Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна Програма „Развитие на Човешките Ресурси” 2007–2013, Съфинансиран от Европейския Социален Фонд на Европейския Съюз Инвестира във вашето бъдеще!

ПОВИШАВАНЕ НА ЕФЕКТИВНОСТТА И КАЧЕСТВОТО НА ОБУЧЕНИЕ И НА НАУЧНИЯ ПОТЕНЦИАЛ В ОБЛАСТТА НА СИСТЕМНОТО ИНЖЕНЕРСТВО И РОБОТИКАТА

Проект No BG051PO001-3.3.06-0002

МЕХАНИКА НА УНИВЕРСАЛНИ И СПЕЦИАЛНИ РОБОТИ

ЛЕКТОР:

ДОЦ. Д-Р ИНЖ. ДЕТЕЛИНА ИГНАТОВА
02 9796408; ignatova@imbm.bas.bg

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ПО МЕХАНИКА
НСЗ “МЕХАНИКА НА ДИСКРЕТНИ СИСТЕМИ”
РОБОТИКА И МЕХАТРОНИКА

СЪДЪРЖАНИЕ

1. ОСНОВНИ ТЕОРЕТИЧНИ ПОНЯТИЯ В РОБОТИКАТА
- Структура, геометрия, работни пространства
- Кинематика
- Динамика

2. ПРОМИШЕНИ РОБОТИ
- Основни видове
- Робот за шлифоване

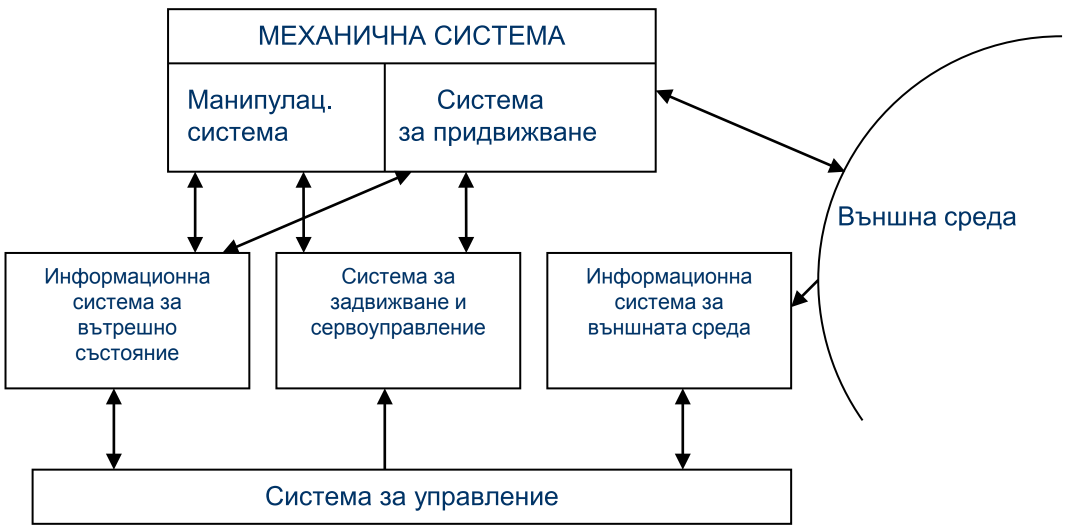
3. ЛЕКИ РОБОТИ
- Особености
- Два частни случая

4. РОБОТИ ЗА СПАСИТЕЛНИ ОПЕРАЦИИ
- Основни видове
- Двуколесен робот

5. РОБОТИ ЗА МИКРО И НАНОМАНИПУЛАЦИИ
- Особености
- Робот за микроинжектиране

6. CAD/CAM, AUTODESK, MATLAB, SOLIDWORKS, NASTRAN

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛНА СХЕМА НА РОБОТ



Структура, геометрия, работни пространства

- Структурно роботите са съставени от отворени или затворени вериги от звена и стави (кинематични двоици). Ставите в общия случай са два вида, според вида на движението – въртене или линейно преместване, съответно ротация и транслация.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

