

## Automatyka i Robotyka w Medycynie, Laboratorium

### Ćwiczenie 11. *Kinematyka prosta manipulatorów*

#### Program ćwiczenia:

1. Utwórz nowy projekt w programie *Maxima* i wprowadź do niego macierze przekształceń jednorodnych dla transformacji elementarnych:  $Rot_x(\theta)$ ,  $Rot_y(\theta)$ ,  $Rot_z(\theta)$ ,  $Tr(a, b, c)$ . Zastosuj składnię definicji funkcji, np. dla pierwszej z macierzy przyjmie ona postać:  

$$Rotx(t) := matrix([1, 0, 0, 0], [0, \cos(t), -\sin(t), 0], [0, \sin(t), \cos(t), 0], [0, 0, 0, 1]);$$
 Wprowadzone macierze będą potrzebne w dalszych punktach ćwiczenia. Zaleca się zapisanie wprowadzonych macierzy do pliku rezerwowego i pracę na jego kopii.
2. Podaj zależności na współrzędne zewnętrzne końcówki manipulatora w układzie bazowym  $(x, y)$  w funkcji współrzędnych konfiguracyjnych  $(\theta_1, \theta_2)$  dla układu typu SCARA o strukturze rozważanej na wykładzie (dla długości ramion przyjmij oznaczenia  $d_1$  i  $d_2$ ):

$$x =$$

$$y =$$

3. Wyżej zapisane zależności można uzyskać przez złożenie przekształceń elementarnych:  $r = Rot_z(\theta_1)Tr(d_1, 0, 0)Rot_z(\theta_2)Tr(d_2, 0, 0)[0, 0, 0, 1]^T$ , gdzie wektor  $r = [x, y, 0, 1]^T$ . Wykonaj obliczenia w programie *Maxima* (mnożenie macierzy reprezentuje operator „kropka”) i sprawdź poprawność rozwiązania przez porównanie z wynikiem z punktu 2. Przedstaw rezultat prowadzącemu.
4. Pliki `circle.txt`, `square.txt` i `triangle.txt` zawierają w dwóch kolumnach ciąg kolejnych wartości kątów  $(\theta_1, \theta_2)$ , wyrażonych w stopniach, które podane na rozważany manipulator typu SCARA spowodują wykreślenie przez jego końcówkę kształtów odpowiednio: okręgu, kwadratu i trójkąta.

Uzupełnij skrypt *Scilaba ScaraPlot.sce*, w miejscu oznaczonym odpowiednim komentarzem, o instrukcje wykonujące przeliczenie z ciągu kątów  $\theta_1, \theta_2$ , reprezentowanych przez zmienne  $t1, t2$ , do współrzędnych zewnętrznych  $x, y$ . Przyjmij długości ramion manipulatora:

$$d_1 = \dots\dots\dots \quad d_2 = \dots\dots\dots$$

Wykonaj skrypt dla trzech kolejnych plików z danymi i sprawdź, czy uzyskiwane wykresy, przedstawiające trajektorię końcówki manipulatora w układzie bazowym, mają postać regularnego okręgu, kwadratu i trójkąta. Jeden z wykresów przedstaw prowadzącemu.

5. W skrypcie `ScaraSim.sce` wprowadź wartości zmiennych  $d1$  i  $d2$ , reprezentujące długości ramion robota. Uruchom skrypt dla trzech kształtów trajektorii, jak w punkcie 4. Zostanie przeprowadzona animacja pracy manipulatora dla zadanej trajektorii. Zwróć uwagę na ruch robota i odpowiadające mu zmiany współrzędnych konfiguracyjnych, wyświetlane na dolnym wykresie. Jeden z wyników animacji przedstaw prowadzącemu.
6. Wygeneruj losowo trzy różne pary liczb całkowitych z przedziału  $[0, 359]$ , odpowiadające trzem konfiguracjom  $(\theta_1, \theta_2)$  manipulatora SCARA. Parę takich liczb można uzyskać

przy pomocy instrukcji *Scilaba*: `grand('setsd', getdate('s'))` jednorazowo, następnie `grand(1, 2, 'uin', 0, 359)` dla każdej pary. Dokonaj przeliczenia współrzędnych konfiguracyjnych  $(\theta_1, \theta_2)$  na współrzędne zewnętrzne  $(x, y)$ , wykorzystując program *Scilab* lub *Maxima* i wyniki poprzednich punktów ćwiczenia. Uwzględnij tylko te pary współrzędnych, dla których  $y > 0$ , odrzucając przypadki niespełniające tego warunku. Na podstawie uzyskanych wyników wypełnij poniższą tabelę:

Punkt	$\theta_1$	$\theta_2$	$x$	$y$
A				
B				
C				

- Zmodyfikuj skrypt *ScaraSim.sce*, zastępując fragment wczytujący wartości  $t_1$  i  $t_2$  kodem, który wygeneruje trajektorię zamkniętą o kształcie trójkąta we współrzędnych konfiguracyjnych, tzn. ciąg odcinków pomiędzy punktami  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ , gdzie A, B, C są współrzędnymi  $(\theta_1, \theta_2)$  z tabeli przygotowanej wyżej. Przyjmij liczbę punktów  $n = 70$  dla każdego z odcinków. Wykonaj skrypt i sprawdź: czy współrzędne wierzchołków  $(x, y)$  w układzie bazowym zgadzają się z obliczeniami z tabeli?, czy kształt odcinków w tymże układzie jest prostoliniowy? Wyniki animacji i wnioski przedstaw prowadzącemu.
- W programie *Maxima* wprowadź funkcję (analogicznie jak w punkcie 3) przeliczającą współrzędne konfiguracyjne na położenie punktu mocowania narzędzia w układzie bazowym dla robota ABB IRB120 ( $d_1 = 290, d_2 = 270, d_3 = 302, d_4 = 70, d_5 = 72$ ):

$$r = Tr(0,0,d_1)Rot_z(\theta_1)Rot_y(\theta_2)Tr(0,0,d_2)Rot_y(\theta_3) \\ Tr(d_3,0,d_4)Rot_x(\theta_4)Rot_y(\theta_5)Tr(d_5,0,0)[0,0,0,1]^T$$

- Otwórz program *RoKiSim* i wybierz robot ABB IRB120 (*File*  $\rightarrow$  *Load a robot*), usuń narzędzie (*File*  $\rightarrow$  *Remove the tool*).
- Losowo wygeneruj trzy różne konfiguracje  $(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5)$  dla robota ABB IRB120. Uwzględnij ograniczenia nałożone na poszczególne kąty, które są podane w programie *RoKiSim*. Wartości dla kąta  $\theta_1$  można wygenerować np. przy użyciu instrukcji *Scilaba* `grand(3, 1, 'uin', -165, 165)`, analogicznie dla pozostałych kątów. Po uzyskaniu współrzędnych konfiguracyjnych, przelicz je na współrzędne w układzie bazowym (z dokładnością dwóch cyfr po przecinku), wykorzystując funkcję zdefiniowaną w pkt. 8. Na podstawie wyników wypełnij poniższą tabelę:

Punkt	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$	$\theta_4$	$\theta_5$	$x$	$y$	$z$
A								
B								
C								

- Wprowadź kolejno trzy konfiguracje  $(\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, \theta_5)$  z powyższej tabeli do programu *RoKiSim* i sprawdź, czy uzyskiwane współrzędne w układzie bazowym  $(x, y, z)$  są zgodne z wynikami obliczeń. Dla jednej z konfiguracji rezultat przedstaw prowadzącemu.