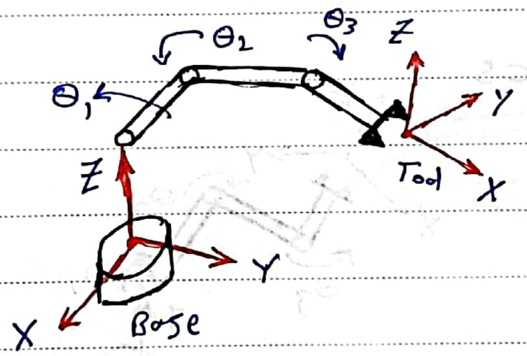
* Robotic system 1 : introduction

> There 3-Applications of Robotics:-

- Dull
- Dirty
- Dangerous

> Frame of Reference

- هنستخدم الـ right hand system



- الـ Frame of Refrance بتاع الـ gripper يختلف عن الـ Frame of Refrance بتاع الـ original في
  → Position
  → orientation يعني مثلا اتجاهه مختلف عن يعني المحور (X) مثلا اتجاهه مختلف المحور (X) في original

- عند وجود "θ" بتاعت كل Joint وعرفت قيمتها كده أنا عرفت الـ Position بتاع الـ robot arm

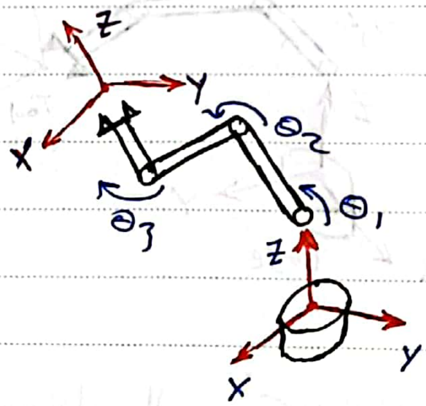
- Forward kinematics

- ال kinematics تدرس الحركة والعجلة بغض النظر عن القوة المسببة لذلك الحركة

- ال Forward kinematics تعني لو عرفت الزوايا "$\theta_{1,2,3}$" هذا يعني اني عرفت ال position و ال orientation بتاع ال end effector

- هنعتبر "$\theta_{1,2,3}$" انها vectors ونضربه في Forward matrix هتدين ال position & orientation بتاع ال Tool

- Inverse kinematics



- هنبدء من ال orientation بتاع ال end effector ب Frame معين بيه او بمعنى لو أنا عارف المكان الل عاوز اوصله ايه هي الزوايا "$\theta_{1,2,3}$" المطلوبة

- ممكن ميكنش في حلول للوصول الى المكان المطلوب ومستحيل ال arm يوصله ويبقى ال Work space بتاعه من بيظهر فيه النقطة دي

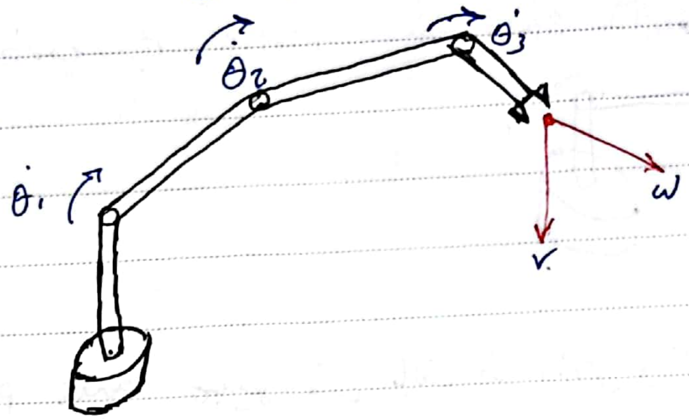
- Joint space → θ - Cartesian space x, y, z

الموضوع

التاريخ: / /

➤ Speed Relationships : The Jacobian

- الـ forward & inverse بتتكلم على الـ position & orientation



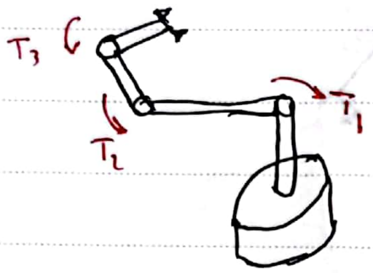
- هنا "Joint rate" أو السرعة لكل Joint كام المطلوبة للوصول للوضع المطلوب والسرعة المطلوبة لـ " v "

- Singularity :- A robot singularity is a configuration in which the robot end-effector becomes blocked in certain direction

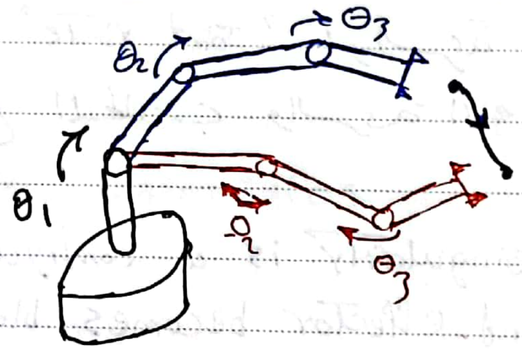
Ex wrist singularity
shoulder "

Path planning or Trajectory Generation

- هنا بنبدأ نتكلم عن ال dynamic ونعرف ايه "$T_{1,2,3}$" عشان يحقق المطلوب



- path planning مبيهمنيش بالنقط الاولى والاخيرة بل بيدرس مسار معين قادر على تحقيق والوصول للوضع المطلوب



حركة $\theta_{1,2,3}$ ← لابد أن يتسقوا مع بعضهم في نفس الوقت

في بعض الاحيان يهمني احط path planning وليه نقطة بداية ونهاية فقط

الموضوع

التاريخ: / /

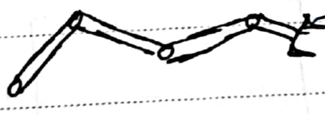
→ various definitions of overview of Robotics spheres

Robot :- a goal oriented machine That can sense, plan & act

- manipulator arm
- Mobile robot "locomotion"
- machine vision
- AI

manipulator arm :- consists of a number of nearly rigid links which are connected by joints That relative motion usually, These joints are instrumented

يعني فيه "sensors"

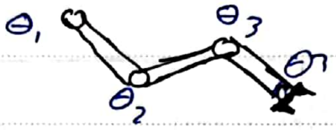


instrumented "Potentiometer, Absolute shaft encoder...

