ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2002
Seria: AUTOMATYKA z. 136 Nr kol. 1556

Tadeusz SZKODNY
Politechnika Śląska

IDENTYFIKACJA PARAMETRÓW KINEMATYKI ROBOTA EKSPERYMENTALNEGO

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki identyfikacji parametrów kinematyki manipulatora eksperymentalnego. Jest nim manipulator IRb-6 poruszający się po torze jezdnym LP-1. Zilustrowano sposób zamocowania wskaźników na manipulatorze oraz punkty pomiarowe. Przedstawiono modele kinematyki wybranych punktów pomiarowych. Na podstawie tych modeli zostały zidentyfikowane parametry kinematyki sześciu stopni swobody manipulatora. Skupiono uwagę na modelach wiążących współrzędne naturalne siłowników ze współrzędnymi enkoderów. Przeprowadzono także analizę statystyczną identyfikacji dla każdego stopnia swobody manipulatora.

THE IDENTIFICATION OF KINEMATICS' PARAMETERS OF EXPERIMENTAL ROBOT

Summary. Identification results of experimental manipulator kinematic's parameters are presented. An IRb-6 manipulator moving on LP-1 track is the experimental manipulator. Connections of indicators to the manipulator and measurement points are illustrated. Kinematic models of selected measurement points are presented. For six degrees of freedom of the experimental manipulator, on the base of these models, a kinematic's parameters are identified. The models which connect actuator natural coordinates with encoder coordinates are took into consideration. For all degrees of freedom a statistical analysis of the identification was performed.

1. Wprowadzenie

Przedmiotem badań przedstawionych w pracy jest manipulator IRb-6 przymocowany do wózka poruszającego się po torze jezdnym LP-1. Jest to manipulator robota eksperymentalnego, który stanowi wyposażenie laboratorium Zakładu Robotyki i Automatyzacji Procesów Dyskretnych. Zaprojektowano i uruchomiono w tym Zakładzie

układy sterujące ruchem manipulatora we współrzędnych enkoderów. Enkodery stanowiące czujniki kątów obrotów silników zostały zamontowane i podłączone do układów sterowania [3].

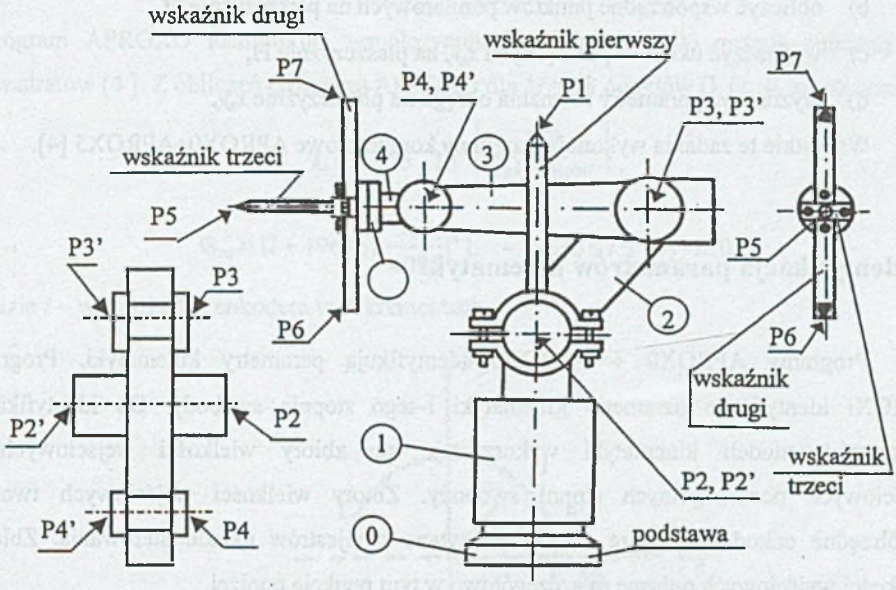
Celem przedstawionych badań była identyfikacja parametrów występujących w równaniach wiążących współrzędne enkoderów ze współrzędnymi naturalnymi siłowników $\Theta_{s0} \div \Theta_{s5}$. Współrzędne naturalne siłowników występują w modelach kinematyki i dynamiki [6]. Znajomość tych parametrów jest niezbędna do obliczeń współrzędnych enkoderów odpowiadających punktowi zdefiniowanemu za pomocą współrzędnych kartezjańskich [6]. Obliczenia te są niezbędne przy tworzeniu języka programowania robota na poziomie zadań [1].

