentru cinematica directă
 - Crearea unui tabel cu parametrii a_i , d_i , α_i , Θ_i
 - a_i – distanța pe $O_i x_i$ între O_i și $x_i \cap z_{i-1}$
 - d_i – distanța pe $O_{i-1} z_{i-1}$ între O_{i-1} și $x_i \cap z_{i-1}$
 - variabilă, dacă articulația i este prismatică
 - α_i – unghiul între z_{i-1} și z_i măsurat deasupra lui x_i
 - Θ_i – unghiul între x_{i-1} și x_i măsurat deasupra lui z_{i-1}
 - variabil, dacă articulația i este rotativă



Anatomia și mobilitatea roboților

- Mobilitatea unui robot → Mișcarea efectivă → Cinematica roboților
 - Mecanismele brațelor → lanțuri cinetice → Cinematică directă → procedura pentru cinematica directă
 - Crearea unui tabel cu parametrii a_i , d_i , α_i , Θ_i
 - a_i – distanța pe $O_i x_i$ între O_i și $x_i \cap z_{i-1}$
 - d_i – distanța pe $O_{i-1} z_{i-1}$ între O_{i-1} și $x_i \cap z_{i-1}$
 - variabilă, dacă articulația i este prismatică
 - α_i – unghiul între z_{i-1} și z_i măsurat deasupra lui x_i
 - Θ_i – unghiul între x_{i-1} și x_i măsurat deasupra lui z_{i-1}
 - variabil, dacă articulația i este rotativă
 - Calcularea transformării A_i
 - $A_i = R_{z, \Theta_i} \text{Trans}_{z, d_i} \text{Trans}_{x, a_i} R_{x, \alpha_i}$
 - Calcularea transformării T_n^0
 - $T_n^0 = A_1 A_2 \dots A_n$

Anatomia și mobilitatea roboților

□ Mobilitatea unui robot → Mișcarea efectivă
→ Cinematica roboților

■ Mecanismele brațelor → lanțuri cinetice

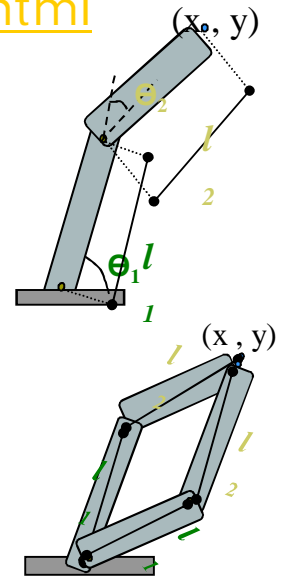
□ Cinematică indirectă

- f este neliniară datorită \sin -usurilor și \cos -inusurilor din rotații
- Tb determinată o aproximare a lui f^{-1}

▪ http://www.petercorke.com/Robotics_Toolbox.html

■ Exemplu de braț robotic cu 2 articulații

- Se dau lungimile segmentelor (l_1 și l_2) și poziția efectorului (x, y)
- Să se determine unghiurile θ_1 și θ_2
- Soluția nu este unică



Anatomia și mobilitatea roboților

- Mobilitatea unui robot → Mișcarea efectivă
→ Cinematica roboților
 - Mecanismele brațelor → lanțuri cinetice
 - Cinematică indirectă → Algoritmi
 - Analitici
 - algoritmi compleți
 - Numerici (aproximativi și iterativi)
 - Newton-Raphson $f(q) - target = 0$
 - Ecuații diferențiale
 - Optimizare ne-liniară

Principiile manipulării roboților

- Întrebări fundamentale ale roboților mobili:
 - Cine sunt?
 - Cum funcționez? → Anatomia și mobilitatea roboților
 - Ce este în jurul meu?
 - Interpretarea senzorialor: ce obiecte se află în vecinătatea robotului? → **Roboți și percepția lor**
 - Unde mă aflu?
 - Localizare: determinarea poziției pe o hartă (dată sau construită de către robot) → Roboți și localizarea lor
 - Unde trebuie să ajung?
 - Construirea hărții: cum se integrează informația primită de la senzori cu mișcările robotului? → Roboți și localizarea lor
 - Cum ajung la destinație?
 - Planificarea deplasării: stabilirea acțiunilor necesare atingerii țintei propuse → Roboți și navigarea lor

Roboții și percepția lor

- Percepția → prin intermediul sistemului senzorial
 - Senzorii
 - scop
 - interacționează cu mediul înconjurător → oferă posibilitatea robotului de a simți obiectele cu care a interacționat
 - întorc un răspuns sistemului de control despre
 - mișcarea membrelor,
 - locomoție – distanța pe care s-au mișcat roboții, viteza sau accelerația cu care au fost făcute aceste mișcări.
 - presiunile și forțele care acționează asupra robotului
 - informații detaliate privind mediul