- فممكن اجمع بين الاربع أفرع دول مع بعض

Notation of Definitions

- Joint space of Cartesian



State : Joint space

$$\begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_7 \end{bmatrix}$$

Cartesian space

Position + orientation

$$P = \begin{bmatrix} \hat{X}_B \\ \hat{Y}_B \\ \hat{Z}_D \end{bmatrix}$$

هي نقطة وبكون أنا بعبر عنها ب "position vector" والـ orientation

To represent orientation ← matrix مستخدما

orthonormal

$$\begin{bmatrix} & & \\ & & \\ & & \end{bmatrix}_{3\times3}$$

1- Variables in uppercase are vectors

" " lower case are scales

2- قبل leading superscripts & subscripts identify refrence frame by coordinate system ${}^{A}_{B}R$

A ودي بتعرف الـ rotation$_B$ بالنسبة لـ A

3- Trailing supscript $\left(\begin{matrix} P^T \\ R^{-1} \end{matrix}\right)$ shows inverse or Transpose

الموضوع   التاريخ: /   /

- عملية الـ inverse بتعوض عن عملية القسمة في الجبر

4- Trailing subscript "P_{borg}" refers to an object

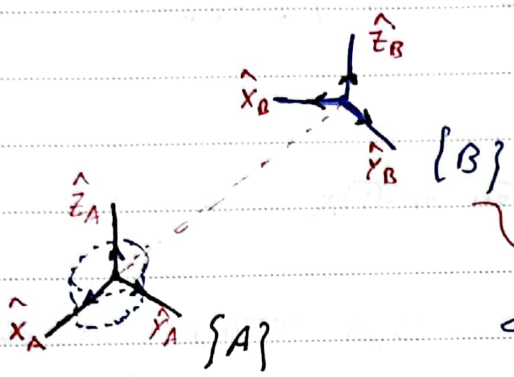
5- vectors always column [ ] → position الرأسي الى

➤ The main five components of Robotic Manipulator Arm science.

1- Forward kinematics: from Joint space To Cartesian
2- Invers kinematics: from Cartesian space → Joint
3- Jacobian matrix :- Relates The speeds in Cartesian space → speeds in Joint space
4- Path Planning :- planning a path in between Two points
5- Dynamics matrix :- required Torques to achieve The speeds

* Robotic systems 2 : Position & orientation

➤ The rotation matrix



- هدفنا اعرف ايه ال Translation وال orientation بين A, B

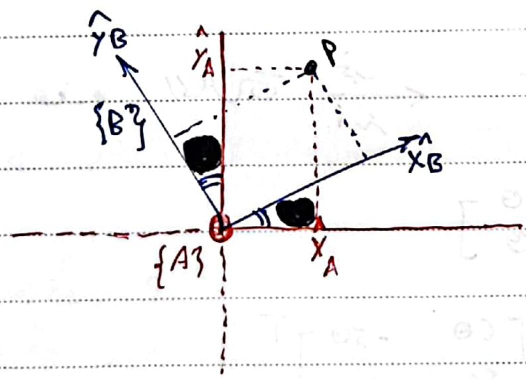
orthonormal

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

orthonormal
المصفوفة لنفسه

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

- هنهمل ال (Z) ونشتغل على (2D)



$$\hat{X}_A = \hat{X}_B \cos\theta - \hat{Y}_B \sin\theta$$
$$\hat{Y}_A = \hat{X}_B \sin\theta + \hat{Y}_B \cos\theta$$

$$\begin{bmatrix} \hat{X}_A \\ \hat{Y}_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C\theta & -S\theta \\ S\theta & C\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{X}_B \\ \hat{Y}_B \end{bmatrix}$$

$$^{A}P = {}^{A}_{B}R \cdot {}^{B}P$$

rotation matrix

- احداثيات ال (Z) مش هتتغير فهنكتب ال expansion

$$\begin{bmatrix} \hat{X}_A \\ \hat{Y}_A \\ \hat{Z}_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C\theta & -S\theta & 0 \\ S\theta & C\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{X}_B \\ \hat{Y}_B \\ \hat{Z}_B \end{bmatrix}$$

