Identyfikacja parametrów geometrycznych robota dydaktycznego ROMIK

I. Dulęba, A. Mazur, M. Wnuk

1 Cel ćwiczenia.

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się ze strukturą kinematyczną robota dydaktycznego ROMIK oraz identyfikacja jego parametrów geometrycznych.

2 Podstawy teoretyczne.

2.1 Charakterystyka robota ROMIK.

Robot dydaktyczny ROMIK jest małym manipulatorem napędzanym silnikami skakowymi. Sterownik wbudowany do robota wykorzystuje mikrokontroler MC68332. Oprogramowanie sterownika komunikuje się z komputerem nadrzędnym przy pomocy asynchronicznej transmisji szeregowej (19200, 8N1). Pozwala to na sterowanie ręczne (nie wykorzystywane w ćwiczeniu) oraz na zadawanie i odczytywanie chwilowych położeń silników (m_i). Położenia napędów wyrażone są w postaci liczb całkowitych oznaczających ilość skoków zliczaną od pewnego (umownego) stanu początkowego. Ustalenie stanu początkowego po włączeniu sterownika odbywa się automatycznie przez doprowadzenie poszczególnych osi do położeń, w których są włączone wyłączniki krańcowe (procedura synchronizacji). W tej konfiguracji, zwanej **konfiguracją synchronizacji**, wszystkie liczniki położenia silników są ustawiane na wartość 5000. Każdorazowe wyłączenie zasilania napędów powoduje utratę informacji o pozycji i konieczność powtórzenia procedury synchronizacji.
Ze względu na bezpośrednie przeniesienie napędu na przeguby (osie) 1 i 2, ich wyłączniki krańcowe są osiągane przy ustalonych wartościach kątów $\{\theta_{Si} = q_{Si} | i = 1, 2\}$, co odpowiada ustalonym pozycjom silników m_{S1}, m_{S2}. Napęd przegubu 3 odbywa się względem ogniwa 1 (a nie 2), wobec czego wyłącznik krańcowy w tym przegubie jest osiągany przy ustalonej wartości kąta $\theta_{S3} = q_{S3} - q_{S2}$, a więc również przy wielu innych parach kątów q_2, q_3 i odpowiadających im pozycjach silników m_2, m_3.
Napęd przegubów 4 i 5 odbywa się również względem ogniwa 1, za pośrednictwem mechanizmu różnicowego. Zmiana kąta q_4 jest proporcjonalna do sumy zmian pozycji silników $m_4 + m_5$, a zmiana kąta q_5 - do ich różnicy $(m_5 - m_4)$. Tu również wyłączniki krańcowe napędów 4 i 5 są osiągane przy wielu konfiguracjach q_3, q_4, q_5.

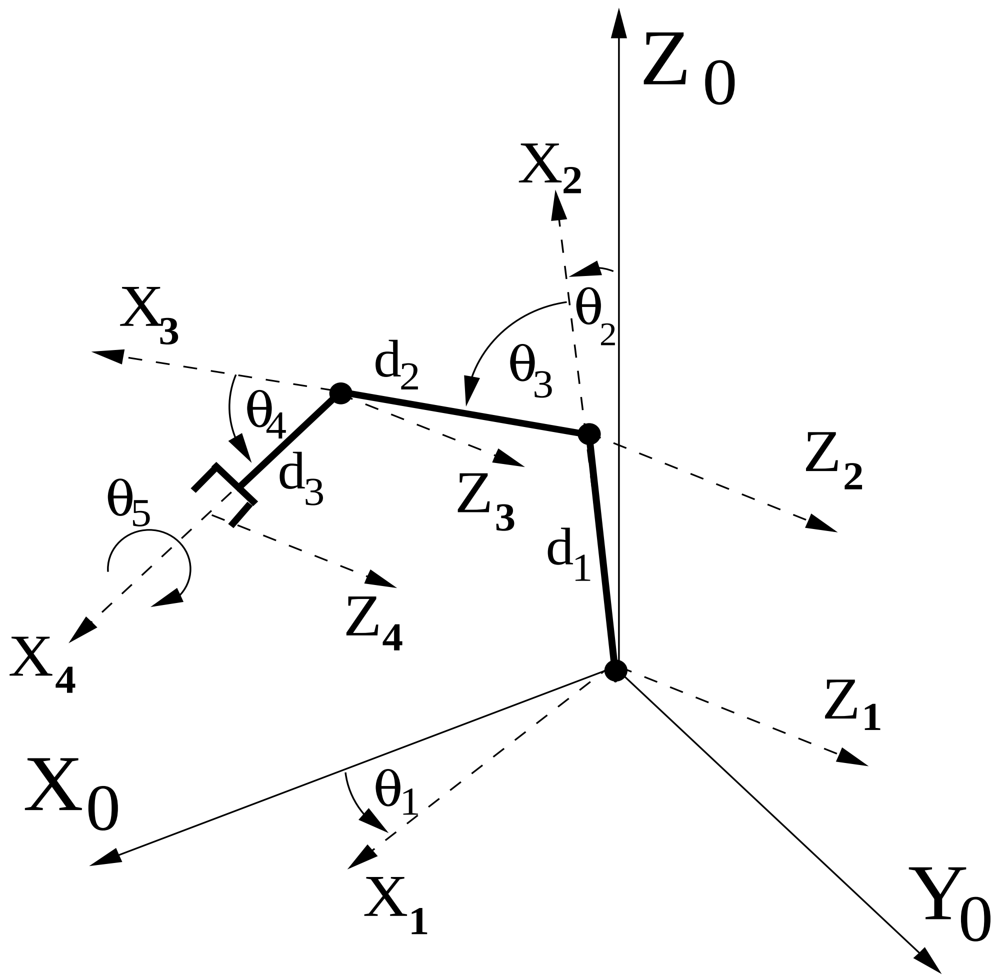
2.2 Struktura kinematyczna dla współrzędnych przegubowych θ_i.

