

Jerzy Świder, Adrian Zbilski ¹⁾

SYSTEM GENEROWANIA SYGNAŁU ZADANEGO ROTACJI

Streszczenie: W artykule opisano metodę działania systemu generującego sygnał zadany rotacji elementu roboczego wirtualnego modelu robota FANUC AM100iB. System wchodzi w skład wirtualnego układu sterowania wirtualnym robotem. Generowane przez system sygnały rotacji wokół trzech osi układu współrzędnych x, y oraz z zawierają informacje o parametrach kinematycznych, z jakimi powinien być realizowany obrót elementu roboczego robota. System zapewnia pełną synchronizację wszystkich obrotów podczas zmiany orientacji. Dodatkowo system zsynchronizowany jest także z interpolatorem liniowym, dzięki czemu zaprogramowany proces technologiczny realizowany jest płynnie.

Słowa kluczowe: robot, rotacje, sterowanie.

WSTĘP

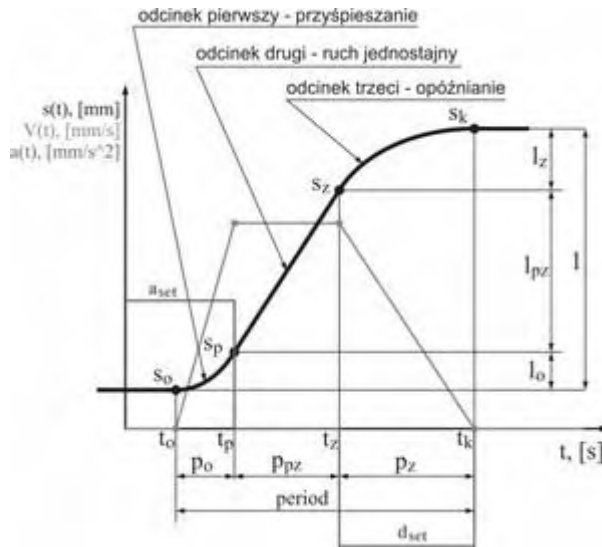
Aby element roboczy robota (np. chwytak) zmieniał swoją orientację w przestrzeni trójwymiarowej, konieczne jest wygenerowanie sygnałów określających jego orientacje pośrednie. Określenie orientacji pośrednich wymagane jest ze względu na konieczność realizacji obrotów z zadanymi parametrami kinematycznymi. Informacje o chwilowych wartościach parametrów kinematycznych zapisane są między sąsiadującymi położeniami. Położenia kolejnych punktów odczytywać należy w tych samych odstępach czasowych. Zapisanie położenia pośrednich w różnych odległościach oraz odczytywanie odległości między nimi w równych odstępach czasu pozwala zapisać w ten sposób wartości prędkości rotacji elementu roboczego. Analizując cały obrót można określić całkowity profil jazdy wokół dowolnej osi. Taka sama procedura realizowana niezależnie względem każdej z osi układu współrzędnych pozwala w efekcie złożenia trzech rotacji wygenerować zadany sygnał rotacji. Tak przygotowany sygnał wprowadzany jest do systemu wyznaczania odwrotnego zadania kinematyki robota. W celu generowania precyzyjnie określonych orientacji pośrednich zawierających ściśle zdefiniowane wartości parametrów kinematycznych opracowany został system generowania sygnału zadanego rotacji.

ZASADA DZIAŁANIA SYSTEMU SGPR

System SGPR (system generowania sygnału zadanego rotacji) opiera swe działanie na systemie SGP zaimplementowanym do każdej rotacji osobno (rys. 3).

¹⁾ Politechnika Śląska, Instytut Automatykacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania.