Identyfikacja tych parametrów kinematyki została przeprowadzona metodą najmniejszych kwadratów. Każdy z sześciu stopni swobody wymagał pomiarów współrzędnych położeń wybranych punktów manipulatora i współrzędnych enkodera danego stopnia swobody. Metodę pomiarów współrzędnych położeń wybranych punktów manipulatora za pomocą tachimetrów przedstawia praca [3]. W metodzie tej obliczone są współrzędne położeń w układzie współrzędnych tachimetru. Współrzędne enkoderów były odczytywane z rejestrów układów sterowania.

W punkcie drugim przedstawiono wskaźniki i punkty pomiarowe manipulatora eksperymentalnego. W trzecim punkcie przedstawiono wyniki identyfikacji parametrów kinematyki, występujących w formułach wiążących współrzędne naturalne siłowników ze współrzędnymi enkoderów. W czwartym punkcie przedstawiono wyniki analizy statystycznej procesu identyfikacji z punktu trzeciego. W punkcie piątym przedstawiono wnioski.

2. Płaszczyzny pomiarowe

Rysunek 1 ilustruje punkty pomiarowe manipulatora P1 ÷ P7. Punkt P1 leży na wierzchołku wskaźnika pierwszego. Punkty P2 ÷ P4 leżą na osiach par łączących człony 1 i 2, 2 i 3 oraz 3 i 4. Punkty P2 i P2,' P3 i P3', P4 i P4' leżą na tych samych osiach, lecz po przeciwnych stronach manipulatora. Punkt P5 leży na wierzchołku wskaźnika trzeciego. Punkty P6 i P7 leżą na wierzchołkach zaczernionych trójkątów na powierzchni wskaźnika drugiego.



Rys.1. Punkty pomiarowe P1÷P7. (*i*) - oznaczenie i-tego członu. $0 \le i \le 5$

Fig.1. The measurement points P1÷P7. (*i*) -denotation of *i*-th link

Zbiory zmierzonych położeń punktów pomiarowych (otrzymanych przez zmianę odpowiednich współrzędnych naturalnych siłowników) powinny leżeć na pewnych płaszczyznach. Przy obrocie członu pierwszego względem podstawy punkt P1 powinien poruszać się po okręgu leżącym na płaszczyźnie prostopadłej do osi łączącej te człony. Przy obrocie tylko członu drugiego względem pierwszego punkty P3 i P3' powinny poruszać się po okręgu leżącym na płaszczyźnie prostopadłej do osi łączącej te człony. Przy obrocie tylko członu trzeciego względem drugiego punkty P4 i P4' powinny poruszać się po okręgu leżącym na płaszczyźnie prostopadłej do osi łączącej te człony. Przy obrocie tylko członu czwartego względem trzeciego punkt P5 powinien poruszać się po okręgu leżącym na płaszczyźnie prostopadłej do osi łączącej te człony. Przy obrocie tylko członu piątego względem czwartego punkty P6 i P7 powinny poruszać się po okręgu leżącym na płaszczyźnie prostopadłej do osi łączącej te człony. Płaszczyzny te będziemy oznaczać przez Π i nazywać płaszczyznami pomiarowymi. W rzeczywistości na ogół punkty pomiarowe nigdy nie leżą na płaszczyznach pomiarowych. Spowodowane jest to błędami pomiaru i modelowania ruchu członów. Dlatego przed wykorzystaniem zbiorów pomiarów położeń punktów pomiarowych należy:

a) wyznaczyć równanie płaszczyzny Π zbioru pomiarowego,

b) obliczyć współrzędne punktów pomiarowych na płaszczyźnie Π,

c) wyznaczyć układ współrzędnych $x_r y_r$ na płaszczyźnie Π,

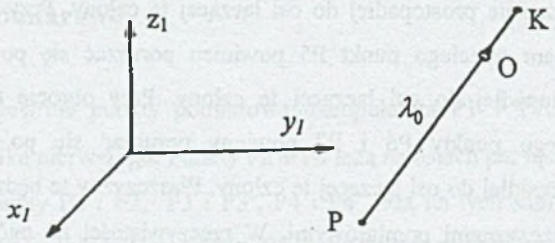
d) wyznaczyć parametry równania okręgu na płaszczyźnie $x_r y_r$.

Wszystkie te zadania wykonują programy komputerowe APROX0÷APROX5 [4].

