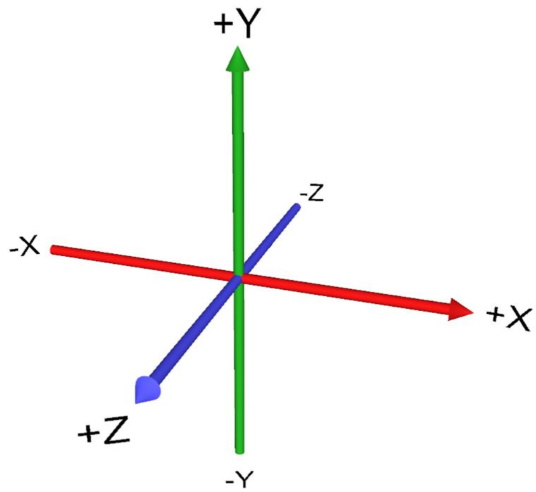
Denavit Hartenberg နဲ့ Representation လုပ်တဲ့အခါမှ step နှစ်ခုရှိတယ်

ရှေးဦးစွာ Coordinate Frame တွေဖြစ်တဲ့ X-axis ,Y-axis နဲ့ Z-axis တို့ကို တစ်ခုနဲ့ တစ်ခု Perpendicular ဖြစ်တယ်လို့ သိထားပါ။

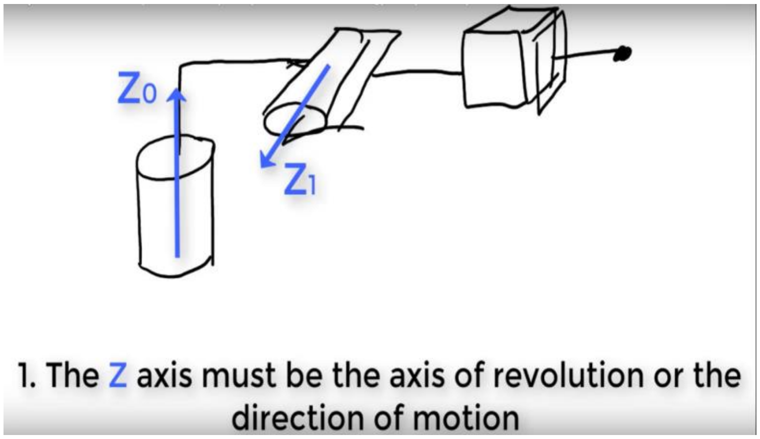


Step (1) - Assign Coordinate Frames with Four Denavit Hartenberg Rules

Step 1 မစခင် Preliminary အနေနဲ့မှတ်သားထားရမှာနှစ်ခုရှိတယ် - ပထမတစ်ချက်က Joint အရေအတွက်ထက် Frame အရေအတွက်က အနည်းဆုံး ၁ ခုပိုများရမယ် ၊ Frame တစ်ခုက End-Effector တစ်ခုဖြစ်ကိုဖြစ်ရမယ်။ ဒုတိယတစ်ချက်က Frame တွေကို arrow တွေနဲ့ ဆွဲတဲ့အခါ arrow pointer တွေကို up , down , right , left (or) First quadrant နဲ့ Third quadrant မှာရှိလို့ရတယ် - ဒါပေမယ့် second quadrant နဲ့ fourth quadrant မှာတော့ မရှိဘူး။