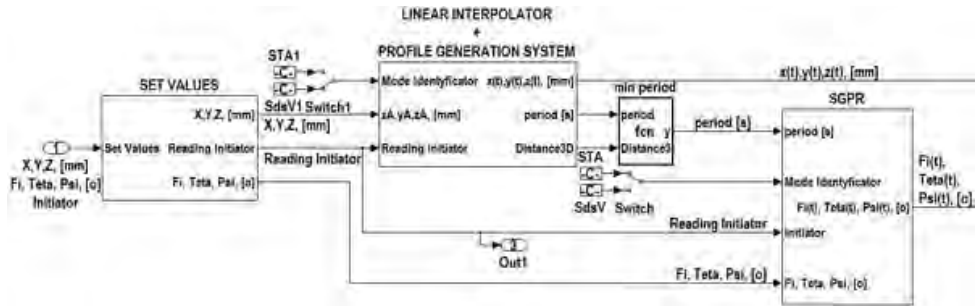
Wynikiem działania systemu SGP jest S-Funkcja określająca położenia pośrednie (rys. 1). Szczegółowo system SGP będzie opisany w przyszłych publikacjach.



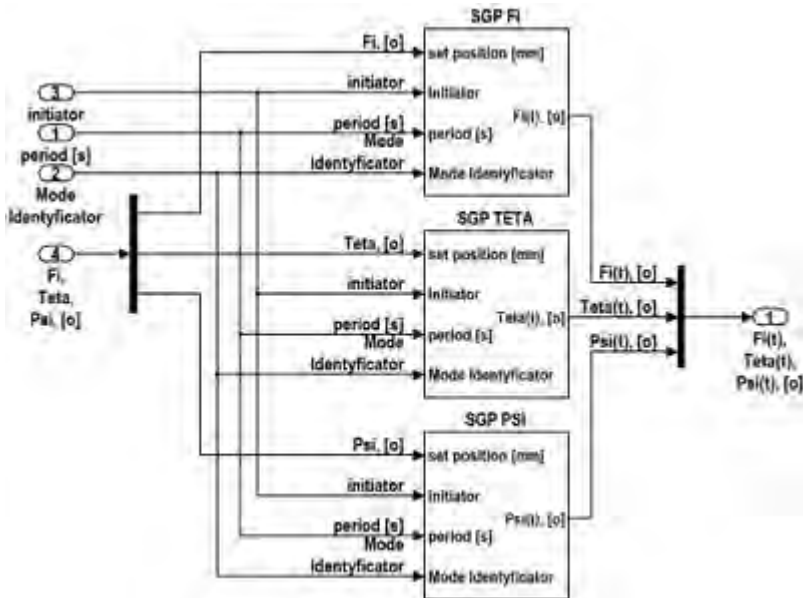
Rys. 1. Opis poszczególnych fragmentów S-Funkcji w systemie SGP, reprezentującej zadane pozycje obiektu w czasie trwania całego procesu pozycjonowania

Do poprawnego działania opracowanego systemu zintegrowano jego działanie z interpolatorem liniowym robota [1]. Integracja polegała na przekazaniu sygnałów sterujących pracą trzech systemów SGP za pomocą trzech dodatkowych sygnałów. Pierwszym z nich jest „initiator”, który odpowiada za równoczesne uruchomienie pracy trzech systemów SGP wraz z rozpoczęciem obliczeń przez interpolator liniowy. Sygnał generowany jest w podsystemie OFF-LINE PROGRAMING [2] i przybiera wartości równe numerom linii wykonywanego programu ruchów robota. Zmiana linii programu wykrywana jest jednocześnie przez każdy z trzech systemów SGP oraz przez interpolator liniowy. W momencie pojawienia się nowej wartości wszystkie podsystemy rozpoczynają obliczenia od nowa. Dzięki systemowi SGP system SGPR (Rys. 2) podobnie jak interpolator liniowy może pracować w dwóch trybach – STA oraz SdsV. Po ustawieniu trybu STA istnieje możliwość pełnej synchronizacji realizowanych rotacji poprzez wprowadzenie do trzech systemów SGP tego samego czasu trwania obrotów o trzy zadane kąty. Po wyborze trybu SdsV rotacje mogą być realizowane niezależnie od siebie przez różne okresy. Za przekazywanie informacji o wybranym trybie pracy, w którym wykonywane będą rotacje odpowiada sygnał „Mode Identyfikator”. Możliwości trybu STA zastosowano do synchronizacji rotacji z pracą interpolatora liniowego poprzez sygnał oznaczony jako „period”. Sygnał ten odpowiada za doprowadzanie do trzech podsystemów SGP wartości okresu trwania ruchu,