3. Identyfikacja parametrów kinematyki

Programy APROX0 ÷ APROX5 identyfikują parametry kinematyki. Program APROXi identyfikuje parametry kinematyki i–tego stopnia swobody. Do identyfikacji parametrów modeli kinematyki wykorzystuje się zbiory wielkości wejściowych i wyjściowych poszczególnych stopni swobody. Zbiory wielkości wejściowych tworzą współrzędne enkoderów, które zostały odczytane z rejestrów układu sterowania. Zbiory wielkości wyjściowych opisane są szczegółowo w tym punkcie poniżej.

Zerowy stopień swobody pozwala na ruch podstawy manipulatora względem toru jezdnego [4]. Współrzędną naturalną podstawy jest jej przemieszczenie λ_0. Podstawa powinna poruszać się po linii prostej. Dlatego przyjmiemy liniowy model kinematyki tego stopnia swobody. Rysunek 2 ilustruje tor ruchu punktu P1. Punktowi P odpowiada najmniejsza, a punktowi K największa wartość współrzędnej enkodera. Program APROXO rzutuje punkt P1 w różnych położeniach na prostą PK tworząc zbiór punktów O_i (x_i, y_i, z_i). Jest to zbiór wielkości wyjściowych modelu kinematyki zerowego stopnia swobody. Zbiór wejściowy tworzą współrzędne enkodera l_i odpowiadające punktom O_i (x_i, y_i, z_i). Równanie (1) opisuje prostą PK.



Rys.2.Tor ruchu punktu pomiarowego P1 przy zmianach tylko współrzędnej naturalnej zerowego siłownika Θ_{so} · $x_1 y_1 z_1$ – układ współrzędnych techimetrów

Fig.2. The measurement point path P1 caused only by changes the natural coordinte Θ_{so}. $x_1 y_1 z_1$ -the tachimeter coordinate system

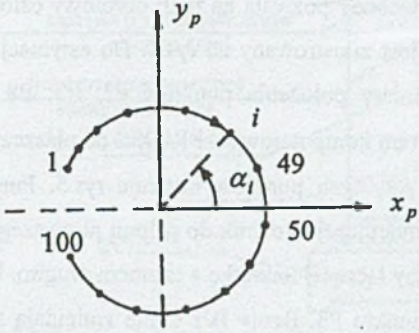
$$[(x_i - x_p)^2 + (y_i - y_p)^2 + (z_i - z_p)^2]^{1/2} = k_i\,(l_i - l_{min}) \qquad (1)$$

Program APROXO identyfikuje współczynnik k_i z równania (1) metodą najmniejszych kwadratów [4]. Z obliczeń programu APROXO dla $M = 98$ punktów O_i (x_i, y_i, z_i) otrzymano:

$$k_i = 0.775 \cdot 10^{-3}\left[\frac{mm}{dekrement}\right],$$

$$\Theta_{so} = (l + 19636)\,\frac{360}{4096}[^\circ], \quad -19636 \le l \le 1079230, \qquad (2)$$

gdzie l – współrzędna enkodera w dekrementach.



Rys.3. Rzut toru punktu pomiarowego P1 na płaszczyznę $x_p y_p$ przy zmianie tylko współrzędnej naturalnej pierwszego silownika Θ_{s1}

Fig.3. The projection of the measurement point P1 path on the plane $x_p y_p$. The path is caused by changes of natural coordinate of the first actuator Θ_{s1} only

Pierwszy stopień swobody pozwala na ruch obrotowy pierwszego członu względem podstawy. Przy zmianie tylko współrzędnej naturalnej Θ_{s1} pierwszego siłownika punkt P1 powinien poruszać się po okręgu leżącym w płaszczyźnie prostopadłej do osi obrotu członu pierwszego [6]. Program APROX1 estymuje metodą najmniejszych kwadratów współczynniki opisujące płaszczyznę pomiarową Π i parametry okręgu na płaszczyźnie $x_p y_p$. Program ten oblicza kąty α_i punktów O_i (x_{pi}, y_{pi}, z_{pi}) na okręgu. Punkty O_i są wynikiem rzutowania przez program APROX1 i–tego położenia punktu P1 na płaszczyznę $x_p y_p$. Rysunek 3 ilustruje te punkty na okręgu. Zbiór współrzędnych Θ_i' otrzymanych pośrednio z pomiarów położeń punktu P1 tworzy zbiór wielkości wyjściowych modelu kinematyki. Zbiorem wejściowym są współrzędne enkodera l_i odpowiadające współrzędnym Θ_{1i}'. Model kinematyki ma następującą postać:

$$\Theta'_{1i} = k_1\,\Theta_{s1i} = -k_1\,(l_i - l_{s1})\,\frac{360^\circ}{4096} \tag{3}$$