➤ The inverse of a rotation matrix

- لو نفرض ال vector الي ثابت عارفين احداثيته في "A" وعاوز اطلعه في "B"

$$^{A}P = {}^{A}_{B}R \cdot {}^{B}P$$

$${}^{A}_{B}R^{-1} \cdot {}^{A}P = {}^{A}_{B}R^{-1} \cdot {}^{A}_{B}R \cdot {}^{B}P$$

$$\boxed{{}^{B}P = {}^{A}_{B}R^{-1} \cdot {}^{A}P} \quad \#$$

$$\boxed{{}^{A}_{B}R^{-1} = {}^{A}_{B}R^{T}} \quad \#\!/$$ منجيب ← أسرع الحالة في هذه -

$${}^{A}_{B}R = \begin{bmatrix} C\theta & -S\theta \\ S\theta & C\theta \end{bmatrix}$$

$${}^{A}_{B}R^{-1} = {}^{B}_{A}R = \frac{1}{1} \begin{bmatrix} C\theta & -S\theta \\ S\theta & C\theta \end{bmatrix}^{T}$$

$$= \begin{bmatrix} C\theta & S\theta \\ -S\theta & C\theta \end{bmatrix}$$

- using The Robotics Toolbox To Demonstrate The Rotation Around an Axis

Video Matlab :- NjYoYQvzNqQ

```
>> Theta = 90          → دي الزاوية الي هيلفها دورانه حول "X"
>> R = rotx (theta * 2 * pi/360)
>> trplot (R)
>> grid
>> Tranimate (R)       → Animation يدي عامل
```

- Matrix Multiplication is Associative but not commutative

$A.B \neq B.A \longrightarrow$ not commutative

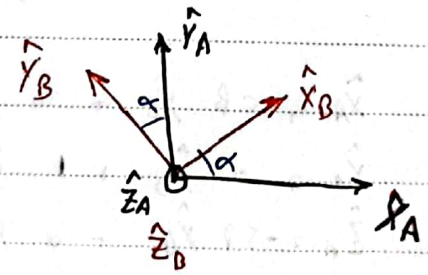
$A.B.C = (AB)\,C = A\,(BC) \longrightarrow$ are associative

- Rotation Matrix around The Z-axis

$\hat{X}_A = c\alpha\,\hat{X}_B - s\alpha\,\hat{Y}_B + 0\,\hat{Z}_B$

$\hat{Y}_A = s\alpha\,\hat{X}_B + c\alpha\,\hat{Y}_B + 0\,\hat{Z}_B$

$\hat{Z}_A = 0\,\hat{X}_B + 0\,\hat{Y}_B + 1\,\hat{Z}_B$



$$ {}^{A}_{B}R = \begin{bmatrix} c\alpha & -s\alpha & 0 \\ s\alpha & c\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} $$

$$ {}^{A}P = {}^{A}_{B}R \cdot {}^{B}P $$

- لاحظ ال $orientation_B$ بالنسبة لنفسه

$$ {}^{B}_{B}R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} $$

- المعروفة نعمل ال rotation بالترتيب ده

1 → rotation around $\hat{x}$ by γ

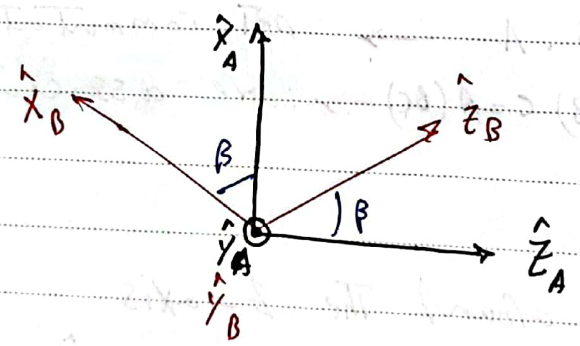
2 → rotation around $\hat{y}$ by β

3 → rotation around $\hat{z}$ by α

X, Y, Z fixed angle

➤ Rotation Matrices around The Y-axis & X-axis

→ rotation around $\hat{Y}$ by β

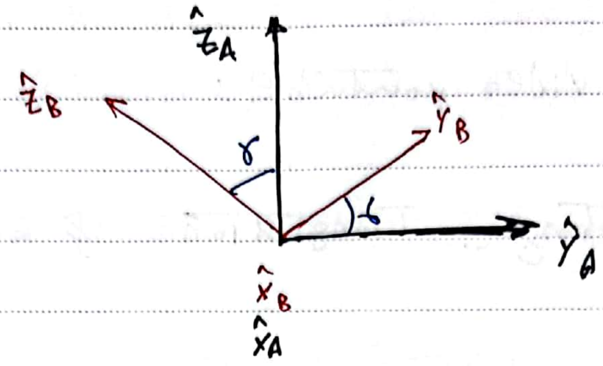


$$\hat{X}_A = c\beta\,\hat{X}_B + 0\,\hat{Y}_B - s\beta\,\hat{Z}_B$$
$$\hat{Y}_A = 0\,\hat{X}_B + 1\,\hat{Y}_B + 0\,\hat{Z}_B$$
$$\hat{Z}_A = -s\beta\,\hat{X}_B + 0\,\hat{Y}_B + c\beta\,\hat{Z}_B$$

$$ {}^{A}_{B}R = \begin{bmatrix} c\beta & 0 & s\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -s\beta & 0 & c\beta \end{bmatrix} $$

#

→ Rotation around X by γ



$$\hat{X}_A = 1\,\hat{X}_B + 0\,\hat{Y}_B + 0\,\hat{Z}_B$$
$$\hat{Y}_A = 0\,\hat{X}_B + c\gamma\,\hat{Y}_B - s\gamma\,\hat{Z}_B$$
$$\hat{Z}_A = 0\,\hat{X}_B + s\gamma\,\hat{Y}_B + c\gamma\,\hat{Z}_B$$

$$^{A}_{B}R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c\gamma & -s\gamma \\ 0 & s\gamma & c\gamma \end{bmatrix} \quad \#$$

➤ The Three angles X - Y - Z Fixed Notation

- بفرض عملنا Rotation بنفس الترتيب $X \to Y \to Z$

لا يعطي نفس النتيجة لو عملنا $Y \to X \to Z$ أو $Z \to Y \to X$

- بعد عمل أول Rotation حول X وعند الانتقال للدوران حول Y يقوم بالدوران حول المحور Y الأصلي وليس الجديد الناتج من الدوران حول X