Schemat ideowy robota dydaktycznego ROMIK przedstawiono na rys. 1. Na końcu każdego ogniwa robota dołączony jest układ lokalny stowarzyszony z tym ogniwem. Płaszczyzna planarności robota jest wyznaczona przez osie X_1 i Y_1 układu bazowego (podstawowego). Osie: Z_1, Z_2, Z_3 i Z_4 są prostopadłe do płaszczyzny planarności.

Współrzędnymi wewnętrznymi są:

θ_1 - kąt obrotu kolumny $[^\circ]$,

θ_2 - kąt odchylenia ramienia względem pionu (osi Z_1) $[^\circ]$,



Rysunek 1: Struktura kinematyczna robota dydaktycznego ROMIK dla standardowych współrzędnych przegubowych.

θ_3 - kąt odchylenia przedramienia względem ramienia [°],

θ_4 - kąt odchylenia chwytaka względem przedramienia [°],

θ_5 - kąt obrotu chwytaka wokół własnej osi [°],

θ_6 - rozstaw szczęk chwytaka [mm].

Jako współrzędne zewnętrzne wybrano następujące zmienne

x, y, z - współrzędne kartezjańskie końca efektora wyrażone w układzie bazowym $X_0Y_0Z_0$ [mm],

β - kąt podejścia chwytaka (kąt pomiędzy nieskręconą płaszczyzną chwytaka a płaszczyzną poziomą) [°],

ϕ - kąt obrotu chwytaka wokół własnej osi [°],

s - rozstaw szczęk chwytaka [mm].

2.3 Transformacja Denavita-Hartenberga dla zmiennych θ_i.

Prosty model kinematyki dla robota ROMIK uzyskuje się przy użyciu notacji Denavita-Hartenberga. Transformacja Denavita-Hartenberga pomiędzy lokalnymi układami współrzędnych stowarzyszonymi z poszczególnymi ogniwami robota jest następująca

$$0 - 1 \;:\; A_1(\theta_1) = \mathrm{Rot}(\ z\ ,\ \theta_1) \cdot \mathrm{Rot}(\ x\ ,\ -90^\circ),$$

$$1 - 2 \;:\; A_2(\theta_2) = \mathrm{Rot}(\ z\ ,\ \theta_2 - 90^\circ) \cdot \mathrm{Trans}(\ x\ ,\ d_1),$$

$$2 - 3 \;:\; A_3(\theta_3) = \mathrm{Rot}(\ z\ ,\ \theta_3) \cdot \mathrm{Trans}(\ x\ ,\ d_2),$$

$$3 - 4 \;:\; A_4(\theta_4) = \mathrm{Rot}(\ z\ ,\ \theta_4) \cdot \mathrm{Trans}(\ x\ ,\ d_3),$$

gdzie symbolami d_i oznaczono następujące parametry geometryczne robota

d_1 - długość ramienia [mm],

d_2 - długość przedramienia [mm],

d_3 - długość chwytaka [mm].