Roboții și percepția lor

- Percepția → prin intermediul sistemului senzorial
 - Senzorii
 - tipologie
 - În funcție de informația achiziționată
 - Proprioceptivi → informații de la motor, roți, baterie, brațe
 - Exteroceptivi → informații de la mediul în care acționează robotul (distanța față de obstacole, luminozitatea, sunetele)
 - În funcție de modul de lucru
 - Pasivi → măsoară energia mediului (ex. termometrul)
 - Activi → emit energie în mediu și măsoară reacția mediului la această emisie (ex. sonar)
 - În funcție de utilitate
 - Senzori tactili (ex. *bumper*-i, bariere optice)
 - Senzori pt motor/roți (ex. viteza și poziția acestora)
 - Senzori de orientare (ex. giroscop, compas)
 - Senzori de localizare (ex. GPS)
 - Senzori de locomoție (ex. radar pentru viteză)
 - Senzori de vedere (ex. camere foto, web)

Roboți și localizarea lor

- Determinarea poziției robotului în mediul său de acțiune
 - Poziția absolută
 - Poziția relativă la
 - anumite obstacole
 - o hartă
- Deplasarea roboților
 - Bazată pe localizare
 - Cum? → Senzori de mișcare
 - GPS (>1995) → dezavantaje
 - Localizare clasică
 - Bazată pe programare

Roboți și localizarea lor

- Metode clasice de localizare
 - Estimarea drumului de parcurs
 - Bazate pe hartă
 - Utilizarea unei hărți (anterior create)
 - Crearea unei hărți
 - Localizare de tip Monte Carlo

Roboți și localizarea lor

- Metode clasice de localizare → Estimarea drumului de parcurs
 - Estimarea noii poziții robotului pe baza estimării
 - Vitezei de deplasare
 - Direcții de deplasare
 - Timpului de deplasare
 - Etape
 - Modelarea poziției robotului
 - Estimarea poziției
 - Odometrie
 - estimarea poziției robotului relativ la o poziție inițială pe baza unor informații de la senzorii de mișcare
 - Metodă sensibilă la erorile senzorilor
 - Filtre Kalman
 - Filtru = algoritm recursiv care modifică informația utilă
 - Kalman → modificarea estimării optime
 - Implică liniarizarea sistemului de mișcare a robotului (serii Taylor)
 - Erorile asociate sunt de tip Gaussian

Roboți și localizarea lor

- Metode clasice de localizare → bazate pe hartă
 - Reprezentarea hărții
 - Tipuri de localizare → modele probabilistice
 - De tip Markov
 - Bazate pe filtre Kalman
 - Predicție statică
 - Predicție dinamică
 - Construcția autonomă a hărții
 - Tehnici stocastice de construcție
 - Alte tehnici

Roboți și localizarea lor

- Metode clasice de localizare → Localizare de tip Monte Carlo
 - Ideea de bază → algoritm iterativ
 - Se rețin mai multe poziții posibile
 - Se acordă ranguri (calități) acestor poziții posibile
 - Se alege poziția cea mai bună
 - Se perturbă poziția cea mai bună
 - Caracteristici
 - Pot fi testate mai multe ipoteze asupra poziției robotului
 - Nu se fac presupuneri asupra erorilor senzorilor (erorile pot avea orice distribuție fără a afecta procesul de optimizare)
 - Nu necesită liniarizarea sistemului de mișcare a robotului
 - Metodă costisitoare dpdv computațional

Roboți și localizarea lor

- Provocările localizării
 - Zgomotul senzorilor
 - Aliasul senzorilor
 - Zgomotul efectorilor
 - Erorile de estimare a poziției

Roboți și navigarea lor

□ Navigare

- spre o destinație anume sau urmând o anumită cale și evitând obstacolele

□ Tipologie

- În funcție de modul de desfășurare

- Navigare reactivă

- Pe baza informațiilor preluate de la senzori

- Navigare pe baza unei hărți

- planificare

- În funcție de obiectivul urmărit

- Ajungerea la o destinație anume

- Evitarea obstacolelor

Roboți și navigarea lor

- Planificarea path-ului bazată pe
 - Harta drumurilor
 - Graful vizibilităților
 - Diagrame Voronoi
 - Descompunere celulară
 - Exactă
 - Aproximativă (adaptivă) – cea mai folosită metodă de planificare

Roboți și navigarea lor

□ Evitarea obstacolelor

■ Algoritmul Bug

□ Ideea de bază

- Urmărirea conturului (înconjurarea) obstacolului (completă sau parțială)