Program APROX1 identyfikuje współczynnik k_1 z równania (3) metodą najmniejszych kwadratów. Z obliczeń programu APROX1 dla $M = 100$ współrzędnych Θ'_{1i} otrzymano:

$$k_1 = -6.3352 \cdot 10^{-3}$$

$$\Theta_{s1} = -(l - l_{s1})\,\frac{360^\circ}{4096},\ -13714 \le l \le 603196, \tag{4}$$

$$l_{s1} = -13714\ [dekrementów]$$

Drugi stopień swobody pozwala na ruch obrotowy członu drugiego względem członu pierwszego. Ruch ten jest zilustrowany na rys.4. Do estymacji parametrów kinematyki tego stopnia wykonano pomiary położenia punktów P2, P3, P8 i P9. Następnie zostały one zrzutowane przez program komputerowy APROX 2 na płaszczyznę pomiarową Π w układzie współrzędnych $x_p y_p$. Rzuty tych punktów ilustruje rys.5. Punkt C jest rzutem punktu P9, leżącego na osi śruby mocującej siłownik do członu pierwszego. Punkt A jest rzutem punktu P8, leżącego na osi śruby łączącej nakrętkę z członem drugim. Punkt B jest rzutem punktu P2. Punkt O jest rzutem punktu P3. Rzuty B i C nie zmieniają swego położenia przy zmianie tylko współrzędnej naturalnej drugiego siłownika Θ_{s2}. Długość odcinka AC zależy liniowo od obrotów siłownika Θ_{s2}, a tym samym od współrzędnych drugiego enkodera. Stąd wynika równanie (5)

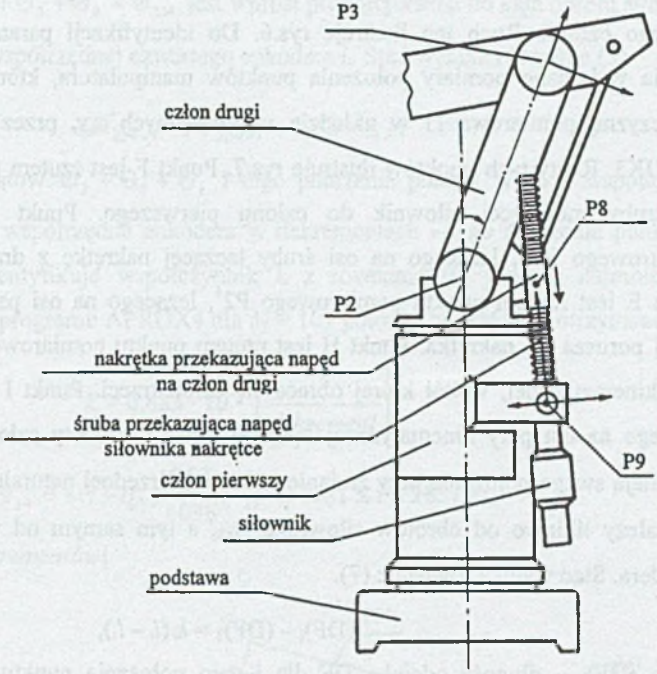
$$(AC)_i - (AC)_1 = k_l\,(l_i - l_1), \tag{5}$$

gdzie: $(AC)_i$ – długość odcinka AC dla i–tego położenia punktu A, (i = 1,2,..., 99), k_l – współczynnik proporcjonalności, l_i – współrzędna enkodera w dekrementach i–tego położenia punktu A. Program APROX2 identyfikuje współczynnik k_l z równania (5) metodą najmniejszych kwadratów. Z obliczeń programu APROX2 dla $M = 99$ położeń punktów A i O otrzymano:

$$k_l = 1.22 \cdot 10^{-3}\left[\frac{mm}{dekrement}\right],$$

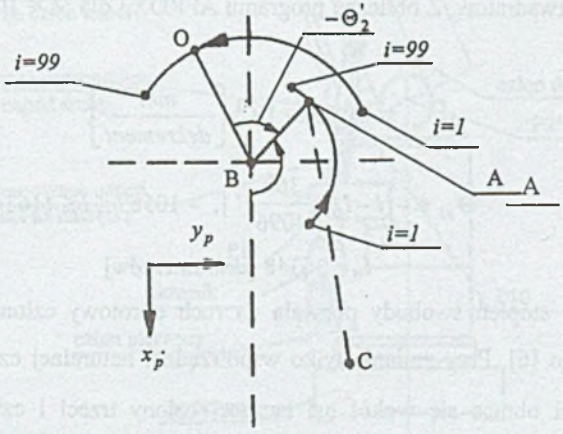
$$\Theta_{s2} = -(l - l_{02})\,\frac{360}{4096}[^\circ],\ -17879 \le l \le 132009, \tag{6}$$

$$l_{02} = 60560\ [dekrementów]$$



Rys.4. Punkty pomiarowe P2,P3, P8 i P9 drugiego stopnia swobody

Fig.4. The measurement points P2, P3, P8 and P9 of the second degree of freedom



Rys.5. Rzut torów punktów pomiarowych na płaszczyznę $x_p y_p$ przy zmianie tylko współrzędnej naturalnej drugiego siłownika Θ_{s2}.- Θ_2' współrzędna naturalna drugiego członu

Fig.5. The projection of the measurement point paths on the plane xpyp. The pathes are caused by changes of natural coordinate of the second actuator $\Theta s2$ only.- Θ_2' is natural coordinate of second link

Trzeci stopień swobody pozwala na ruch obrotowy trzeciego członu względem drugiego członu. Ruch ten ilustruje rys.6. Do identyfikacji parametrów kinematyki tego stopnia wykonano pomiary położenia punktów manipulatora, które zostały rzutowane na płaszczyznę pomiarową Π w układzie współrzędnych $x_p y_p$ przez program komputerowy APROX3. Rzuty tych punktów ilustruje rys.7. Punkt F jest rzutem punktu P11, leżącego na osi śruby mocującej siłownik do członu pierwszego. Punkt D jest rzutem punktu pomiarowego P10, leżącego na osi śruby łączącej nakrętkę z drążkiem równoległoboku. Punkt E jest rzutem punktu pomiarowego P2', leżącego na osi pary kinematycznej wokół której porusza się nakrętka. Punkt H jest rzutem punktu pomiarowego P3', leżącego na osi pary kinematycznej, wokół której obraca się człon trzeci. Punkt I jest rzutem punktu P4', leżącego na osi pary kinematycznej łączącej trzeci i czwarty człon. Punkty E, F i H nie zmieniają swego położenia przy zmianie tylko współrzędnej naturalnej Θ_{s3}. Długość odcinka DF zależy liniowo od obrotów siłownika Θ_{s3}, a tym samym od współrzędnych trzeciego enkodera. Stąd wynika równanie (7).

$$(DF)_i - (DF)_1 = k_t(l_i - l_1), \tag{7}$$

gdzie: $(DF)_i$ – długość odcinka DF dla i–tego położenia punktu D (i = 1,...,100,), k_t – współczynnik proporcjonalności, l_i – współrzędna enkodera w dekrementach i–tego położenia punktu D. Program APROX3 identyfikuje współczynnik k_t z równania (7) metodą najmniejszych kwadratów. Z obliczeń programu APROX3 dla M = 100 położeń punktów D i I otrzymano:

$$k_t = 0.122 \cdot 10^{-3} \left[\frac{mm}{dekrement}\right],$$

$$\Theta_{s3} = -(l - l_{03})\frac{360}{4096}[^\circ], \quad -10569 \le l \le 116348, \tag{8}$$

$$l_{03} = 36348 \; [dekrementów]$$

Czwarty stopień swobody pozwala na ruch obrotowy członu czwartego względem członu trzeciego [6]. Przy zmianie tylko współrzędnej naturalnej czwartego siłownika Θ_{s4} wskaźnik trzeci obraca się wokół osi łączącej człony trzeci i czwarty. Do identyfikacji parametrów kinematyki tego stopnia wykonano pomiary położenia punktów P4 i P5, które zostały zrzutowane na płaszczyznę pomiarową Π w układzie współrzędnych $x_p y_p$ przez program APROX4. Rzuty tych punktów ilustruje rys.8. Punkt O jest rzutem punktu P4, leżącego na osi pary kinematycznej łączącej trzeci i czwarty człon. Punkt W jest rzutem punktu P5 trzeciego wskaźnika (rys.1). Suma współrzędnych naturalnych drugiego, trzeciego

i czwartego członu $\Theta_2' + \Theta_3' + \Theta_4' = \Theta_{234}'$ jest wprost proporcjonalna do kąta obrotu siłownika Θ_{s4}, a tym samym do współrzędnej czwartego enkodera l_i. Stąd wynika równanie (9).