2.4 Struktura kinematyczna dla zmodyfikowanych współrzędnych przegubowych q_i.

Ze względu na omówioną wcześniej konstrukcję napędów robota ROMIK celowe wydaje się uzyskanie modelu kinematyki w tzw. zmodyfikowanych współrzędnych przegubowych [1]

q_1 - kąt obrotu kolumny [°],

q_2 - kąt odchylenia ramienia od pionu (osi Y_1) [°],

q_3 - kąt odchylenia przedramienia od pionu (osi Y_1) [°],

q_4 - kąt odchylenia chwytaka od pionu (osi Y_1) [°],

q_5 - kąt obrotu chwytaka wokół własnej osi [°],

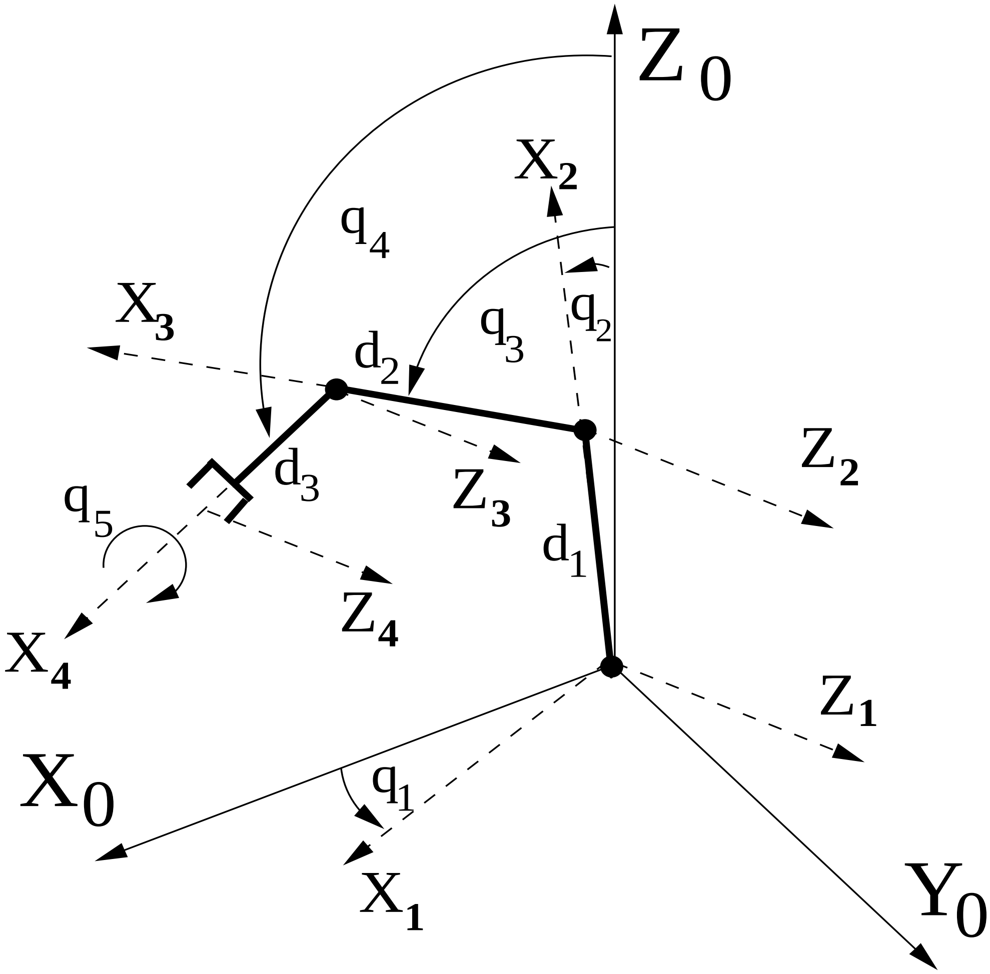
q_6 - rozstaw szczęk chwytaka [mm].

Schemat ideowy robota dydaktycznego ROMIK z oznaczeniem zmodyfikowanych współrzędnych przegubowych przedstawiono na rysunku 2.
Współrzędne zewnętrzne są takie same jak dla standardowych współrzędnych przegubowych.

2.5 Transformacja Denavita-Hartenberga dla zmodyfikowanych zmiennych q_i.

Transformacja Denavita-Hartenberga dla współrzędnych zmodyfikowanych, odpowiadająca lokalnym układom współrzędnych z rysunku 2 jest następująca

$$0 - 1 \;:\; A_1 = \mathrm{Rot}(\ z\ ,\ q_1) \cdot \mathrm{Rot}(\ x\ ,\ -90^\circ),$$



Rysunek 2: Struktura kinematyczna robota dydaktycznego ROMIK dla zmodyfikowanych współrzędnych przegubowych.

1 - 2 : $A_2 = \mathrm{Rot}(\text{ z }, q_2 - 90°) \cdot \mathrm{Trans}(\text{ x }, d_1)$,

2 - 3 : $A_3 = \mathrm{Rot}(\text{ z }, q_3 - q_2) \cdot \mathrm{Trans}(\text{ x }, d_2)$,

3 - 4 : $A_4 = \mathrm{Rot}(\text{ z }, q_4 - q_3) \cdot \mathrm{Trans}(\text{ x }, d_3)$.