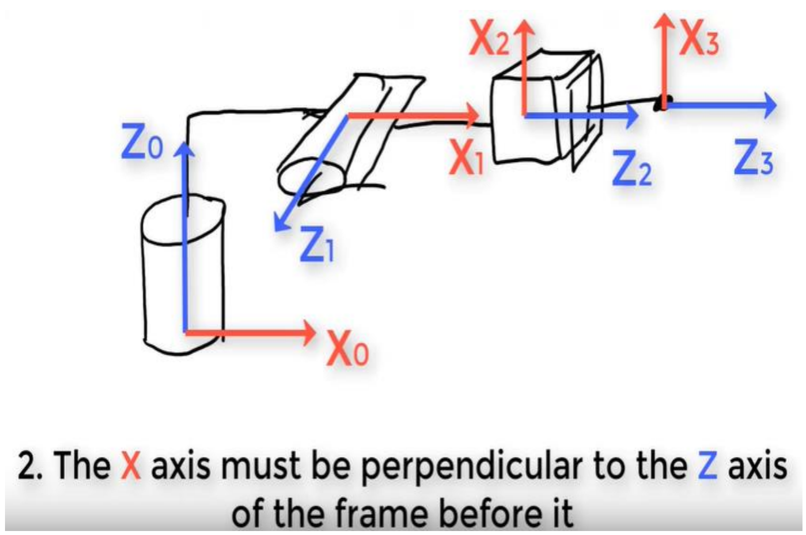
ကဲ စလိုက်ကြစို့

Rule 1 - Z-axis က axis of revolution (or) direction of motion ဖြစ်ရမယ် - ဆိုလိုချင်တာက လှည့်လို့ရတဲ့ revolute joint မှာသတ်မှတ်ရမယ် (or) ဆန့်ထွက်နိုင်တဲ့ prismatic joint မှာသတ်မှတ်ရမယ်။



1. The Z axis must be the axis of revolution or the direction of motion

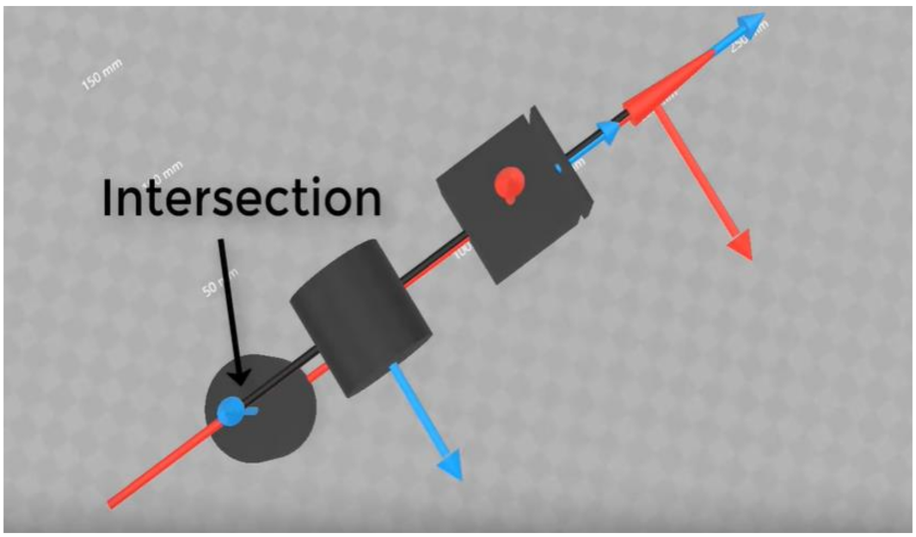
Rule 2 - Frame တစ်ခုရဲ့ X-axis က မည်သည့် Frame ရဲ့ Z-axis ကိုမဆို Perpendicular (ထောင့်မှန်) ကျရမယ်။



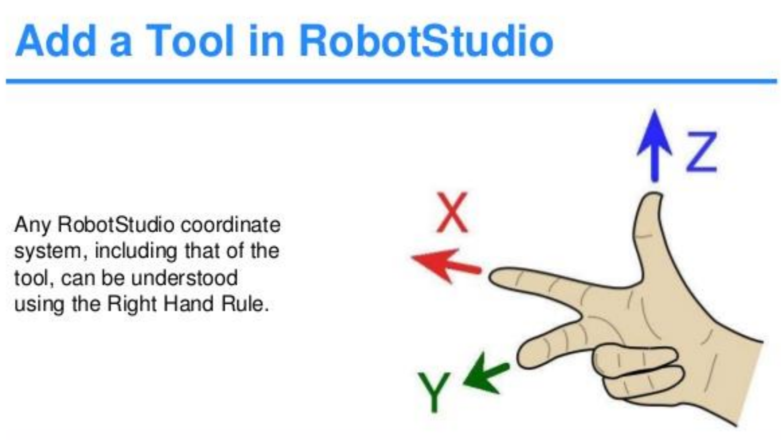
2. The X axis must be perpendicular to the Z axis of the frame before it

