

Aleksander STASZULONEK
Politechnika Śląska

MODELOWANIE RUCHU EKSPERYMENTALNEGO ROBOTA PRZEMYSŁOWEGO W CZASIE RZECZYWISTYM

Streszczenie. W pracy prezentowane jest oprogramowanie przeznaczone do graficznej prezentacji ruchu eksperymentalnego robota przemysłowego. Do realizacji prezentowanego oprogramowania wykorzystano podstawowe elementy grafiki oraz animacji komputerowej. System został zrealizowany w środowisku Unix oraz X-Windows. Wejściem dla programu wizualizacji są dane pochodzące z łącza szeregowego, z którego pobierane są pozycje zadane i rzeczywiste robota realizującego trajektorię zadaną generowaną przez programy zadawania położenia. Wyjściem programu jest pseudoprzestrzenna animacja ruchu robota, dokonywana w czasie rzeczywistym na podstawie danych pobranych z łącza szeregowego.

MODELLING OF THE EXPERIMENTAL ROBOT MOTION IN REAL TIME

Summary. In this work the software system for graphic presentation of industrial robot motion has been developed. For the implementation of the presented software basic concepts of computer graphics and animation have been applied. All programming has been carried out in the Unix and X-Windows environment. The actual robot position is transmitted from the servocontroller system to the graphic workstation in real time as the result of motion commands issued by the desired trajectory generator. Both streams of data are then used to obtain the 3-D animated robot trajectory presented in real time on the screen of X-Terminal.

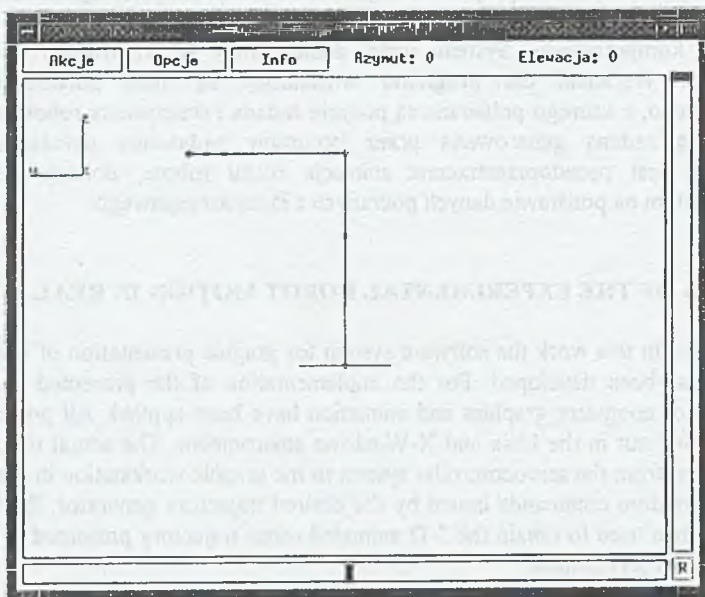
1. Współpraca systemu wizualizacji ruchu z procesami generowania położenia zadanego robota

Współistnienie wielu procesów w systemie UNIX jest podstawową cechą UNIX'a. Z tego powodu działanie w stacji roboczej zarówno systemu WIZ, jak i programów generujących pozycje zadane dla robota (np. generatory trajektorii, języki programowania robota) nie stanowi problemu. System WIZ pomyślany jest jako program umożliwiający współpracę z innymi programami w sposób klarowny. Sprzyja temu fakt, że rozkazy odczytywane są z łącza szeregowego. Umożliwia to współpracę WIZ'a z programami już istniejącymi bez ingerencji

w ich kod źródłowy. Z kolei w sterowniku napędów oprogramowano zwracanie przez robota pozycji zadanej i rzeczywistej jako przerwanie zegarowe, w związku z czym procedura ta nie koliduje z programem sterowania robota. Widać więc stąd, że ingerencja w istniejące oprogramowanie generatorów, jak i uwzględnianie współpracy przyszłych aplikacji z programem WIZ nie są konieczne.