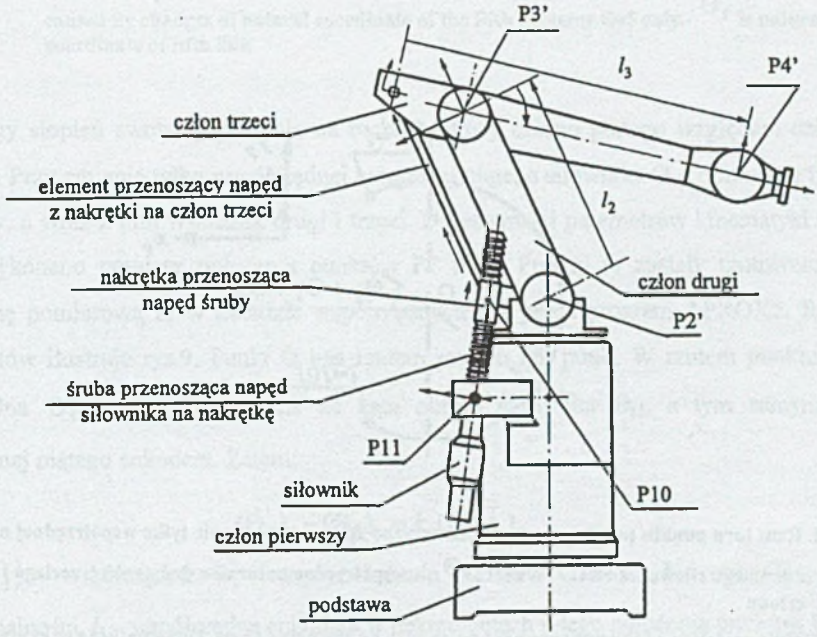
$$(\Theta_{234}')_i - (\Theta_{234}')_1 = k_l(l_i - l_1), \tag{9}$$

gdzie: Θ_{234}' – suma kątów $\Theta_2' + \Theta_3' + \Theta_4'$ i–tego położenia punktu W, k_l – współczynnik proporcjonalności, l_i – współrzędna enkodera w dekrementach i–tego położenia punktu W. Program APROX4 identyfikuje współczynnik k_l z równania (9) metodą najmniejszych kwadratów. Z obliczeń programu APROX4 dla $M = 101$ położeń punktów W otrzymano:

$$k_l = 0.685 \cdot 10^{-3} \left[\frac{°}{dekrement}\right],$$

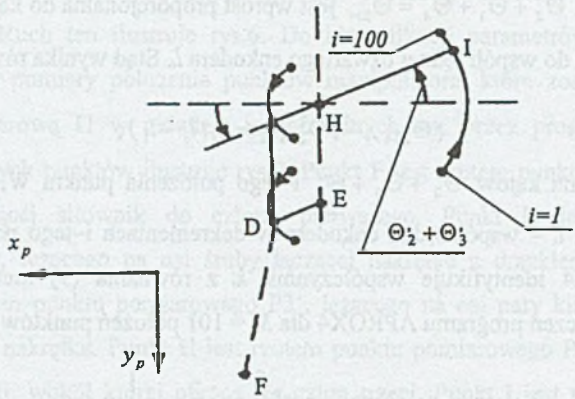
$$\Theta_{s4} = -(l - l_{04})\frac{360}{4096}[°], \quad -31941 \le l \le 285760, \tag{10}$$

$l_{04} = 125577$ [*dekrementów*]



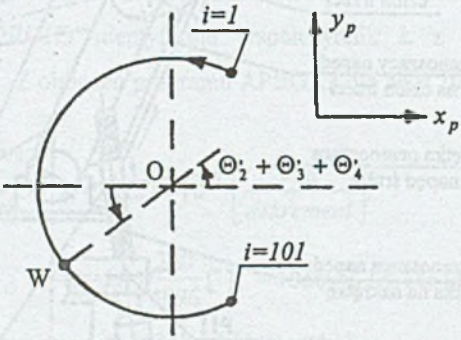
Rys.6. Punkty pomiarowe P2', P3', P4' P10 i P11 trzeciego stopnia swobody. l_2, l_3 długości drugiego i trzeciego członu