- Video showing The angles of Roll, Pitch & Yaw

Video youtube

- عند عمل Rotation & Translation بينتج Homogenous Transformation

- Practical visual Illustration of The XYZ Fixed Angles & ZYX Euler Angles

Video youtube "Matlab"

1-

```
>> gamm = 75.6
>> beta = 243.2
>> alpha = 68.4
>> Rx = rotx(gamma*2*pi/360)
>> Ry = roty(beta*2*pi/360)
>> Rz = rotz(alpha*2*pi/360)
>> Rxyzf = Rz*Ry*Rx
>> Tranimate (Rx)
>>    "      (Rx, Ry*Rx)
>>    "      (Ry*Rx, Rz*Ry, Rx)
```

الحالة دي هيدور حول الـ (X) ثم الـ $(Y)_{Fixed}$ ثم الـ $(Z)_{Fixed}$

2-

```
>> tripleangle('rpy', 'wait')
```

الموضوع التاريخ: / /

في حالة ال Fixed يبدأ بالدوران حول X ثم Y ثم Z
في حالة ال Euler يبدأ بالدوران حول Z ثم Y ثم X

- Further Animation of The Rotation Around 3-axis

video youtube "MatLab"

- Comparsion between XYZ Fixed Angle system of ZYX Euler Angle system

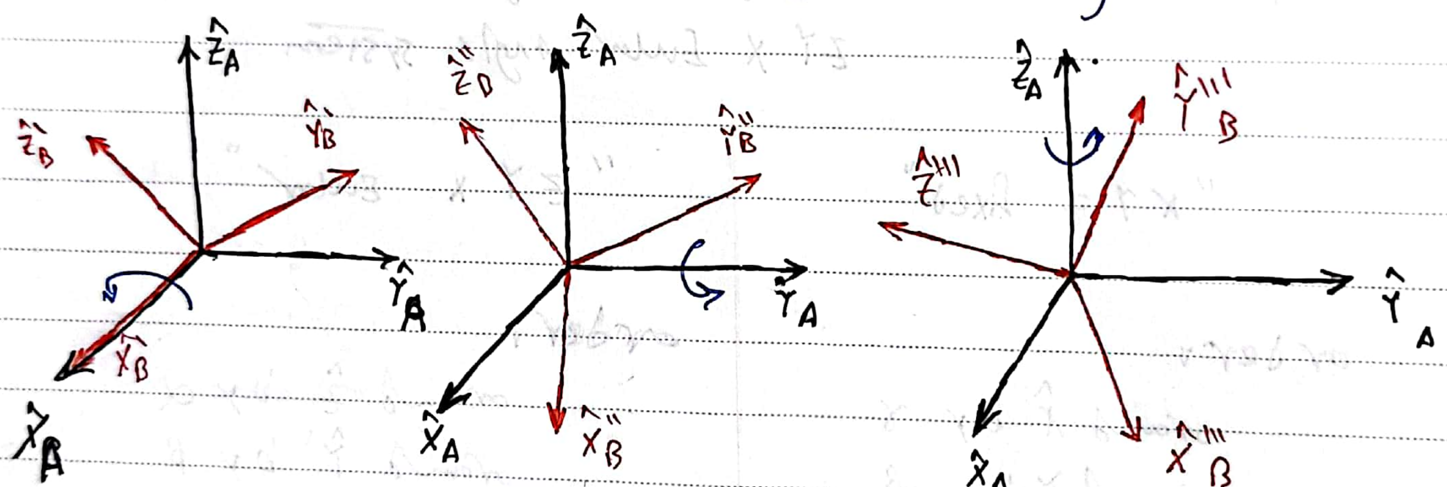
"XYZ fixed"	"ZYX Euler"
order:	order:
around $\hat{X}$ by γ	around $\hat{Z}$ by α
around $\hat{Y}$ by β	around $\hat{Y}'$ by β
around $\hat{Z}$ by α	around $\hat{X}''$ by γ
extrinsic fixed	moving intrinsic
	هنا "X" اتغيرت مرتين

$$[\ ]^{A_P} = \underset{3\times3}{\hat{R}_Z} * \underset{3\times3}{\hat{R}_Y} * \underset{3\times3}{\hat{R}_X}[\ ]$$