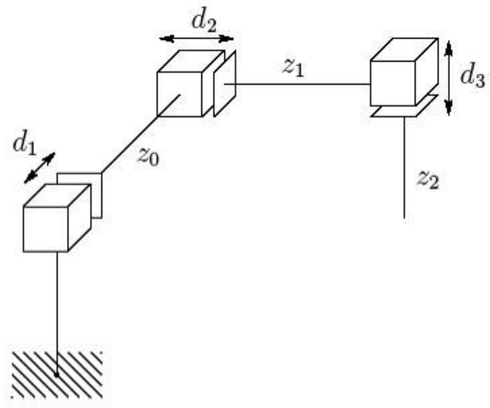
- Ендефектор, инструмент – устройство, което е в пряк контакт с околната среда. Често е специфичен за конкретна операция.
- Конфигурация – пълна спецификация на всички елементи на манипулатора. Съвкупността от всички възможни конфигурации е конфигурационно пространство.
- Текуща конфигурация – моментна позиция и ориентация на ставите.
- Работно пространство – онази част от обема на околната среда, в която се движи работния орган. То е различно за различните конфигурации на структурата на робота.

РЕГИОНАЛНА СТРУКТУРА

РЕГИОНАЛНА СТРУКТУРА – верига от звена и стави в различна последавателност.

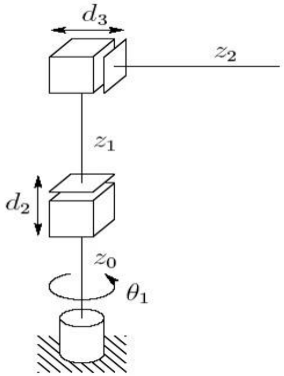
<u>Основни конфигурации на регионалната структура:</u>

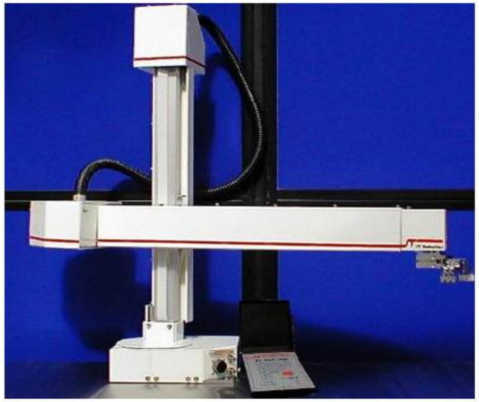
1. Декартови координати



РЕГИОНАЛНА СТРУКТУРА

2. Цилиндрични координати-cylindrical robot (RPP)

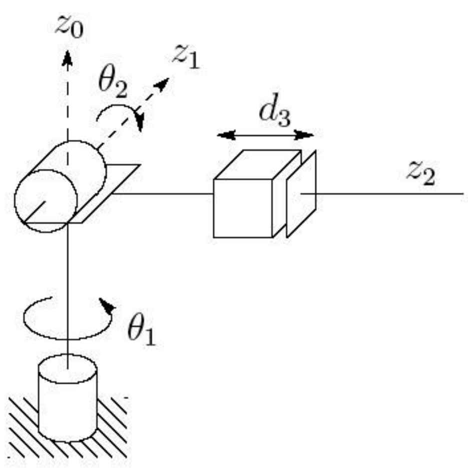


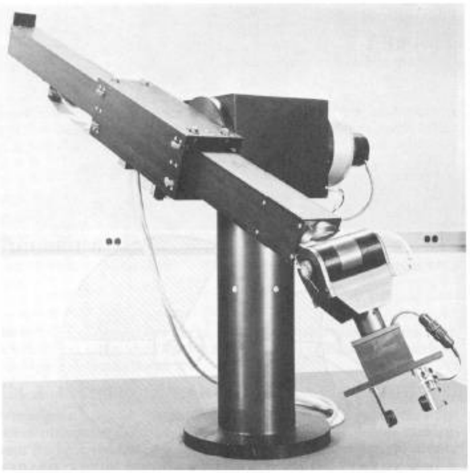


Seiko RT3300 Robot

РЕГИОНАЛНА СТРУКТУРА

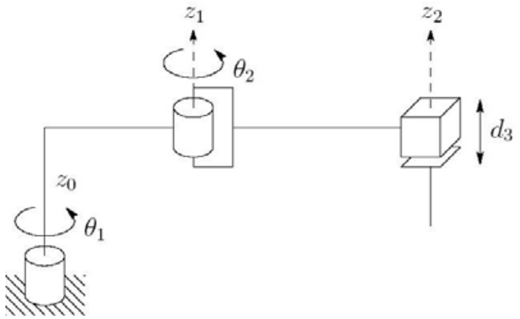
3. Сферични координати - Stanford arm (RRP)