Fig.6. The measurement points P2', P3', P4' P10 and P11 of the third degree of freedom. l_2, l_3- the lenght of second and third link



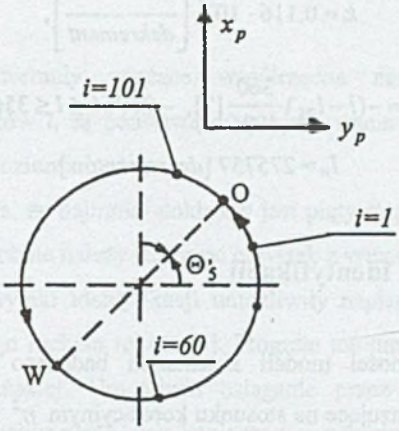
Rys.7. Rzut torów punktów pomiarowych na płaszczyznę $x_p y_p$ przy zmianie tylko współrzędnej naturalnej trzeciego siłownika Θ_{s3}. Θ'_2, Θ'_3 – współrzędne naturalne drugiego i trzeciego członu

Fig.7. The projection of the measurement points paths on the plane $x_p y_p$. The pathes are caused by changes of natural coordinate of the third actuator Θ_{s3} only.· Θ'_2, Θ'_3 are natural coordinate of second and third link.



Rys.8. Rzut toru punktu pomiarowego na płaszczyznę xpyp przy zmianie tylko współrzędnej naturalnej czwartego siłownika Θs4. $\Theta'_2, \Theta'_3, \Theta'_4$ – współrzędne naturalne drugiego i trzeciego i czwartego członu

Fig.8. The projection of the measurement point path on the plane xpyp. These pathes are caused by changes of natural coordinate of the fourth actuator Θs4 only.· $\Theta'_2, \Theta'_3, \Theta'_4$ are natural coordinate of second, third and fourth link



Rys.9. Rzut torów punktów pomiarowych na płaszczyznę $x_p y_p$ przy zmianie tylko współrzędnej naturalnej piątego siłownika Θ_{s5}. Θ'_5 – współrzędna naturalna piątego członu

Fig.9. The projection of the measurement points paths on the plane xpyp. These paths are caused by changes of natural coordinate of the fifth actuator Θs5 only. Θ'_5 is natural coordinate of fifth link

Piąty stopień swobody pozwala na ruch obrotowy członu piątego względem członu czwartego. Przy zmianie tylko współrzędnej naturalnej piątego siłownika Θ_{s5}, obraca się tylko człon piąty, a wraz z nim wskaźnik drugi i trzeci. Do estymacji parametrów kinematyki tego stopnia wykonano pomiary położenia punktów P7 i P6. Punkty te zostały rzutowane na płaszczyznę pomiarową Π w układzie współrzędnych $x_p y_p$ przez program APROX5. Rzuty tych punktów ilustruje rys.9. Punkt O jest rzutem punktu P6, punkt W rzutem punktu P7. Współrzędna Θ'_5 jest proporcjonalna do kąta obrotu siłownika Θ_{s5}, a tym samym do współrzędnej piątego enkodera. Zatem:

$$(\Theta'_5)_i - (\Theta'_5)_1 = k_l (l_i - l_1), \tag{11}$$

gdzie: $(\Theta'_5)_i$ – współrzędna Θ'_5 i–tego położenia punktów O i W, k_l – współczynnik proporcjonalności, l_i – współrzędna enkodera w dekrementach i–tego położenia punktów O i W. Program APROX5 identyfikuje współczynnik k_l z równania (11) metodą najmniejszych kwadratów. Z obliczeń programu APROX5 dla $M = 101$ położeń punktów O i W otrzymano:

$$k_l = 0.116 \cdot 10^{-2} \left[\frac{\circ}{dekrement} \right],$$

$$\Theta_{s5} = -(l - l_{05}) \frac{360}{4096} [^\circ], \; -27964 \le l \le 356119, \tag{12}$$

$$l_{05} = 275757 \; [dekrementów]$$

4. Ocena poprawności identyfikacji

Do oceny poprawności modeli kinematyki badanego manipulatora zastosujemy metody deterministyczne bazujące na stosunku korelacyjnym η^2 i odchylenia standardowego resztkowego σ [2].

