

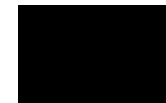
Etalonnage de robots par vision

PROGRAMME
UNIT-GDR ROBOTIQUE



Nicolas ANDREFF
Université de Franche-Comté
Novembre 2012
Nicolas.Andreff@univ-fcomte.fr

Fondation
unit
Université Numérique
Ingénierie et Technologie



UFC
UNIVERSITÉ
DE FRANCHE-COMTÉ

Etalonnage – Identification géométrique de robots sériels

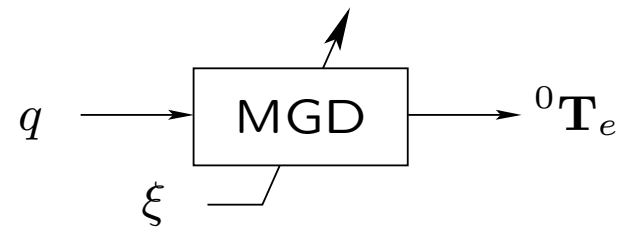
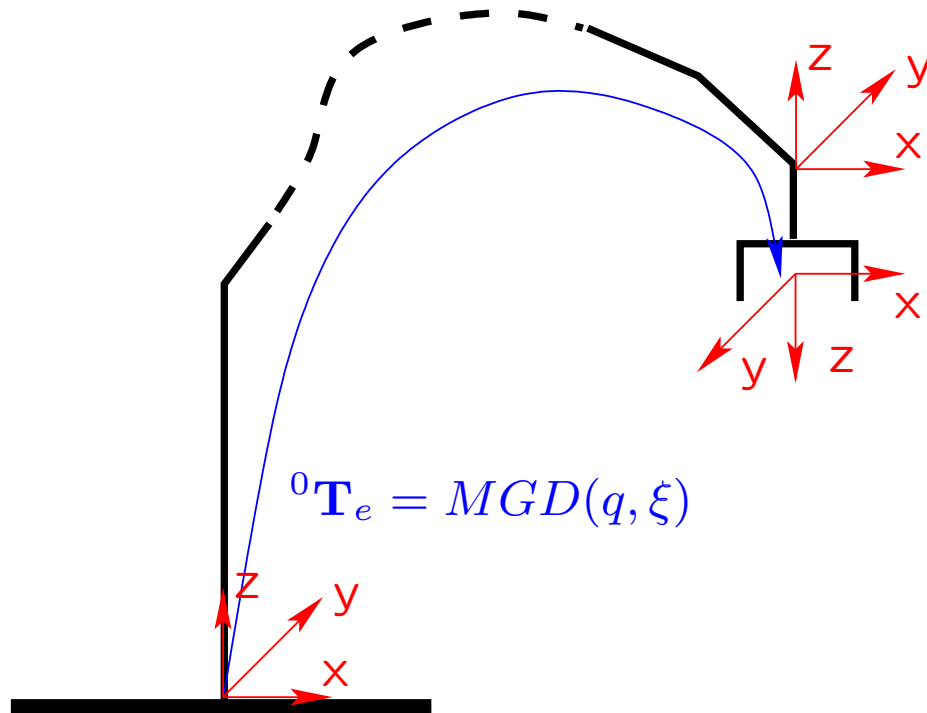
U.V. EIS

Année universitaire 2004–2005

Sommaire

- Introduction 3
- Rappels de modélisation géométrique 4
- Etalonnage classique 10
- Etalonnage par vision 14
- Etalonnage contraint 16
- Auto-étalonnage 17
- Avantages/inconvénients de chaque méthode . 18

1 Introduction



Pb : Comment déterminer ξ ?