□ Senzori

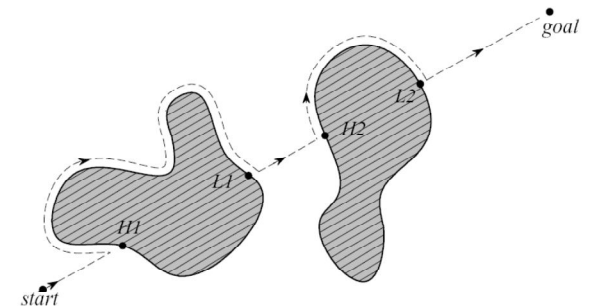
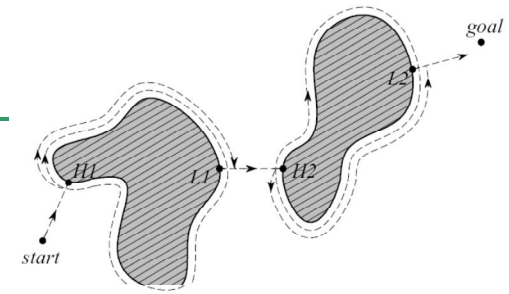
- Tactil, de distanță

□ Avantaje

- Simplu, robust
- Nu necesită construirea unei hărți

□ Dezavantaje

- Informații instantanee de la senzori
 - Fără memorie
 - Uneori, insuficiente pentru evitarea obstacolului
- Fără constrângeri cinematice



Roboți și navigarea lor

□ Evitarea obstacolelor

■ Histograma câmpurilor vectoriale (Vector Field histogram - VFH, VFH+, VFH*)

□ Ideea de bază

- Hartă locală a mediului din apropierea robotului → grid de ocupare
- Histogramă polară
 - Axa OX → unghiul direcției robot-obstacol
 - Axa OY → probabilitatea ca în acea direcție să se afle un obstacol (calculată pe baza gridului)

□ Algoritm →

<http://users.isr.ist.utl.pt/~mir/pub/ObstacleAvoidance.pdf>

- Se construiește o histogramă carteziană 2D pentru obstacole
- Se consideră o fereastră activă în jurul poziției robotului în histograma carteziană 2D și se filtrează într-o histogramă polară 1D
- Se optimizează unghiul de rotație și viteza în histograma polară 1D

□ Senzori

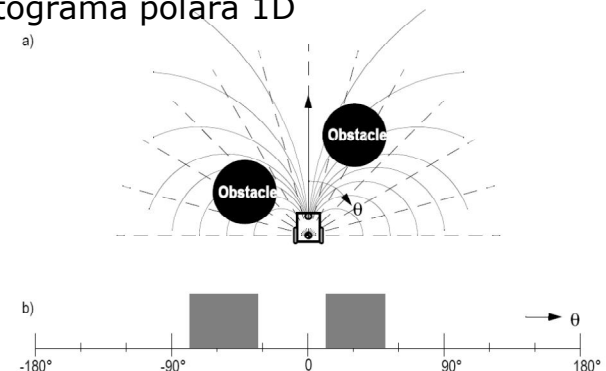
- Sonar, de distanță

□ Avantaje

- Ține cont de cinematica rudimentară a robotului

□ Dezavantaje

- Probleme (în estimarea probabilităților) cu minimele locale



Roboți și navigarea lor

□ Evitarea obstacolelor

■ Banda bulelor

□ Ideea de bază

- Bule de spațiu liber în jurul robotului

□ Senzori

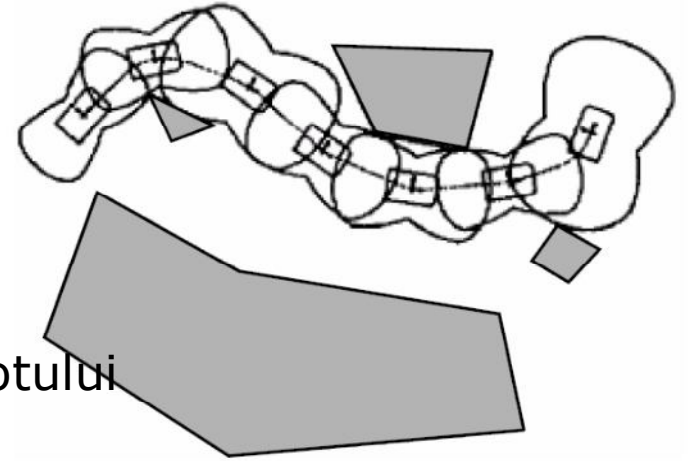
- De mișcare

□ Avantaje

- Ține cont de forma și dimensiunea robotului
- Implică o cinematică exactă a robotului

□ Dezavantaje

- Necesită o hartă globală
- Necesită un planificator global de drum



Roboți și navigarea lor

- Evitarea obstacolelor
 - Tehnici bazate pe viteza curburilor
 - Ideea de bază
 - Mișcarea robotului ținând cont de constrangeri kinematice în spațiul vitezelor
 - Viteza de rotație ω
 - Viteza de translație v
 - Curvura $c = \omega/v$
 - Limitări impuse vitezelor de către
 - Robot (minime și maxime)
 - Obstacole
 - Sensori
 - Sonar, laser
 - Avantaje
 - Implică o cinematică exactă a robotului
 - Dezavantaje
 - Necesită o hartă locală
 - Probleme cu minimele locale