РЕГИОНАЛНА СТРУКТУРА

4. Тип „СКАРА” - SCARA (RRP)



Adept Cobra Smart600 SCARA robot

РЕГИОНАЛНА СТРУКТУРА

5. Антропоморфна структура (RRR)

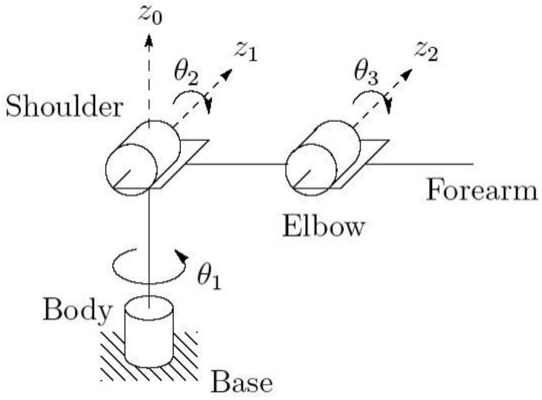
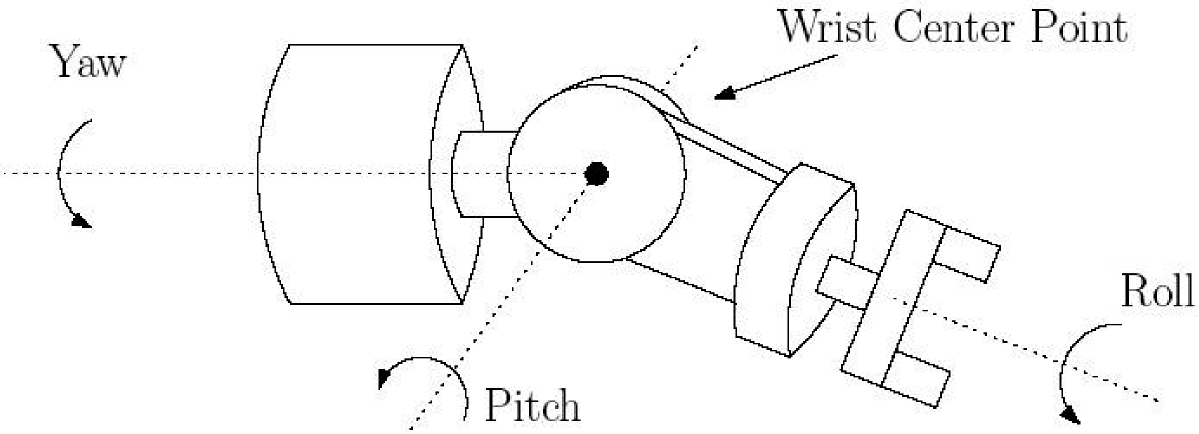


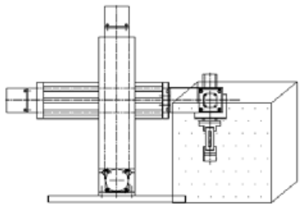
ABB IRB1400

ЛОКАЛНА СТРУКТУРА – китка

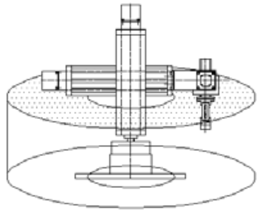


ОБОБЩЕНИЕ

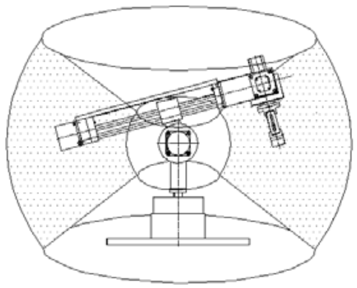
Основни структури и работни пространства