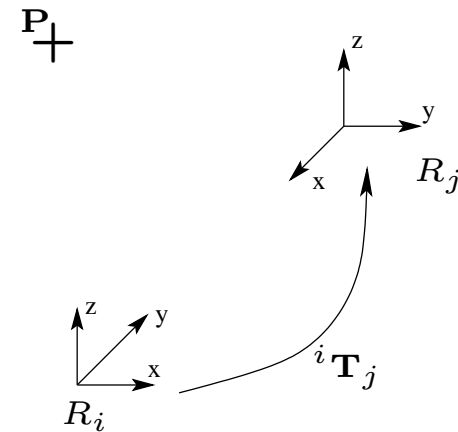
2 Rappels de modélisation géométrique

2.1 Transformation rigide

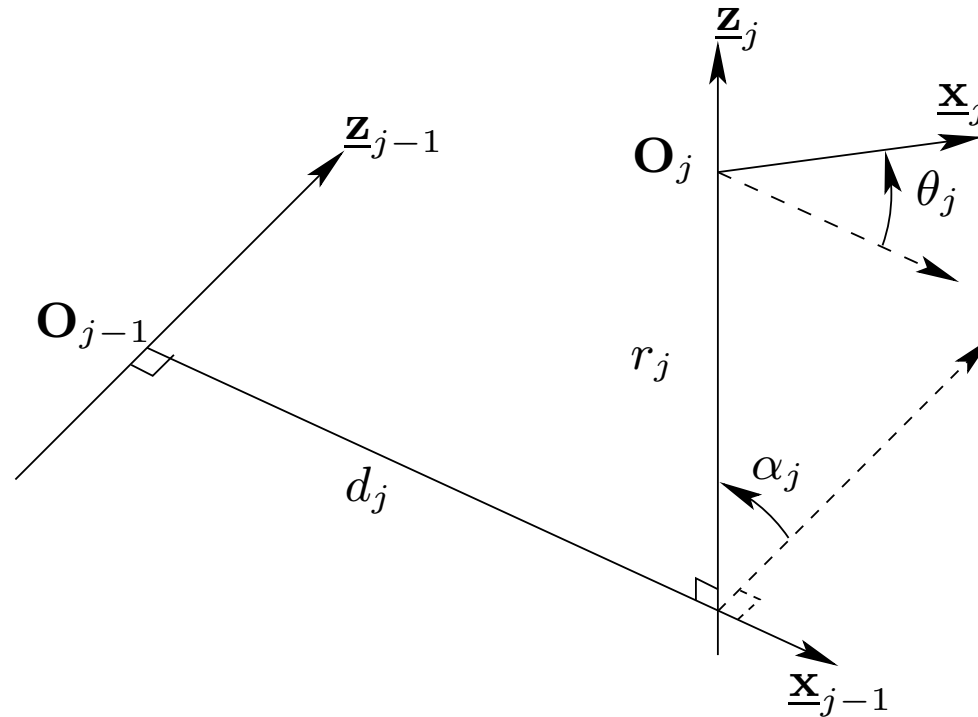
Transformation homogène, changement de repères Euclidiens

$${}^i\mathbf{T}_j = \begin{pmatrix} {}^i\mathbf{R}_j & {}^i\mathbf{t}_j \\ \mathbf{0}_{1 \times 3} & 1 \end{pmatrix}$$

$${}^i\mathbf{P} = {}^i\mathbf{T}_j \cdot {}^j\mathbf{P}$$



2.2 Modélisation Khalil-Kleinfinger



$${}^{j-1}\mathbf{T}_j = \text{Rot}(x, \alpha_j) * \text{Trans}(x, d_j) * \text{Rot}(z, \theta_j) * \text{Trans}(z, r_j)$$

Remarque : commutation partielle

Variables articulaires :

Articulation prismatique :

$$q_j = r_j$$

Articulation pivot :