2. Wybrane możliwości systemu wizualizacji ruchu robota

Po załadowaniu przez system programu do pamięci na ekranie ukaże się okienko, którego wygląd przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Okienko startowe systemu wizualizacji
Fig. 1. Initial screen of the visualisation system

Okienko składa się z obszaru rysowania, menu (umieszczonego u góry okienka), dwóch pasków przewijania (u dołu i po prawej stronie obszaru rysowania) oraz z etykiet - azymut i elewacja (u góry i po prawej stronie obszaru rysowania). W czasie działania programu w obszarze rysowania wyświetlany jest animowany robot lub przebiegi współrzędnych naturalnych lub kartezjańskich robota (w zależności od dokonanej przez użytkownika wyboru). Ponad obszarem rysowania wyświetlany jest bieżący azymut i elewacja, określające widok 3D robota. Do zmiany tych parametrów służą paski przewijania

umieszczone, jak już wspomniano, u dołu i po prawej stronie obszaru rysowania. Pasek dolny służy do zmiany azymutu, natomiast pasek po prawej do zmiany elewacji. Zmiana następuje przez naciśnięcie środkowego klawisza myszki (lub klawisza lewego i prawego jednocześnie, gdy mysz posiada tylko dwa klawisze) w żądanym miejscu paska przewijania. Przytrzymanie wciśniętego klawisza i ciągnięcie myszki pozwala na aktualizowanie parametru na bieżąco. Innym sposobem zmiany parametrów azymut i elewacja jest użycie klawiatury. Strzałki góra-dół służą do zmiany elewacji, natomiast strzałki prawo-lewo do zmiany azymutu. Zarówno paski przewijania, jak i klawisze strzałek są aktywne tylko wtedy, gdy wyświetlany jest widok 3D robota. W innych przypadkach zmiana tych parametrów jest niemożliwa.

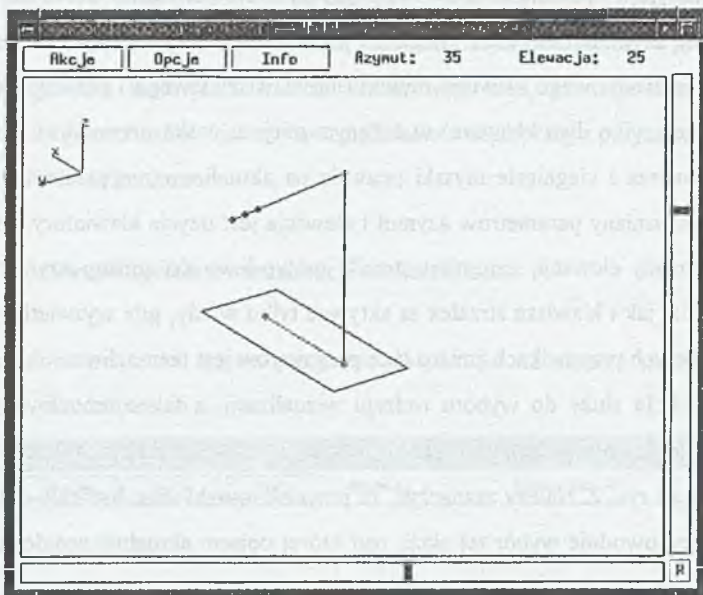
Menu Akcja służy do wyboru rodzaju wizualizacji, a także umożliwia zakończenie działania programu. Po najechaniu kursorem myszki na przycisk **Akcja** pojawi się rozwijane menu pokazane na rys. 2. Należy zaznaczyć, że przycisk myszki musi być cały czas naciśnięty. Jego zwolnienie powoduje wybór tej akcji, nad której opisem aktualnie znajdował się kursor myszki.