przez jaki wykonywany będzie przejazd robota wzdłuż linii prostej. Wartość tego okresu zależy od trybu pracy interpolatora liniowego. W trybie STA interpolatora okres przejazdu jest z góry zadawany, natomiast w trybie SdsV okres przejazdu wynika z obliczeń realizowanych według przyjętych w tym trybie wytycznych.



Rys. 2. Schemat integracji systemu SGPR z interpolatorem liniowym



Rys. 3. Pierwszy poziom modelu systemu SGPR

W celu uniknięcia błędnych i nienaturalnych ruchów podczas zmian orientacji wprowadzony został blok „min period” wyznaczający minimalną wartości okresu trwania zmiany orientacji efektora. Blok odpowiada także za generowanie wartości okresu trwania zmiany orientacji w sytuacji, gdy nie wykonywana jest zmiana pozycji. W takiej sytuacji czas zmiany pozycji równy jest zero, a zatem nie jest wtedy przekazywany do podsystemu SGPR.

WERYFIKACJA I ANALIZA POPRAWNOŚCI DZIAŁANIA SYSTEMU SGPR

W celu zweryfikowania poprawności działania systemu SGPR przeprowadzono symulacje jego pracy w programie Simulink z pakietem SimMechanics. Obiektem, na którym weryfikowano działanie systemu był wirtualny model robota FANUC AM100iB [2].

Danymi wprowadzanymi były współrzędne punktów docelowych x , y , z oraz kąty obrotów φ , θ , ψ określające absolutną orientację chwytaka w globalnym układzie współrzędnych robota. Podstawową funkcją systemu SGPR weryfikowaną podczas symulacji było generowanie sygnału zadanego trzech rotacji, zapewniających płynną zmianę orientacji kiści robota i dotarcie do orientacji zadanej. Dodatkowo zweryfikowano synchronizację pracy systemu SGPR z pracą interpolatora liniowego. Właściwie zrealizowany ruch odpowiadał takiej pracy robota, podczas której wszystkie trzy rotacje oraz przejazdy rozpoczynały się i kończyły w tym samym czasie. Sprawdzono także zgodność sposobu zmiany orientacji kiści robota zadawanej za pomocą macierzy rotacji 3×3 z danymi pomiarowymi. Wartości wszystkich dziewięciu elementów macierzy rotacji obliczone przez system INVERSE KINEMATIC SYSTEM [2] musiały zgadzać się z danymi pomiarowymi. Do macierzy rotacji wprowadzano trzy kąty $\varphi(t)$, $\theta(t)$, $\psi(t)$ generowane przez system SGPR. Poprawne realizowanie obrotu zależało od poprawności działania całego algorytmu przekształcającego wprowadzone kąty rotacji na orientację kiści. Dodatkowo sprawdzono poprawność działania funkcji wyznaczającej minimalny czas trwania zmiany orientacji kiści robota.

W celu uzyskania koniecznych danych do ostatniego członu podpięty został wirtualnym przyrządem pomiarowy absolutnej pozycji i orientacji wyrażonej w postaci macierzy rotacji 3×3 . Wyniki pomiarów porównano z wynikami wartości zadanej generowanej w systemie INVERSE KINEMATIC SYSTEM. Wizualną ocenę przejazdu między punktem 4 i 5 przedstawia rysunek 4. Trajektorie, po jakich poruszał się robot, przedstawione zostały na rysunku 5. Wprowadzane do systemu sterowania kolejne punkty zawiera tabela 1. Efekt działania synchronizacji pracy systemu SGPR z systemem SGP przedstawia rysunek 6. Zgodność sposobu zmiany orientacji z danymi pomiarowymi przedstawiają rysunki 7 i 8.