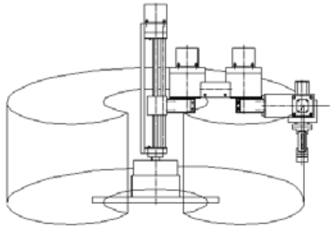
Декартов



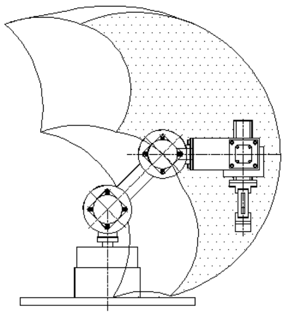
Цилиндричен



Сферичен



СКАРА

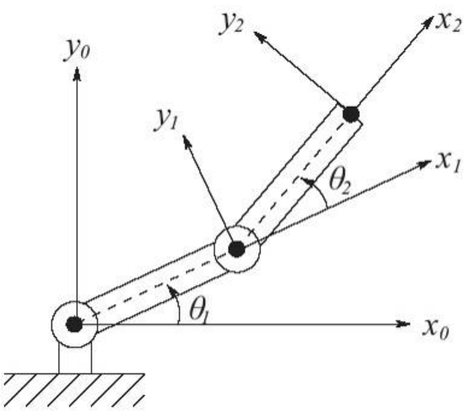


Антропоморфен

Схемите са от докторската дисертация на доц. Найден Шиваров

КООРДИНАТНИ СИСТЕМИ И ПРАВА ЗАДАЧА НА КИНЕМАТИКАТА

<u>*Права задача:*</u> *Намиране на позицията,ориентацията, скоростите и ускоренията на работния инструмент при зададени обобщени координати (относителни премествания).*



1.Три координатни системи – 0, 1, 2

2.Позиция:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 \cos(\theta_1) \\ a_1 \sin(\theta_1) \end{bmatrix}$$

a_1 и a_2 са дължините на звената

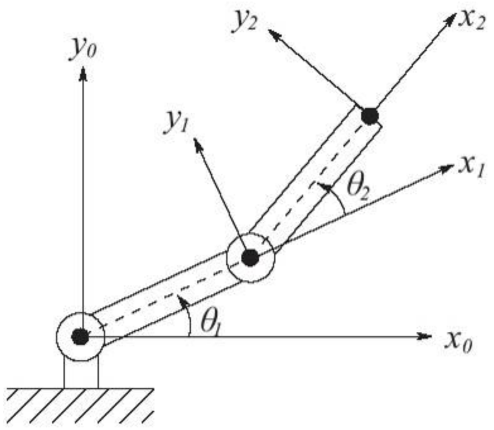
$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 \cos(\theta_1) + a_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ a_1 \sin(\theta_1) + a_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}_t$$

КООРДИНАТНИ СИСТЕМИ И ПРАВА ЗАДАЧА НА КИНЕМАТИКАТА

- 3. Ориентация:

$$\hat{x}_0 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \hat{y}_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$\hat{x}_2 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ \sin(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix}, \hat{y}_2 = \begin{bmatrix} -\sin(\theta_1 + \theta_2) \\ \cos(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix}$$

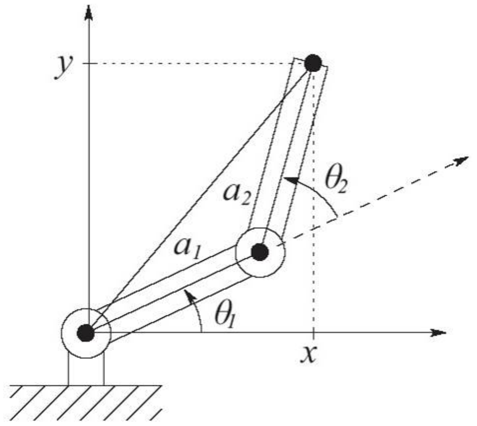


$$R_2^0 = \begin{bmatrix} \hat{x}_2 \cdot \hat{x}_0 & \hat{y}_2 \cdot \hat{x}_0 \\ \hat{x}_2 \cdot \hat{y}_0 & \hat{y}_2 \cdot \hat{y}_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1 + \theta_2) & -\sin(\theta_1 + \theta_2) \\ \sin(\theta_1 + \theta_2) & \cos(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix}$$