Animacja 2D	F1
Animacja 3D	F2
Przebiegi Qn(1) - zadane	F3
✓Przebiegi Qn(1) - rzeczywiste	F4
Przebiegi Qn(1) - uchyb	F5
Przebiegi XYZ(1) - zadane	F6
Przebiegi XYZ(1) - rzeczywiste	F7
Przebiegi XYZ(1) - uchyb	F8
Wyjście	Esc

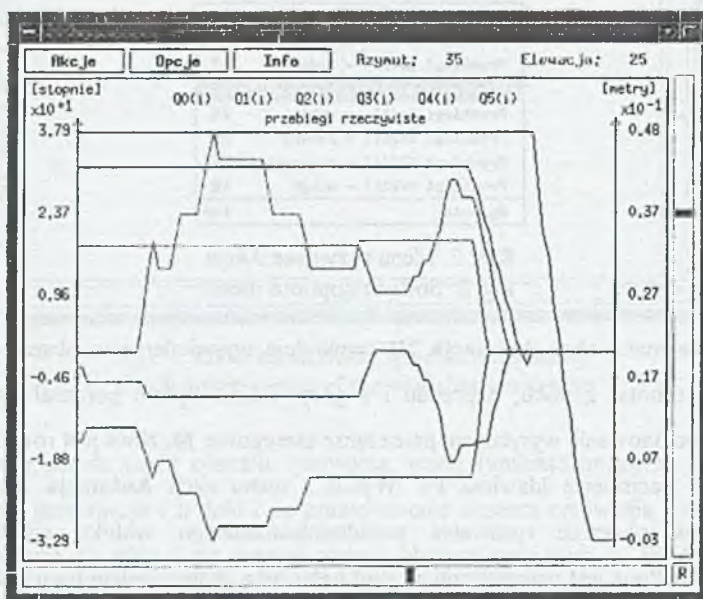
Rys. 2. Menu rozwijane Akcja

Fig. 2. Software options menu

Wybór z menu akcji **Animacja 2D** spowoduje wyświetlenie w obszarze rysowania trzech rzutów robota: z boku, z przodu i z góry. Robot będzie poruszał się zgodnie z rozkazami pozycjonowania wysyłanymi przez łącze szeregowo. Możliwe jest również wybranie tej akcji przez naciśnięcie klawisza F1. Wybór z menu akcji **Animacja 3D** spowoduje wyświetlenie w obszarze rysowania pseudoprzestrzennego widoku robota. Pozycja obserwatora określona jest parametrami azymut i elewacja. Robot będzie poruszał się zgodnie z rozkazami pozycjonowania wysyłanymi przez łącze szeregowo. Możliwe jest również wybranie tej akcji przez naciśnięcie klawisza F3. Wygląd okienka aplikacji po wybraniu tej akcji przedstawiony jest na rys. 3.