Rule 3 - Frame တစ်ခုရဲ့ X-axis က မည်သည့် Frame ရဲ့ Z- axis ကိုမဆို Intersection(ဖြတ်သွား) ရမယ် - Plane မတူတဲ့အတွက် ယေဘူယျအားဖြင့် intersection မဖြစ်နိုင်ပေမယ့် လုပ်လို့ရမယ့် Option နှစ်ခုရှိတယ်

Option 1 - X-axis ကို Z-axis အား intersection ဖြစ်သည်အထိ revolute လုပ်ပါ။
Option 2 - X-axis ကို Z-axis အား intersection ဖြစ်သည်အထိ translate လုပ်ပါ
(မှတ်ချက် - Option 1 ကိုလုပ်လို့မရမှ Option 2 ကိုလုပ်ပါ)



Rule 4 - Y-axis ကို Right-Hand Rule အရလိုက်နာသတ်မှတ်ပါ (ဒါက သိရုံပဲ) ။



Step (2) - Fill Out the Denavit Hartenberg Parameter Table

Table မှ ဖြည့်ရမယ့် Parameter လေးခုရှိတယ် - theta , alpha , r , d တို့ဖြစ်ပါတယ်

Frame နှစ်ခုကို ယှဉ်တဲ့အခါ

Frame 0 ->> F(n-1) လို့သတ်မှတ်မယ်

Frame 1 ->> F(n) လို့သတ်မှတ်မယ်

ပိုရှင်းအောင်ထပ်ပြောရရင် နောက် Frame တစ်ခုကိုသတ်မှတ်တဲ့အခါကြတော့

Frame 1 ->> F(n-1) ဖြစ်သွားမယ်

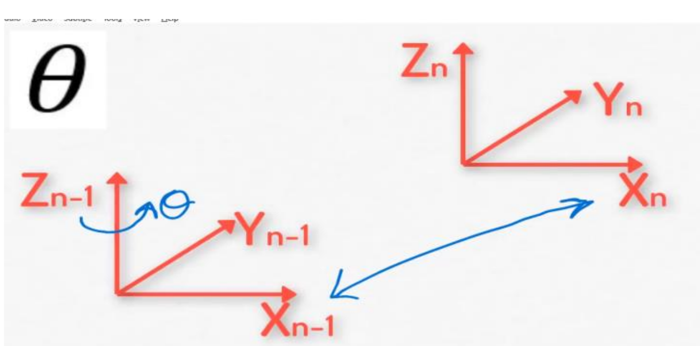
Frame 2 ->> F(n) ဖြစ်သွားမယ်

Parameter တွေအကြောင်း စပြောကြစို့ ။

Theta , Alpha - Rotational Parameters
r , d - Displacement Parameters

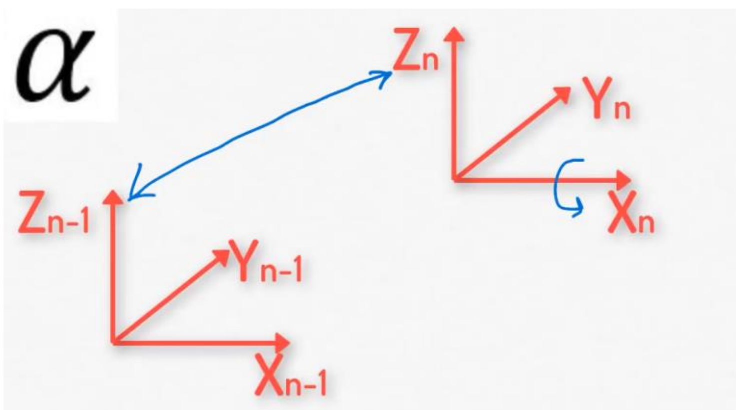
(1)Theta Parameter