Modelami tymi są równania (1), (3), (5), (7), (9) i (11). W każdym z nich występuje tylko jeden parametr k_l, dlatego $s_i = 1$ dla $0 \le i \le 5$. $\overline{\Theta}_i'$ – jest wartością średnią Θ_i', $\hat{\Theta}_i'$ – jest współrzędną naturalną Θ_i', obliczoną za pomocą modelu kinematyki ze współrzędnej l odpowiedniego enkodera. Wyniki badań poprawności modeli przedstawia tabela 1.

Tabela 1

Parametry oceny modeli

Nr stopnia swobody	η_i^2	$\sigma_i \left[^o \right]$
0	0.9999882	0.85996
1	0.9999778	0.4758
2	0.9997335	0.3735
3	0.999738	0.3115
4	0.9999786	0.2948
5	0.9998142	1.7919

Dla modelu idealnego $\eta^2 = 1.0$ i $\sigma = 0$. Z tabeli 1 wynika, że model kinematyki czwartego stopnia swobody jest najlepszy, a model piątego stopnia swobody najgorszy. Jednak w każdym stopniu swobody η_i^2 jest bliskie jedności.

5. Wnioski

Przedstawione formuły wiążące współrzędne naturalne siłowników Θ_{si} ze współrzędnymi enkoderów l_i są podstawą do projektowania języka programowania robota eksperymentalnego na poziomie zadań.

Z tabeli 1 wynika, że najmniej dokładny jest piąty stopień swobody. Aby zmniejszyć błędy pozycjonowania robota należy stosować chwytak z symetrycznymi palcami.

Przedstawione wyniki identyfikacji umożliwiły napisanie i uruchomienie programu PLAN IRb-6, sterującego ruchem robota [5]. Program ten umożliwia programowanie robota w przestrzeni kartezjańskiej. Umożliwia osiąganie przez robot punktów zmierzonych optycznie za pomocą tachimetrów, bez konieczności wcześniejszego wodzenia go do tych punktów.

Dzięki identyfikacji parametrów kinematyki robota eksperymentalnego możliwe było wyznaczenie zbioru konfiguracji dobrze uwarunkowanych dla kalibracji kinematyki manipulatora IRb-6 [7].

LITERATURA

1. Craig.J.I.: Wprowadzenie do robotyki.WNT, Warszawa 1993.
2. Niederliński A.: Kompleksowa automatyka procesów przemysłowych. Aspekty funkcjonalne. Skrypt nr 900. Wyd. Polit. Śl., Gliwice 1980.
3. Prace Instytutu Automatyki Polit. Śl. Robot inteligentny - interfejsy, planowanie zadań, badanie sterowań. BK-201/94-98. Gliwice 1994-98.
4. Prace Instytutu Automatyki Polit. Śl. Modele kinematyki robota eksperymentalnego we współrzędnych enkoderów. BW-406/98 t.15. Gliwice 1998.
5. Strzępka M.: Algorytm planowania kinematyki trajektorii robota eksperymentalnego. Praca dyplomowa. Zakład Robotyki i Automatyzacji Procesów Dyskretnych. Polit. Śl., Gliwice 1999.
6. Szkodny T.: Forward and inverse kinematics of IRb-6 manipulator. Mech. Mach. Theory, vol.30, no. 7, Pergamon Press 1995, pp. 1039-1056.
7. Szkodny T.: Well-conditioned sets of configurations for calibration of kinematic's parameters of IRb-6, Irp-6 and URP-6 manipulators. System Science. Vol.24, no. 4, 1998.

Recenzent: Prof. zw.dr inż. Tadeusz Puchałka

Abstract

An object of investigations presented in this work is an experimental robot. The robot has IRb-6 manipulator with base moving on LP-1 track. The natural coordinates of actuators were measured by means encoders. For identifications of robot kinematic's parameters a three indicators were connected to the manipulator. Position coordinates of the indicators and eleven chosen points of the manipulator were measured by means a tachimeters. The coordinates were computed from angles, which were measured directly by means the tachimeters. From the coordinates the measurement planes were estimated by means minimum-square identification. Next the measured coordinates were projected on the planes. Coordinates of the projected points were used to kinematic's parameters identifications. The identifications were based on equations describing movement projected points on measurement planes. All the planes are illustrated. The identifications were done by computer programs APROX0-APROX5. The equations which connect actuator natural coordinates with encoder coordinations are presented. For all degrees of freedom a statistical analysis of the identification for all degree of freedom was performed.