NOTE

1- X, Y, Z Fixed angle Convention

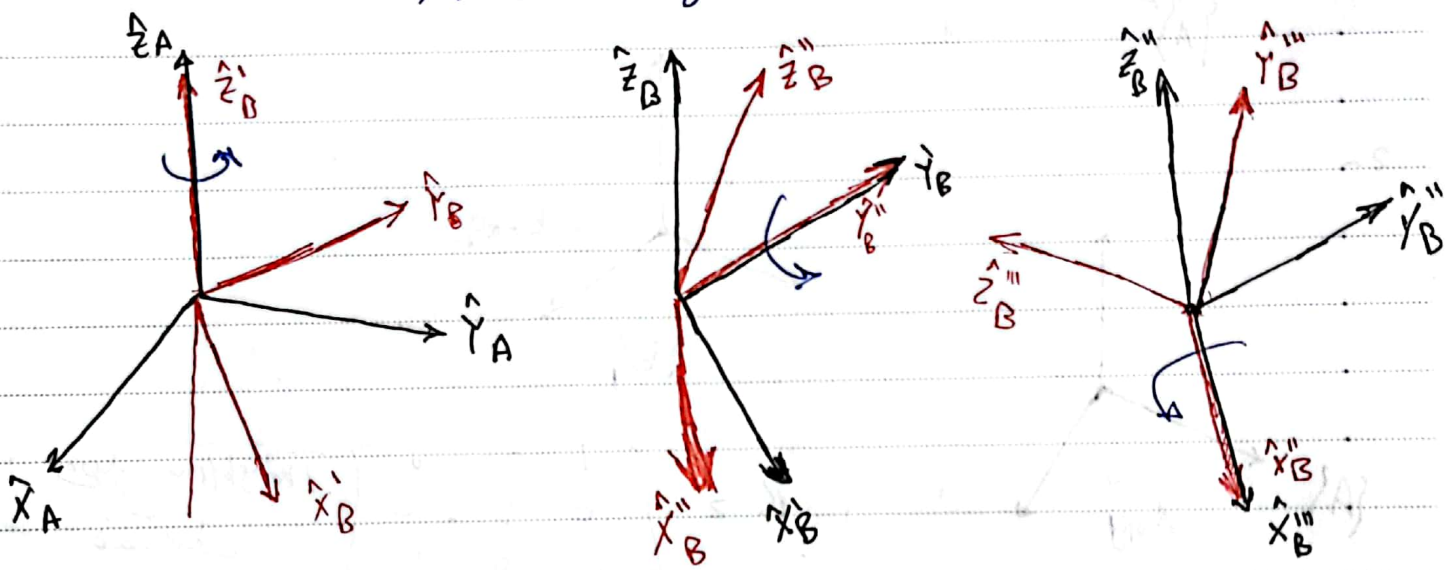
Start with the frame coincident with a known reference frame {A}.
First rotate {B} about $\hat{X}_A$ by an angle γ
$\hat{Y}_A$ by an angle β
$\hat{Z}_A$ by an angle α



SENA

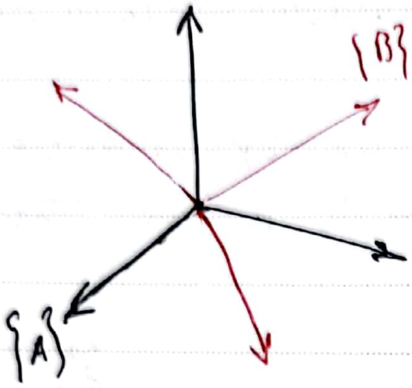
2- Z, Y, X Euler angle Convention

Start with the frame coincident with a known frame {A}.
First rotate {B} about $\hat{Z}_B$ by an angle α, Then rotate about $\hat{Y}_B$ by an angle β and Then rotate about $\hat{X}_B$ by an angle γ



➤ Combining Translation & Rotation of frames

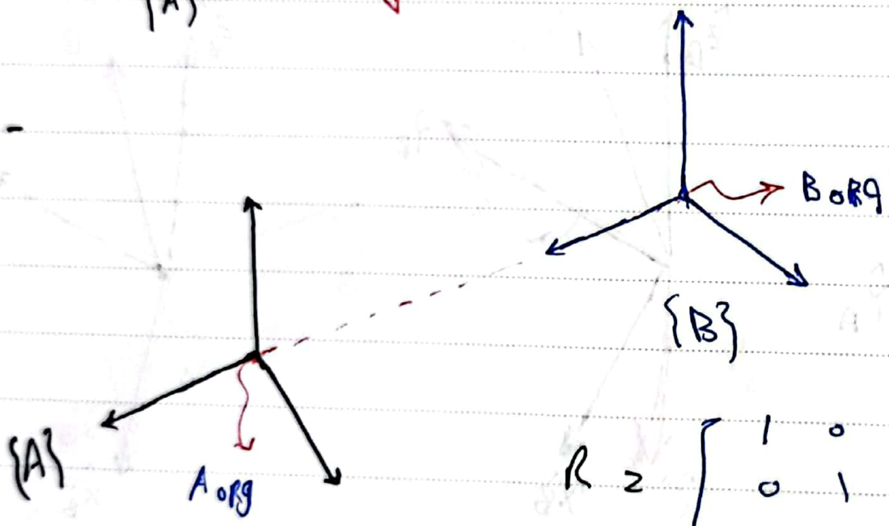
1-



$$^A_BR \quad \mathrm{T} \quad ^AP_{Borg} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

يتم تمثيل frame → position (vector)
→ orientation (matrix)

2-



$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$ حصل Translation فقط

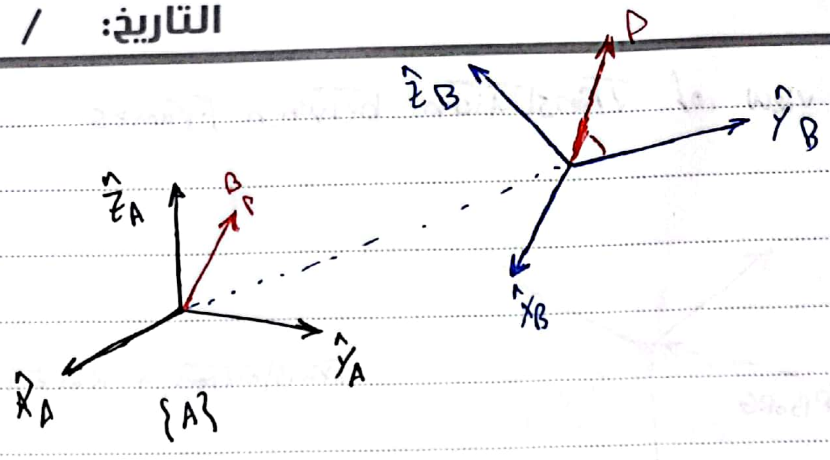
$$^AP_{BoRg} = \begin{bmatrix} ^A\hat{X}_B \\ ^A\hat{Y}_B \\ ^A\hat{Z}_B \end{bmatrix}$$ → Translation دي قيم ال X, Y, Z لـ

$$^AP = {}^A_BR \, {}^BP + {}^AP_{B\,oRg}$$

الموضوع

التاريخ: / /

3-



يفرض انه (X) معطيها شـ دوران ، وبكنه حصل دوران في Y, Z
وتحصل Translation $\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix}$