$$q_j = \theta_j$$

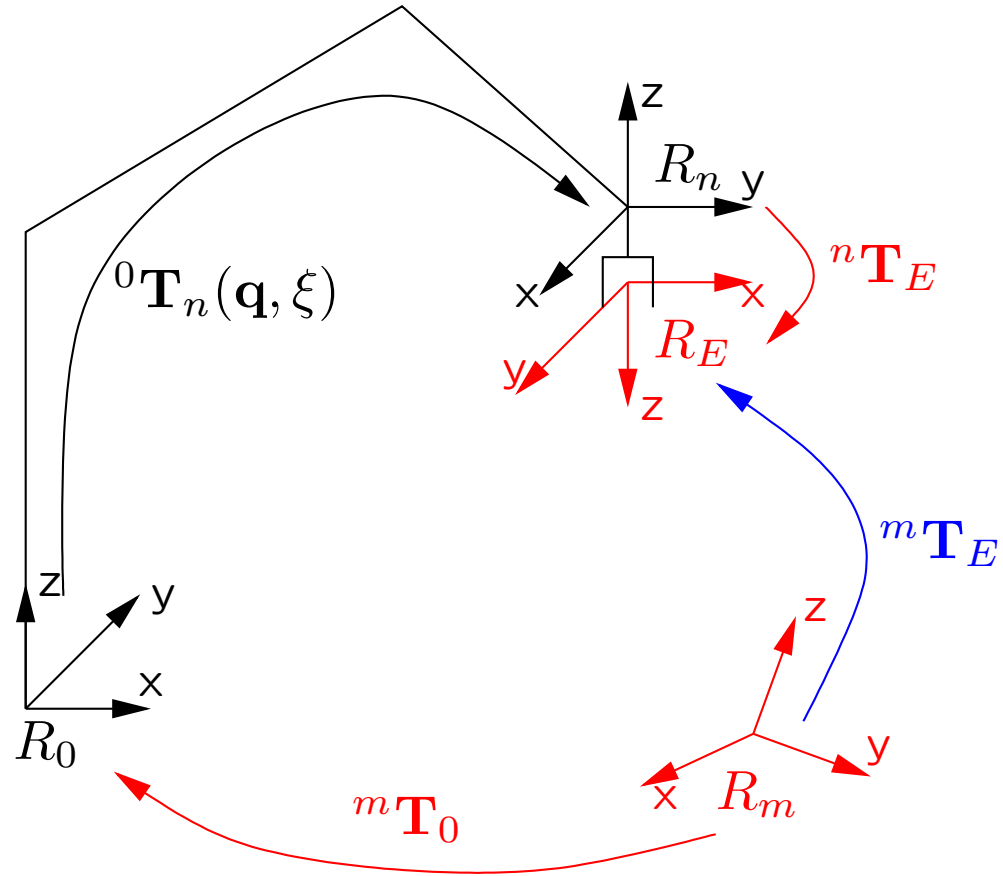
$$q_j = \sigma_j \theta_j + \bar{\sigma}_j r_j$$

Rem. : Définition récurrente \Rightarrow Conventions par défaut

Pour le repère R_0 : $R_0 = R_1$ quand $q_1 = 0$

Pour le repère R_n : $\underline{\mathbf{x}}_n // \underline{\mathbf{x}}_{n-1}$ quand $q_n = 0$

2.3 Paramètres géométriques



$${}^m\mathbf{T}_E = {}^m\mathbf{T}_0 {}^0\mathbf{T}_n(\mathbf{q}, \xi) {}^n\mathbf{T}_E$$

2.4 Un modèle plus complet

Décalages à l'origine :

$$\mathbf{q} = \theta + \mathbf{q}_0 \Rightarrow {}^m\mathbf{T}_E = {}^m\mathbf{T}_0 {}^0\mathbf{T}_n(\theta, \xi') {}^n\mathbf{T}_E$$

Rapports de réduction :

$$\theta = \mathbf{C}_a \begin{pmatrix} K_1 & & \\ & \ddots & \\ & & K_N \end{pmatrix} \mathbf{C}_m \mathbf{q}_{moteur}$$

Sommaire

✓ ●	Introduction	3
✓ ●	Rappels de modélisation géométrique	4
⇒ ●	Etalonnage classique	10
	-Principe	
	-Choix de l'erreur	
	-Calcul du régresseur	
●	Etalonnage par vision	14
●	Etalonnage contraint	16
●	Auto-étalonnage	17
●	Avantages/inconvénients de chaque méthode	18

3 Etalonnage classique

3.1 Principe

Mesure de la pose de l'outil (ou partie) en N configurations :
 $\hat{\mathbf{x}}^i, i = 1..N$

Enregistrement variables articulaires : $\hat{\mathbf{q}}^i, i = 1..N$

Si l'on connaît ξ , on peut prédire la position de l'outil dans ces configurations : $\mathbf{x}_m(\hat{\mathbf{q}}^i, \xi)$

Objectif : Trouver les paramètres optimaux ξ^* tels que

$$\xi^* = \arg \min_{\xi} \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \|\hat{\mathbf{x}}^i - \mathbf{x}_m(\hat{\mathbf{q}}^i, \xi)\|^2$$

NB : Erreur et norme

Problème : Critère non-linéaire \Rightarrow Linéarisation autour de la solution

$$\hat{\mathbf{x}}^i = \mathbf{x}_m(\hat{\mathbf{q}}^i, \xi) + \frac{\partial \mathbf{x}_m(\hat{\mathbf{q}}^i, \xi)}{\partial \xi} \underbrace{(\xi^* - \xi)}_{\Delta \xi}$$