Widać, że między klasycznymi współrzędnymi przegubowymi θ_i robota (zdefiniowanymi względem układów lokalnych stowarzyszonych z poszczególnymi ogniwami robota) a współrzędnymi zmodyfikowanymi q_i wyrażającymi położenie przegubów względem osi ustalonej Z_0 zachodzą następujące związki

$q_1 = \theta_1$,

$q_2 = \theta_2$,

$q_3 = \theta_2 + \theta_3$,

$q_4 = \theta_2 + \theta_3 + \theta_4$,

$q_5 = \theta_5$,

$q_6 = \theta_6$.

3 Przebieg ćwiczenia.

3.1 Obsługa stanowiska.

Stanowisko laboratoryjne składa się z robota ROMIK oraz komputera PC połączonego ze sterownikiem robota za pośrednictwem portu szeregowego (ttyS1 - COM2). Oprogramowanie stanowi program `ident` uruchamiany w środowisku systemu `Linux`..
ROMIK powinien być ustawiony przy krawędzi stołu, równolegle do niej tą ścianą podstawy, na której umieszczono wyłącznik.
Przed uruchomieniem programu należy włączyć zasilanie ROMIK-a i poczekać na zakończenie synchronizacji (zatrzymanie wszystkich silników).
Po uruchomieniu programu `ident` powinna nastąpić powtórna synchronizacja, a na ekranie pojawi się menu:

```
Identyfikacja parametrow geometrycznych robota ROMIK

Synchronizacja zakonczona.

Przestrzen napedowa:
m1=   5000  m2=   5000  m3=   5000
m4=   5000  m5=   5000  m6=   5000

Przestrzen konfiguracyjna:
q1=  89.08  q2= -31.37  q3=  86.64
q4=  16.09  q5=   0.00  q6=   0.00

Przestrzen zadaniowa:
 x=   1.94   y= 120.08   z= 263.92
 b=  16.09   f=   0.00   s=   0.00

I. Ustawienie pozycji we wspolrzednych wewnetrznych
X. Odczytanie pozycji we wspolrzednych zewnetrznych
Q. Koniec
```

Komenda `I` pozwala zadawać konfigurację robota we współrzędnych q_i (wprowadzenie pustej linii powoduje pozostawienie dotychczasowej wartości). Po zakończeniu wprowadzania następuje wykonanie ruchu.
Komenda `X` podaje odczyt położenia robota w trzech układach współrzędnych:

- $\{m_i\}$ - przestrzeń napędowa (pozycje silników wyrażone w impulsach)
- $\{q_i\}$ - przestrzeń konfiguracyjna,
- $\{x, y, z, \beta, \phi, s\}$ - przestrzeń zadaniowa.

Komenda `Q` powoduje zakończenie pracy programu `ident` i wyłączenie zasilania napędów.

3.2 Wstępne przygotowanie do ćwiczenia.

1. używając transformacji Denavita-Hartenberga przedstawionej w rozdziale 2.3 obliczyć prosty model kinematyki

$$(\theta_1, \ldots, \theta_6) \rightarrow (x, y, z, \beta, \phi, s),$$

lub

$$(q_1, \ldots, q_6) \rightarrow (x, y, z, \beta, \phi, s),$$

2. zastanowić się, jak należy wybrać konfigurację robota dydaktycznego ROMIK, aby z równań kinematyki uzyskać jednoznacznie wartości parametrów geometrycznych d_1, d_2 i d_3.

3.3 Zadanie do wykonania.

Poruszając poszczególnymi przegubami robota ustalić położenie układu bazowego oraz sprawdzić, jakie zakresy zmnienności mają poszczególne współrzędne wewnętrzne θ_i (lub q_i). Aby zidentyfikować parametry geometryczne d_i należy rozpocząć od ustawienia robota w pewnej konfiguracji poprzez zadanie określonych wartości współrzędnych wewnętrznych θ_i (lub q_i). Następnie dla tak zadanej konfiguracji należy odczytać odpowiadające jej współrzędne zewnętrzne z menu programu. W sprawozdaniu należy umieścić wyliczony prosty model kinematyki i w oparciu o ten model wyliczyć z układu równań stałe d_i.

Bibliografia

[1] K. Tchoń, A. Mazur, I. Dulęba, R. Hossa, R. Muszyński: *Manipulatory i roboty mobilne: modele, planowanie ruchu, sterowanie*, Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa, 2000.