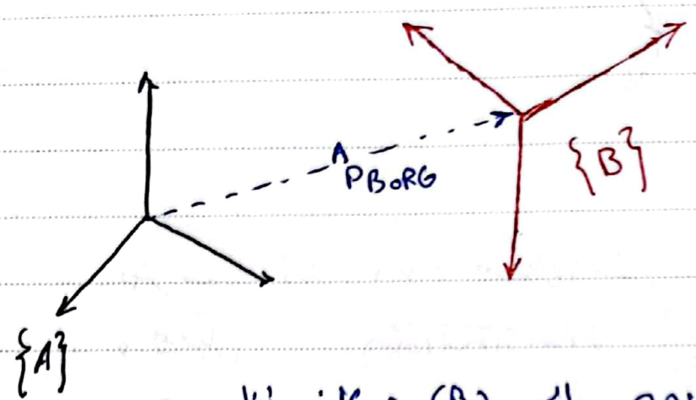
$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c\theta & -s\theta \\ 0 & s\theta & c\theta \end{bmatrix}$$

$$^A P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c\theta & -s\theta \\ 0 & s\theta & c\theta \end{bmatrix} {}^B P$$

$$\underbrace{^A P}_{\text{Vector } P \text{ بالنسبة لـ } A \text{ , column}} = \underbrace{^A_B R}_{\text{Rotation vector}} \, {}^B P + \underbrace{^A P_{BORG}}_{\text{Translation origin , column}}$$

$T \rightarrow$ Transformation

- Diagrammatic view of Translation between Frames



Translation + Rotation

- اتجاه ال vector ${}^{A}P_{Borg}$ اتجاهه الى (B) علشان انا بجيب
(B) بالنسبة ل (A)

$$\underset{3*1}{{}^{A}P} = \underset{3*3}{{}^{A}_{B}R}\ \underset{3*1}{{}^{B}P} + \underset{3*1}{{}^{A}P_{BORG}}$$

$$\underset{4*1}{{}^{A}P} = \underset{4*4}{{}^{A}_{B}T}\ \underset{4*1}{{}^{B}P}$$

← ٤*٤ هنحول دي

طريقة التحويل ال ٤*٤

$${}^{A}_{B}T = \left[\begin{array}{ccc|c} & {}^{A}_{B}R & & {}^{A}P_{BORG} \\ \hline 0 & 0 & 1 & 1 \end{array}\right]$$

"homogenous Transformation"

$$\therefore \begin{bmatrix} {}^{A}P \\ 1 \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{ccc|c} & {}^{A}_{B}R & & {}^{A}P_{BORG} \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}\right] \begin{bmatrix} {}^{B}P \\ \hline 1 \end{bmatrix} = {}^{A}_{B}R\ {}^{B}P + {}^{A}P_{BORG}$$

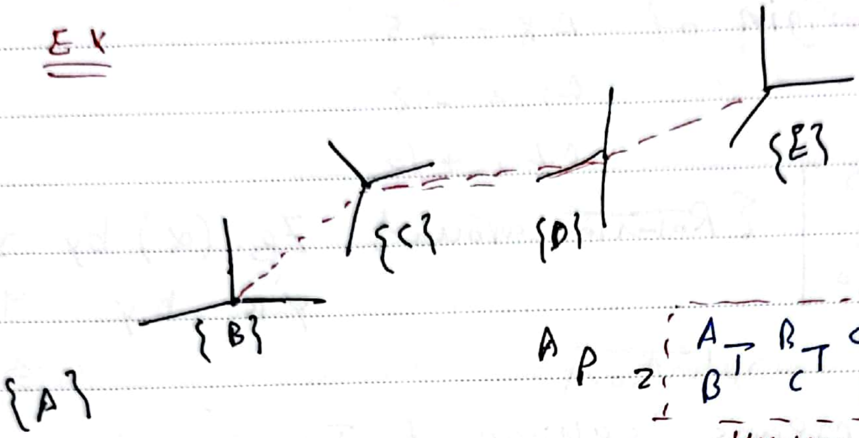
الموضوع

التاريخ: / /

- احنا حولناها للطريقة دى عشان السهولة زى

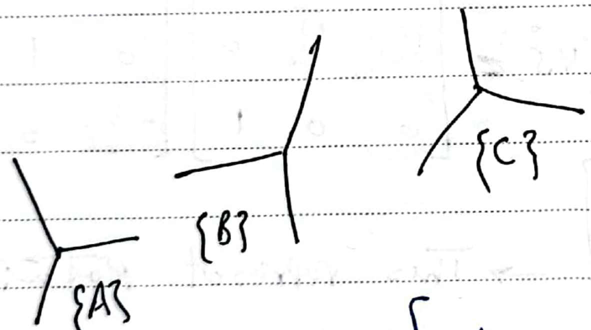
$${}^{A}_{C}R = {}^{A}_{B}R \; {}^{B}_{C}R$$