On peut alors former le système linéaire

$$\begin{pmatrix} \hat{\mathbf{x}}^1 - \mathbf{x}_m(\hat{\mathbf{q}}^1, \xi) \\ \vdots \\ \hat{\mathbf{x}}^N - \mathbf{x}_m(\hat{\mathbf{q}}^N, \xi) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial \mathbf{x}_m(\hat{\mathbf{q}}^1, \xi)}{\partial \xi} \\ \vdots \\ \frac{\partial \mathbf{x}_m(\hat{\mathbf{q}}^N, \xi)}{\partial \xi} \end{pmatrix} \Delta \xi$$

de la forme

$$\Delta \mathbf{x} = \mathbf{W} \Delta \xi$$

Résolution itérative :

$$\begin{aligned} \xi_0 & : \text{Connaissance } a \text{ priori} \\ \xi_{n+1} & = \xi_n + \Delta \xi_n \end{aligned}$$

3.2 Choix de l'erreur

Notons ${}^m\mathbf{T}_E^i = \begin{pmatrix} \mathbf{R}_i & \mathbf{t}_i \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$

3.2.1 Mesure de position uniquement

$\mathbf{x}^i = \mathbf{t}_i \Rightarrow$ norme vectorielle habituelle : $\Delta\mathbf{x}^i = \hat{\mathbf{t}}_i - \mathbf{t}_m^i(\mathbf{q}^i, \xi)$

3.2.2 Mesure de position et d'orientation

$\mathbf{x}^i = {}^m\mathbf{T}_E^i$: paramétrage non minimal

\Rightarrow On choisit

$$\Delta\mathbf{x}^i = \begin{pmatrix} \hat{\mathbf{t}}_i - \mathbf{t}_m^i(\mathbf{q}^i, \xi) \\ \underline{\mathbf{n}}^i \sin \theta_i \end{pmatrix}$$

avec

$$\frac{1}{2}(\mathbf{R}_i^T \mathbf{R}_m(\mathbf{q}^i, \xi) - \mathbf{R}_m(\mathbf{q}^i, \xi)^T \mathbf{R}_i) = \sin \theta_i \text{As}(\underline{\mathbf{n}}^i)$$

4 Etalonnage par vision

On travaille directement dans l'image :

$$\mathbf{x}^i = \begin{pmatrix} u_1^i \\ v_1^i \\ \vdots \\ u_p^i \\ v_p^i \end{pmatrix}$$

avec

$$\begin{pmatrix} u_j^i \\ v_j^i \end{pmatrix}_m = \lambda \begin{pmatrix} \mathbf{K} & \mathbf{0} \end{pmatrix} {}^m\mathbf{T}_E^i(\hat{\mathbf{q}}^i, \xi) \begin{pmatrix} X_j \\ Y_j \\ Z_j \end{pmatrix}$$

On a donc :

$$\frac{\partial}{\partial \xi_i} \begin{pmatrix} u_j^i \\ v_j^i \end{pmatrix}_m = \lambda \begin{pmatrix} \mathbf{K} & \mathbf{0} \end{pmatrix} \frac{\partial^m \mathbf{T}_E^i(\hat{\mathbf{q}}^i, \xi)}{\partial \xi_i} \begin{pmatrix} X_j \\ Y_j \\ Z_j \end{pmatrix}$$

NB : Etalonnage de la caméra et de la mire simultanés

5 Etalonnage contraint

On applique une contrainte mécanique à l'effecteur

$$\exists 1 \text{ fonction implicite } \phi, \quad \phi({}^0\mathbf{T}_n) = 0$$

Exemples :

– Effecteur en liaison rotule

$${}^0\mathbf{t}_n^i = cte$$

– Contact plan

$$a \cdot {}^0\mathbf{t}_{nx}^i + b \cdot {}^0\mathbf{t}_{ny}^i + c \cdot {}^0\mathbf{t}_{nz}^i + d = 0$$

⇒ Etalonnage :

$$\min_{\xi} \phi({}^0\mathbf{T}_n(\hat{\mathbf{q}}^i, \xi))^2$$

6 Auto-étalonnage

On utilise une redondance du robot :

$$\exists(\mathbf{q}_a, \mathbf{q}_b), \quad \mathbf{x}_m(\mathbf{q}_a^i, \xi) = \mathbf{x}_m(\mathbf{q}_b^i, \xi)$$

⇒ Etalonnage :

$$\min_{\xi} \|\mathbf{x}_m(\hat{\mathbf{q}}_a^i, \xi) - \mathbf{x}_m(\hat{\mathbf{q}}_b^i, \xi)\|^2$$

7 Avantages/inconvénients de chaque méthode

- Etalonnage classique
- Etalonnage par vision
- Etalonnage contraint
- Auto-étalonnage