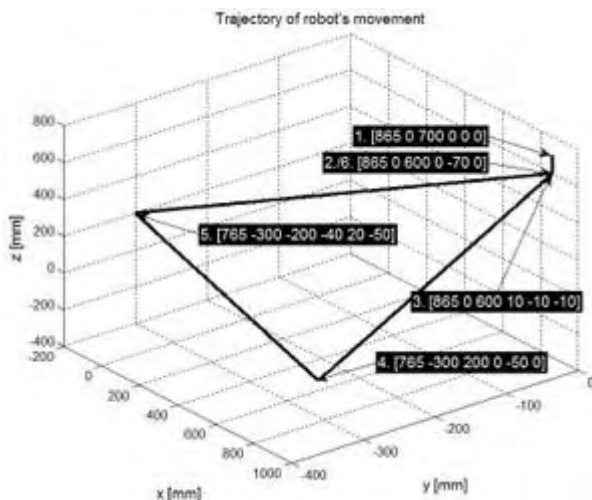
Weryfikowana synchronizacja pracy systemu SGPR z pracą interpolatora liniowego może być rozpoznana na wykresie z rysunku 6. Pionowe przerywane linie oznaczają początki i zakończenia kolejnych przejazdów robota oznaczonych numerami od 1 do 6. Na wykresie znajdują się trzy z dziewięciu elementów macierzy rotacji, których wartości zostały zmierzone przez wirtualny przyrząd pomiarowy. Dodatkowo linia „Mesured3DDistance” określa względną drogę przejazdu kiści robota, obliczaną przez interpolator liniowy.

Tabela 1. Punkty wprowadzane do systemu sterowania robota

Nr punktu:	Wartości współrzędnych punktów docelowych [mm] oraz rotacje [o] kiści robota
1	[865 0 700 0 0 0]
2	[865 0 600 0 -70 0]
3	[865 0 600 10 -10 -10]
4	[765 -300 200 0 -50 0]
5	[765 -300 -200 -40 20 -50]
6	[865 0 600 10 -10 -10]

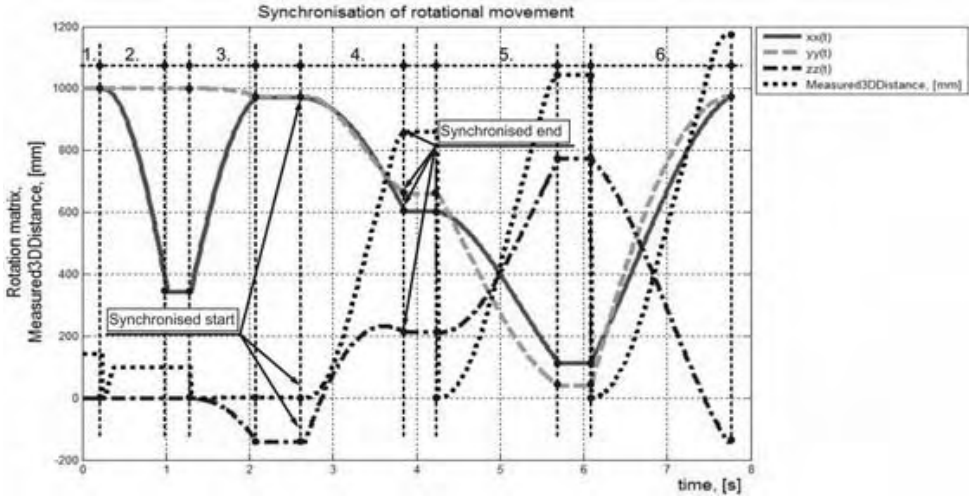


Rys. 4. Układy ramion robota w kilku wybranych chwilach czasowych podczas realizacji przejazdu między punktem 4 i 5