ОБРАТНА ЗАДАЧА НА КИНЕМАТИКАТА

<u>Обратна задача:</u> Намиране на обобщените координати за желана позиция, ориентация, скорост или ускорение на работния инструмент

$$\cos(\theta_2) = \frac{x_t^2 + y_t^2 - a_1^2 - a_2^2}{2a_1a_2} \equiv D \Rightarrow \sin(\theta_2) = \pm\sqrt{1 - D^2}$$

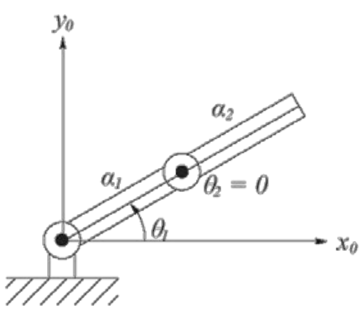


$$\theta_1 = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{a_2\sin(\theta_2)}{a_1 + a_2\cos(\theta_2)}\right)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}\left(\pm\frac{\sqrt{1 - D^2}}{D}\right)$$

ЯКОБИАН

Текущото състояние включва скоростта



$$\begin{bmatrix} \dot{x}_2 \\ \dot{y}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_1 \sin(\theta_1)\dot{\theta}_1 - a_2 \sin(\theta_1+\theta_2)(\dot{\theta}_1+\dot{\theta}_2) \\ a_1 \cos(\theta_1)\dot{\theta}_1 + a_2 \cos(\theta_1+\theta_2)(\dot{\theta}_1+\dot{\theta}_2) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -a_1 \sin(\theta_1) - a_2 \sin(\theta_1+\theta_2) & -a_2 \sin(\theta_1+\theta_2) \\ a_1 \cos(\theta_1) + a_2 \cos(\theta_1+\theta_2) & a_2 \cos(\theta_1+\theta_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix}$$

$$= J\dot{\vec{q}}$$

Обратната матрица на Якоби дава ставните скорости:

$$\dot{\vec{q}} = J^{-1}\dot{\vec{x}}$$

$$= \frac{1}{a_1 a_2 \sin(\theta_2)} \begin{bmatrix} a_2 \cos(\theta_1+\theta_2) & a_2 \sin(\theta_1+\theta_2) \\ -a_1 \cos(\theta_1) - a_2 \cos(\theta_1+\theta_2) & -a_1 \sin(\theta_1) - a_1 \sin(\theta_1+\theta_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix}$$

Случаите, когато тази инверсия не съществува се наричат сингулярни конфигурации.

Метод на Денавит и Хартенберг (Denavit-Hartenberg (DH))