Ex



$${}^{A}P = \underbrace{{}^{A}_{B}T \; {}^{B}_{C}T \; {}^{C}_{D}T \; {}^{D}_{E}T}_{4\times 4} \cdot {}^{E}P$$

- The Transformation Matrix "T" is very compact & practical.



$${}^{A}_{C}T = \left[\begin{array}{ccc|c} & {}^{A}_{B}R & & {}^{A}P_{BORG} \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}\right] \left[\begin{array}{ccc|c} & {}^{B}_{C}R & & {}^{B}P_{CORG} \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}\right]$$

$$= \left[\begin{array}{ccc|c} & {}^{A}_{B}R \; {}^{B}_{C}R & & {}^{A}_{B}R \; {}^{B}P_{CORG} + {}^{A}P_{BORG} \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}\right]$$

الموضوع	التاريخ: / /

➤ Numerical Example on Homogeneous Transformation

Find ${}^{A}_{B}T$ To reflect The following:
shift in The origin of $\Delta x = +5$

$\Delta y = -2$

$\Delta z = +10$

$P_{B\,ORG} = \begin{bmatrix} +5 \\ -2 \\ +10 \end{bmatrix}$ { Rotation around Z_B (α) by 30°.
Y'_B by 45°.

Euler

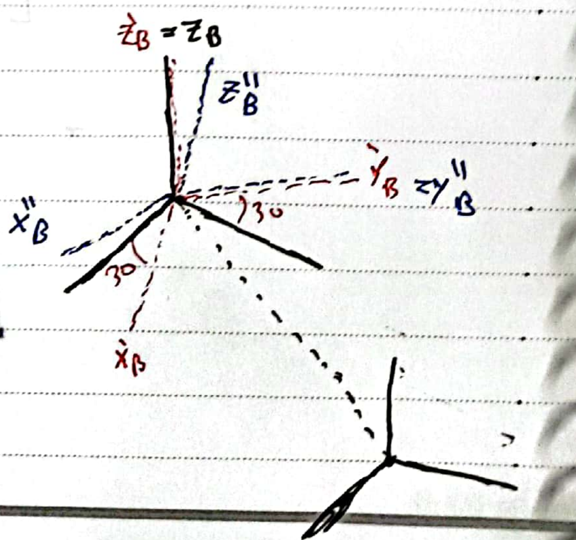
Solution

This rotation means equivalent To
fixed by 45° around Y_A Then 30°
around Z_A

$${}^{A}_{B}R = R_z(30^\circ) \cdot R_y(45^\circ) = \begin{bmatrix} \sqrt{3}/2 & -1/2 & 0 \\ 1/2 & \sqrt{3}/2 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 0 & 1/\sqrt{2} \\ 0 & 1 & 0 \\ -1/\sqrt{2} & 0 & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix}$$

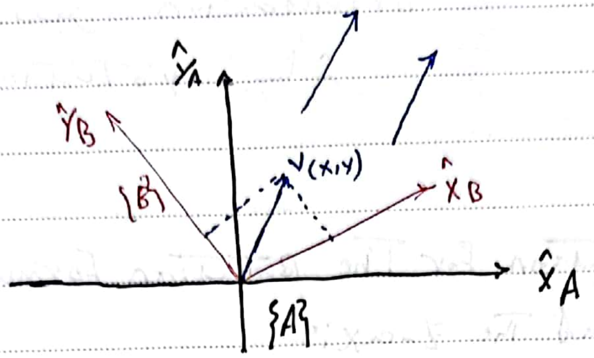
$$= \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} & -1/2 & \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} \\ \frac{1}{2\sqrt{2}} & \sqrt{3}/2 & \frac{1}{2\sqrt{2}} \\ -1/\sqrt{2} & 0 & 1/\sqrt{2} \end{bmatrix}$$ → This represent Rotation

$$\therefore \; {}^{A}_{B}T = \left[\begin{array}{ccc|c} & {}^{A}_{B}R & & \begin{matrix} 5 \\ -2 \\ 10 \end{matrix} \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}\right]$$



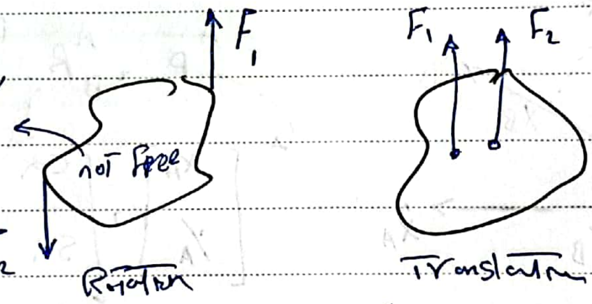
SENA

➤ The concept of a Free vector "Ex-velocity vector"

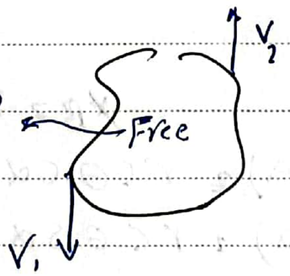


- الـ "Free vectors" لا يهمني فيه نقطة التأثير ومثال لذلك متجه السرعة بيقابله العكس متجه القوة الذي لا يمثل Free vector لأنه نقطة التأثير متغير من حالة الجسم إختلافها