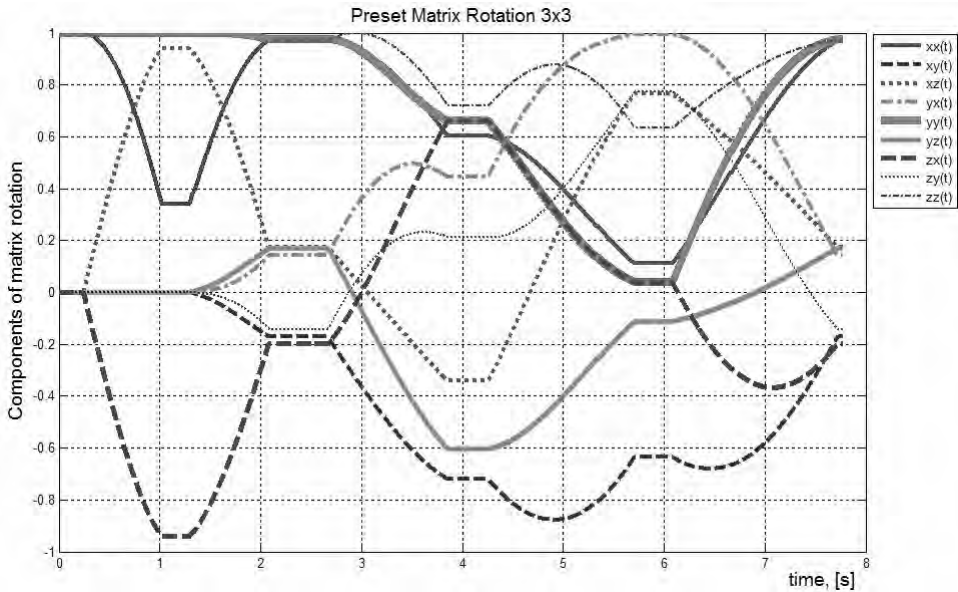


Rys. 5. Trajektorie przejazdu robota między zadanymi punktami

Rozważając przejazd oznaczony numerem 4 można na wykresie zauważyć jednocześnie rozpoczęcie i zakończenie rotacji oraz przejazdu po linii prostej w przestrzeni 3D. Podobnie jest w pozostałych przypadkach oprócz przejazdu trzeciego. Podczas tego przejazdu kiść chwytaka nie zmienia swojego położenia a jedynie orientację. W efekcie uruchomiona została funkcja wyznaczająca minimalny czas realizowanych rotacji.



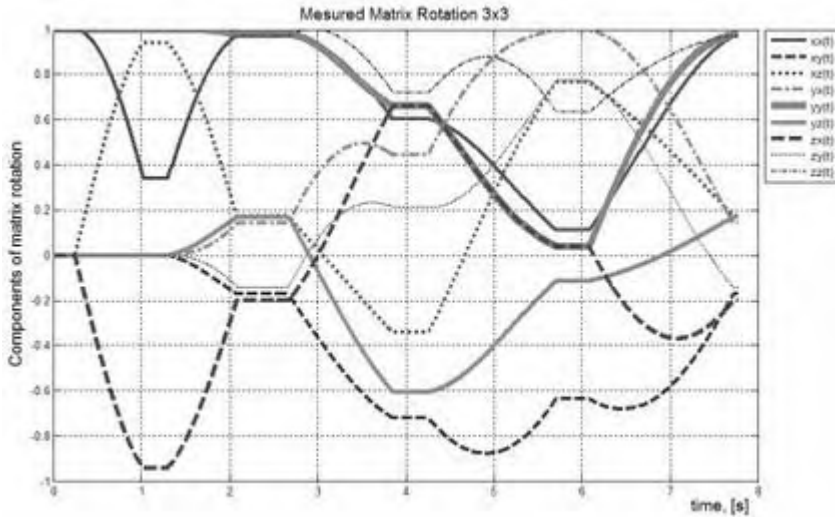
Rys. 6. Wartości trzech wybranych elementów zmierzonej macierzy rotacji oraz relatywna droga przejazdu robota w przestrzeni 3D