F(n-1) ရဲ့ X- axis ကို F(n) ရဲ့ X-axis နဲ့ match ဖြစ်အောင် F(n-1) ရဲ့ Z-axis ကို rotate လုပ်ပါ - match ဖြစ်အောင် rotate လုပ်တယ်ဆိုတာက Frame နှစ်ခုရဲ့ X-axis တွေကို same direction ဖြစ်အောင်လုပ်တာပါ။ Theta Angle ယူတဲ့အခါမှာ နောက်ထပ် ထည့်စဉ်းစားရမယ့်နှစ်ချက်ရှိပါတယ် - ပထမတစ်ချက်က joint က revolute joint ဖြစ်ခဲ့ရင် မူလ revolute လုပ်တုန်းက ရထားတဲ့ theta angle (may be 0,90,180.......) ကို theta (theta sign) ထပ်ပေါင်းထည့်ပေးပါ။ ဒုတိယတစ်ချက်က joint က revoulte joint မဖြစ်ခဲ့ရင်ထပ်ပေါင်းစရာမလို ။ ပြီးရင် theta angle ကိုယူပါ ။



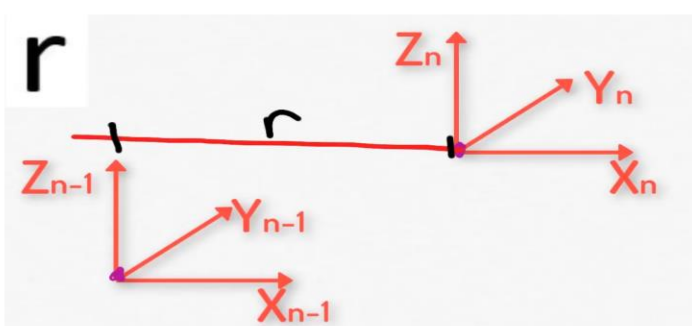
(2) Alpha Parameter

F(n-1) ရဲ့ Z- axis ကို F(n) ရဲ့ Z-axis နဲ့ match ဖြစ်အောင် F(n) ရဲ့ X-axis ကို rotate လုပ်ပါ - match ဖြစ်အောင် rotate လုပ်တယ်ဆိုတာက Frame နှစ်ခုရဲ့ Z-axis တွေကို same direction ဖြစ်အောင်လုပ်တာပါ။ ပြီးရင် Alpha Angle ယူပါ။



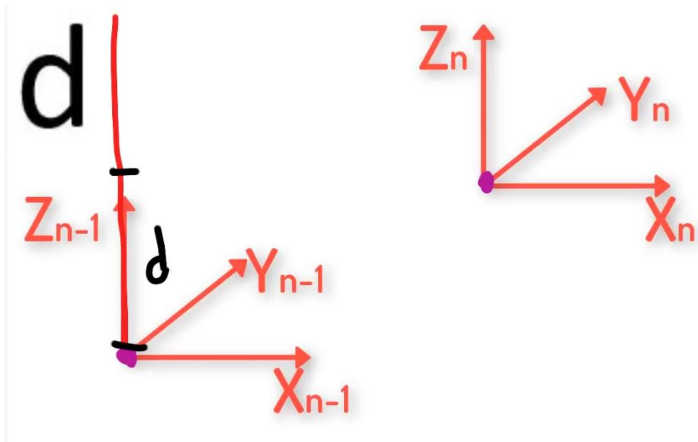
(3) r Parameter

F(n-1) ရဲ့ centre of frame(origin) နဲ့ F(n) ရဲ့ centre of frame(origin) ကို F(n-1) ရဲ့ X-axis direction အလိုက် တိုင်းတာပြီး link length ကို ယူတာပါ ။



(4) d Parameter

F(n-1) ရဲ့ centre of frame(origin) နဲ့ F(n) ရဲ့ centre of frame(origin) ကို F(n-1) ရဲ့ Z-axis direction အလိုက်တိုင်းတာပြီး link length ကို ယူတာပါ - အကယ်၍ joint variable ရှိခဲ့ရင် ထို length ပါ ထည့်ပေါင်းပေးပါ ။