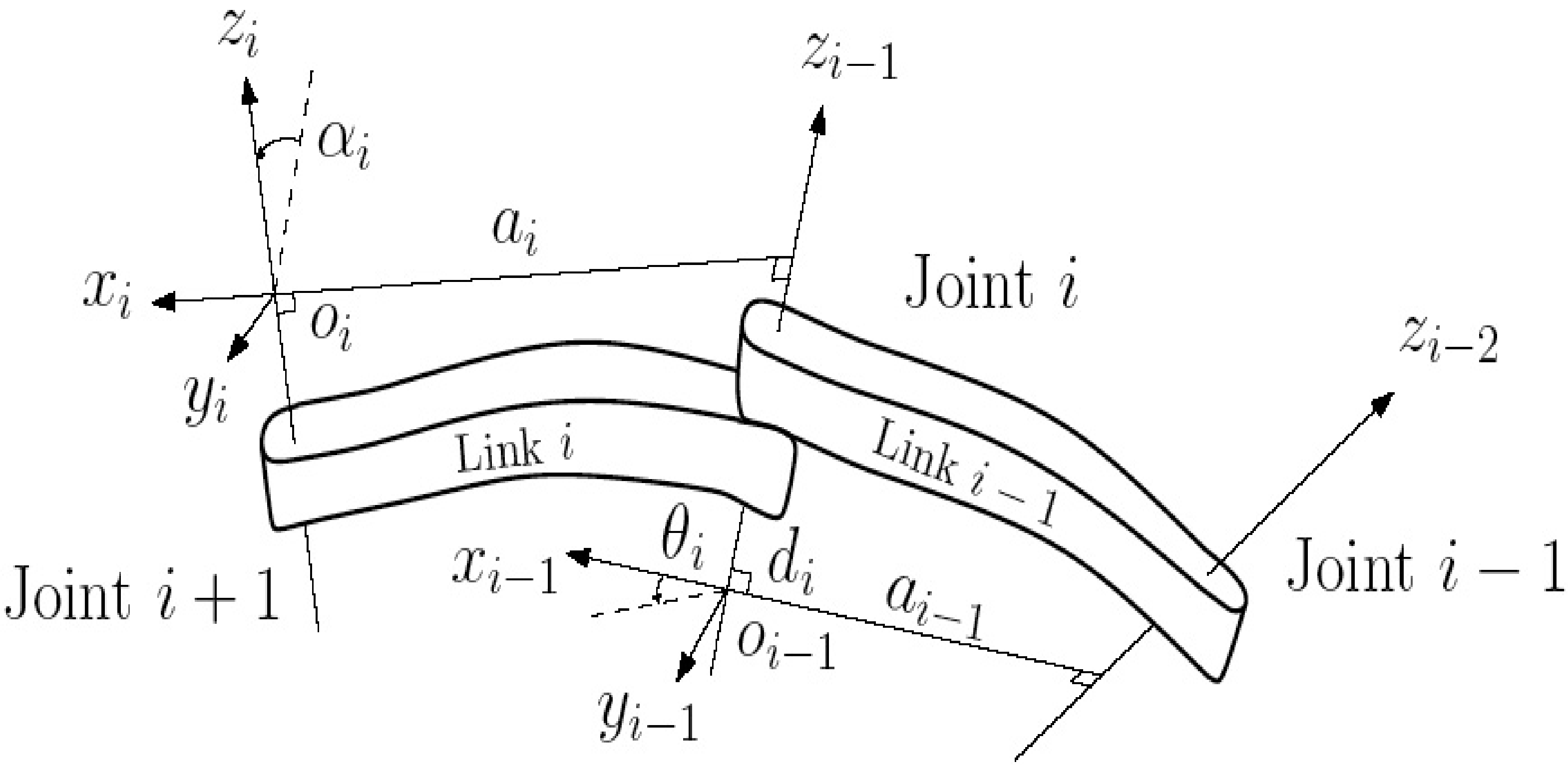
Представяне на всяка хомогенна трансформация като резултат от четири базови трансформации.

$$A_i = \mathrm{Rot}_{z,\theta_i}\mathrm{Trans}_{z,d_i}\mathrm{Trans}_{x,a_i}\mathrm{Rot}_{x,\alpha_i}$$

$$= \begin{bmatrix} c_{\theta_i} & -s_{\theta_i} & 0 & 0 \\ s_{\theta_i} & c_{\theta_i} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_{\alpha_i} & -s_{\alpha_i} & 0 \\ 0 & s_{\alpha_i} & c_{\alpha_i} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} c_{\theta_i} & -s_{\theta_i}c_{\alpha_i} & s_{\theta_i}s_{\alpha_i} & a_i c_{\theta_i} \\ s_{\theta_i} & c_{\theta_i}c_{\alpha_i} & -c_{\theta_i}s_{\alpha_i} & a_i s_{\theta_i} \\ 0 & s_{\alpha_i} & c_{\alpha_i} & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Метод на Денавит и Хартенберг (Denavit-Hartenberg (DH))



Метод на Денавит и Хартенберг (Denavit-Hartenberg (DH))