Rys. 7. Zadane wartości wszystkich elementów macierzy rotacji końci

Wartości wszystkich dziewięciu zadanych wartości elementów macierzy rotacji w trakcie realizacji trajektorii przedstawia rysunek 7. Przyjęte oznaczenia elementów macierzy rotacji przedstawia wyrażenie:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} xx(t) & xy(t) & xz(t) \\ yx(t) & yy(t) & yz(t) \\ zx(t) & zy(t) & zz(t) \end{bmatrix} \quad (1)$$



Rys. 8. Zmierzone wartości wszystkich elementów macierzy rotacji kiści

Oceny zgodności zmierzonych obrotów realizowanych przez kiść robota z obrotami zadanymi za pomocą macierzy rotacji można na podstawie rysunków 7 i 8. Za pomocą rysunków ocenić także można poprawność działania całego algorytmu przekształcającego wartości zadanych kątów obrotu na odpowiadające im orientacje kiści.

WNIOSKI

Uzyskane wykresy dowodzą w pełni synchronicznej realizacji trzech obrotów kiści robota z pracą interpolatora liniowego. Dzięki temu rotacje rozpoczynają się i kończą zgodnie z początkiem i zakończeniem ruchu liniowego kiści co zgodne jest z zasadą sterowania rzeczywistym robotem [3]. Poprawnie działa także funkcja określająca minimalny czas realizowanych zmian orientacji kiści robota. Funkcja uruchamiana jest gdy czas przejazdu wzdłuż linii prostej jest zbyt krótki lub gdy do zmiany pozycji kiści nie dochodzi. Poprawnie działa także cały algorytm przekształcający wartości zadanych kątów obrotu na odpowiadające im orientacje kiści. System SGPR oraz interpolator liniowy mogą pracować niezależnie w trybach STA oraz SdsV. Daje to cztery możliwe kombinacje przejazdów między punktami w przestrzeni 3D. Najważniejsza z nich to przejazd z zadaną

maksymalną prędkością ruchu jednostajnego wzdłuż linii prostej oraz jednoczesny obrót wszystkich napędów zsynchronizowany z czasem przejazdu liniowego. Ten tryb pracy zgodny jest ze sposobem realizacji przejazdów przez rzeczywisty model robota FANUC AM100iB. Odpowiada to kombinacji trybów SdsV interpolatora oraz STA trzech rotacji.

PIŚMIENNICTWO

1. Zbilski A.: Interpolator ruchu liniowego robota o sześciu stopniach swobody. Gliwice 2011, (w druku).
2. Zbilski A.: Wektorowo-punktowa metoda rozwiązywania odwrotnego zadania kinematyki robota FANUC AM100iB. Gliwice 2011, (w druku).
3. FANUC: Podręcznik operatora B-82594PL-2/01. 2007.

SETPOINT SIGNAL OF ROTATIONS GENERATION SYSTEM

Summary

In the paper signal set of rotations system of virtual FANUC AM100iB robot is presented. System is a part of total virtual control system of virtual robot. Signals around three coordinates axis x , y and z generated by this system includes information about kinematic parameters which are required to be obtain during robots movement. System provides full synchronized movement for all rotations around three axis when changing orientation. Additionally it is synchronized to linear interpolator and thanks to this fact programmed technological process is realized very smoothly.

Keywords: robot, rotation, control system.