► Example ပြပါမယ် ။

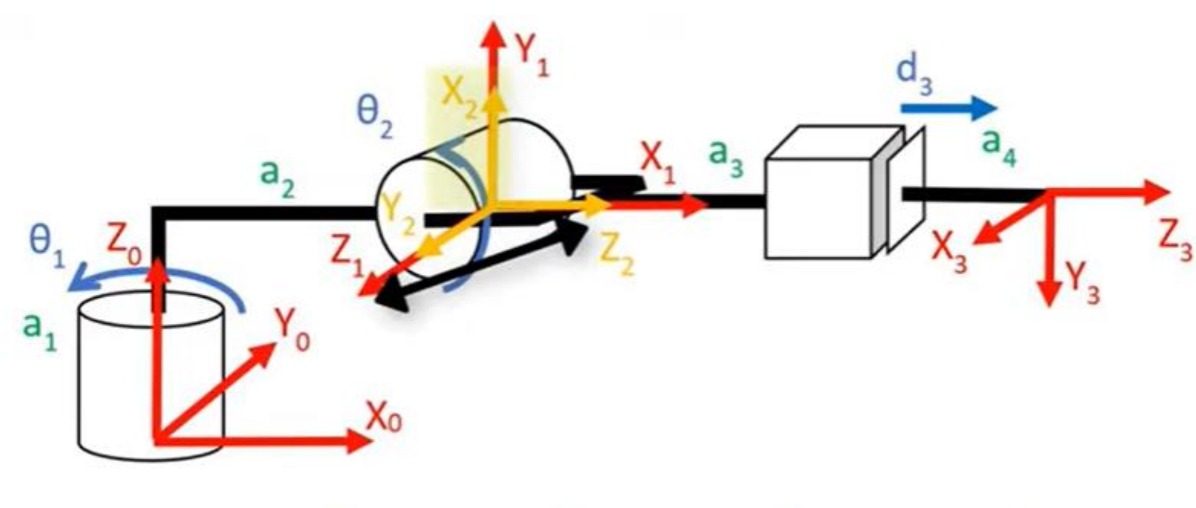


Figure : Example

Parameter Table ကရလာတဲ့ value တွေနဲ့
Homogeneous Transformation Matrix တွက်ပြပါမယ် - ပုံမှာ တခါတည်း ကြည့်နိုင်ပါသည်။

$$H_n^{n-1} = \begin{bmatrix} C(\theta_n) & -S(\theta_n)C(\alpha_n) & S(\theta_n)S(\alpha_n) & r_n C(\theta_n) \\ S(\theta_n) & C(\theta_n)C(\alpha_n) & -C(\theta_n)S(\alpha_n) & r_n S(\theta_n) \\ 0 & S(\alpha_n) & C(\alpha_n) & d_n \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

	θ	α	r	d
1	θ_1	90	a_2	a_1
2	90+θ_2	90	0	0
3	90	0	0	$a_3 + a_4 + d_3$

$$H_3^2 = \begin{bmatrix} C(90) & -S(90)C(0) & S(90)S(0) & 0 \\ S(90) & C(90)C(0) & -C(90)S(0) & 0 \\ 0 & S(0) & C(0) & a_3 + a_4 + d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H_1^0 = \begin{bmatrix} C(\theta_1) & -S(\theta_1)C(90) & S(\theta_1)S(90) & a_2 C(\theta_1) \\ S(\theta_1) & C(\theta_1)C(90) & -C(\theta_1)S(90) & a_2 S(\theta_1) \\ 0 & S(90) & C(90) & a_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H_2^1 = \begin{bmatrix} C(90+\theta_2) & -S(90+\theta_2)C(90) & S(90+\theta_2)S(90) & 0 \\ S(90+\theta_2) & C(90+\theta_2)C(90) & -C(90+\theta_2)S(90) & 0 \\ 0 & S(90) & C(90) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H_3^0 = H_1^0 H_2^1 H_3^2$$

www.robogrok.com

Reference - https://www.youtube.com/user/asodemann3/