لأنه نقطة الـ origin بيتأثر من كل حالة



لأنه اختلاف الـ origin لا يؤثر على حالة الجسم



$V_1 > V_2$
downward

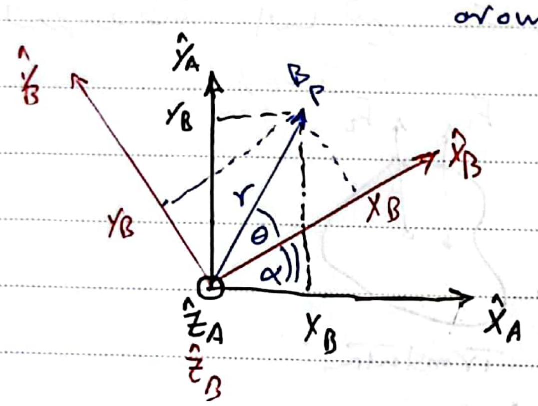
rotation affect Free vectors
Translation does not affect Free vectors

- الـ displacement ليست Free vector لأنه نقطة التأثير بتفرق

- عند حل ال Transformation ك ال Velocity متشابهة بتفضل ال
ثابتة ونكتب بغير orientation
ولكن ال rotation بيأثر

➤ The Best Derivation for The Rotation Formula
around The z-axis

لو معي Vector موجود بالنسبة {B} وعاوز اعرف موقعه بالنسبة {A}
{B} rotation by positive angle = α
around {A}



$${}^{A}P = {}^{A}_{B}R \; {}^{B}P$$

$$\begin{bmatrix} x_A \\ y_A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C\alpha & -S\alpha \\ S\alpha & C\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_B \\ y_B \end{bmatrix}$$

$x_B = r\cos\theta \qquad y_B = r\,S\theta$

$x_A = r\,C(\theta+\alpha) = r\,C\theta\,C\alpha - r\,S\theta\,S\alpha$

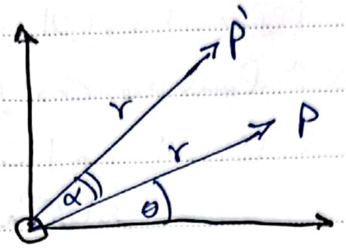
$y_A = r\,S(\theta+\alpha) = r\,C\theta\,S\alpha + r\,C\alpha\,S\theta$

$\therefore\ x_A = x_B\,C\alpha - y_B\,S\alpha$

$\rightarrow\ y_A = x_B\,S\alpha + y_B\,C\alpha$

$\rightarrow\ R_z(\alpha) = {}^{A}_{B}R$

- Showing That Rotation of a vector is Equivalent The opposite Rotation of The Frame



$$P' = \left[\quad \right] P$$

الحالة دي مطابقة للحالة دوران ال Frame الى فاتت

- The overall Final Rotation Matrix With The Angles "α, β, γ".

Fixed Rotation X Y Z , γ, β, α
Euler Rotation Z Y X , α, β, γ

$${}^{A}_{B}R_{XYZ}(\gamma,\beta,\alpha) = R_z(\alpha) \cdot R_y(\beta) \cdot R_x(\gamma)$$

associative
not commutative

$$= \begin{bmatrix} C\alpha & -S\alpha & 0 \\ S\alpha & C\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C\beta & 0 & S\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -S\beta & 0 & C\beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C\gamma & -S\gamma \\ 0 & S\gamma & C\gamma \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} C\alpha C\beta & -S\alpha & C\alpha S\beta \\ S\alpha C\beta & C\alpha & S\alpha S\beta \\ -S\beta & 0 & C\beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C\gamma & -S\gamma \\ 0 & S\gamma & C\gamma \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} C\alpha C\beta & C\alpha S\beta S\gamma - S\alpha C\gamma & S\alpha S\gamma + C\alpha S\beta C\gamma \\ S\alpha C\beta & S\alpha S\beta S\gamma + C\alpha C\gamma & S\alpha S\beta C\gamma - C\alpha S\gamma \\ -S\beta & C\beta S\gamma & C\beta C\gamma \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$

- طيب لو اداني اخر ماتركس [٢ ٢ ٢ / ٢ ٢ ٢] وبدين ثم حقيقيه منها وعاوز اجيب الزوايا

جا	كل
ظا	جتا

المفروضة لما اجي اطلع الزاوية اجيبها من قيمتها sin و cos ومجيبهاش من Tan علشان ممكن اغير الاشارة ويكون فيه قيمتان ممكنتان

Ex

$$r_{31} = -S\beta \Rightarrow S\beta = -r_{31}$$

$$r_{11}^2 + r_{21}^2 = C^2\alpha C^2\beta + S^2\alpha C^2\beta$$

$$= C\beta \sqrt{C^2\alpha + S^2\alpha} = C\beta$$

$$\therefore \beta = A\,Tan2\left(-r_{31}, \sqrt{r_{11}^2 + r_{21}^2}\right)$$

$$\theta = A\,Tan2(\sin\theta, \cos\theta)$$

- Finding The Three Angles from The overall Final Rotation Matrix

تكملة المثال السابق

$$S\alpha = \frac{r_{21}}{C\beta} \qquad C\alpha = \frac{r_{11}}{C\beta}$$

$$\alpha = A\,Tan2\left(\frac{r_{21}}{C\beta}, \frac{r_{11}}{C\beta}\right)$$

$$S\gamma = \frac{r_{32}}{C\beta} \qquad C\gamma = \frac{r_{33}}{C\beta}$$

$$\gamma = A\,Tan2\left(\frac{r_{32}}{C\beta}, \frac{r_{33}}{C\beta}\right)$$

الموضوع   التاريخ: /   /

- Two Robotics Toolbox commands for Translation & Rotation from T

video MatLab

Robotics & Homogenous Transformation الـ لعمل

commands

$>>T = \text{Transl}(x, y, z)$

$>>T = \text{TrotX}(\theta x)$

$$T = \begin{bmatrix} \boxed{Rot} & \text{Trans} \\ 0\ 0\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$