- Методът на Денавит и Хартенберг е един от най-разпространените методи за избор на координатни системи, свързани с подвижните звена.
- За всяко звено оста Z се насочва по оста на свързване на това звено със следващото. Оста X се насочва по направление на общия перпендикуляр на текущата и предходната оси Z, а оста Y по такъв начин, че да се образува дясноориентирана координатна система.
- При спазване на определени правила при това положение *i*-тата координатна система може да се преобразува в *i+1-ма.*

ДИНАМИКА

1. Кинетична и потенциална енергия

DH ставните променливи са обобщенитекоординати

Кинетичната енергия е сума от два члена:

- Транслационна част, еквивалентна на концентрация на всички маси в центъра на тежестта
- Ротационна част, съответстваща на ротация около центъра на тежестта

За произволно твърдо тяло кинетичната енергия е:

$$K = \frac{1}{2} m v^T v + \frac{1}{2} \omega^T \mathrm{I} \omega$$

v е линейната скорост на центъра на масите
w е ъгловата скорост
I е инерционния тензор

Хомогенни трансформации

Базови трансформации: три чисти транслации, три чисти ротации

$$\mathrm{Trans}_{x,a} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad \mathrm{Rot}_{x,\alpha} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_\alpha & -s_\alpha & 0 \\ 0 & s_\alpha & c_\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathrm{Trans}_{y,b} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad \mathrm{Rot}_{y,\beta} = \begin{bmatrix} c_\beta & 0 & s_\beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -s_\beta & 0 & c_\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathrm{Trans}_{z,c} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & c \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad \mathrm{Rot}_{z,\gamma} = \begin{bmatrix} c_\gamma & -s_\gamma & 0 & 0 \\ s_\gamma & c_\gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Кинетична енергия на n-звенен манипулатор

Кинетичната енергия е:

$$K=\sum_{i=1}^{n}\left\{\frac{1}{2}m_i v_i^{\,T} v_i+\frac{1}{2}\omega_i^{\,T} R_i(q) I_i R_i(q)^T \omega_i\right\}$$

Връзката между ставните скорости и линейната и ъглова скорост на центъра на тежестта за всяко звено е Jacobian:

$$v_i=J_{v_i}(q)\dot{q} \qquad \omega_i=J_{\omega_i}(q)\dot{q}$$

Пренаписваме кинетичната енергия като функция на ставните променливи:

$$K=\sum_{i=1}^{n}\left\{\frac{1}{2}m_i\dot{q}^T J_{v_i}(q)^T J_{v_i}(q)\dot{q}+\frac{1}{2}\dot{q}^T J_{\omega_i}(q)^T R_i(q) I_i R_i(q)^T J_{\omega_i}(q)\dot{q}\right\}$$

Потенциална енергия на n-звенен манипулатор

Потенциалната енергия зависи от гравитацията и не зависи от ставните скорости.

$$P = \sum_{i=1}^{n} P_i = \sum_{i=1}^{n} m_i g^T r_{ci}$$

- r_{ci} е позицията на центъра на тежестта на *i-то* звено
- g е вектор на гравитацията

Уравнения на движението

Използваме уравнението на Ойлер-Лагранж:

$$\frac{d}{dt}\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_j}-\frac{\partial L}{\partial q_j}=\tau_j$$

Можем да запишем

$$L=K-P=\frac{1}{2}\dot{q}^T D(q)\dot{q}-P(q)=\frac{1}{2}\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{n}d_{ij}(q)\dot{q}_i\dot{q}_j-P(q)$$

Частните производни на това уравнение дават уравненията на движение на манипулатора:

$$\sum_{j=1}^{n}d_{kj}\ddot{q}_j+\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{n}\left\{\frac{\partial d_{kj}}{\partial q_i}-\frac{1}{2}\frac{\partial d_{ij}}{\partial q_k}\right\}\dot{q}_i\dot{q}_j+\frac{\partial P}{\partial q_k}=\tau_k$$

ЛИТЕРАТУРА

- http://roboticscourseware.org/1-full-robotics-courses/introduction-to-robotics-harvard-university-es-159-259/introduction-to-robotics-harvard-university-es-159-259-lectures
- Павлов, В., Проектиране на промишлени роботи, ТУ-София, 1993 г.
- Минков, К., Роботика, Софийски университет, София, 1986 г.