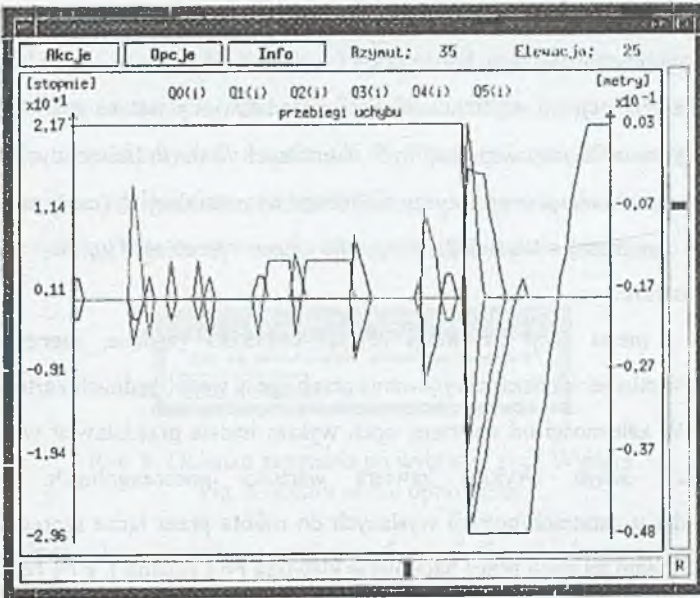


Rys. 3. Okienko po wybraniu akcji Animacja 3D
Fig. 3. Window of 3-D animation

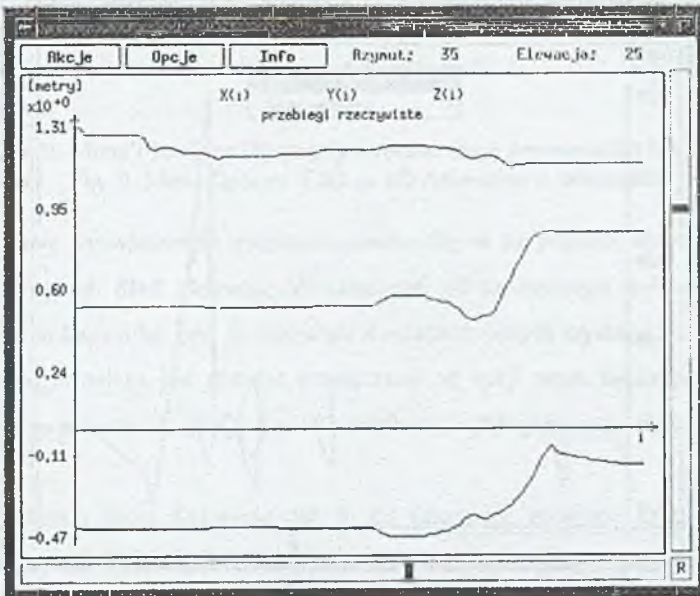


Rys. 4. Okienko programu po wybraniu akcji Przebiegi $Q_n(i)$ - rzeczywiste
Fig. 4. Window of the option Trajectories $Q_n(i)$ - real

Wybór z menu akcji **Przebiegi Qn(i)-xxxxxxx** (zadane, rzeczywiste, uchyb) spowoduje wyświetlenie w obszarze rysowania przebiegów współrzędnych naturalnych $\theta_0(i)$ do $\theta_5(i)$.



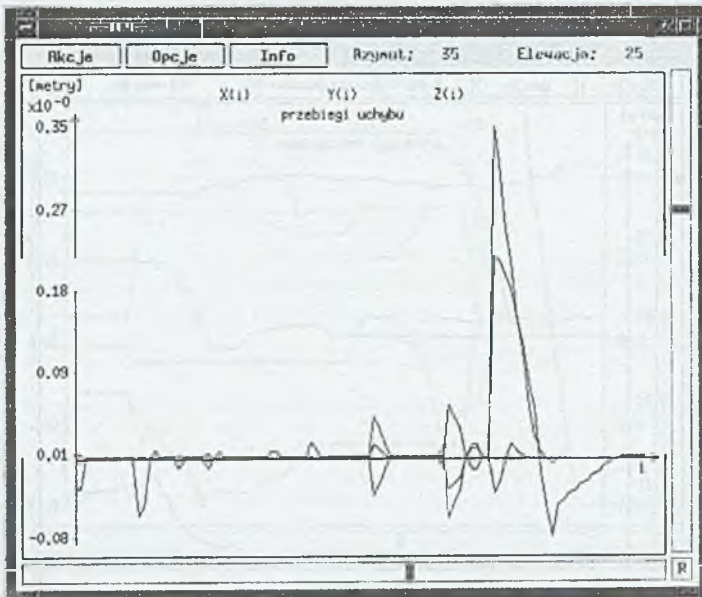
Rys. 5. Okienko po wybraniu akcji Przebiegi Qn(i) - uchyb
Fig. 5. Result of the option Trajectories Qn(i) - position error



Rys. 6. Okienko po wybraniu akcji Przebiegi XYZ(i) - rzeczywiste
Fig. 6. Result of the option Trajectories XYZ(i) - rzeczywiste

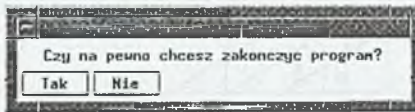
W zależności od wybranej opcji wykres będzie przedstawiał wartości zadane, rzeczywiste lub uchyb. Wykres zawiera wartości poszczególnych współrzędnych naturalnych dla n ostatnich pozycji wysłanych do robota przez łącze szeregowo. Możliwe jest również wybranie tej akcji przez naciśnięcie klawisza F3 (zadane), F4 (rzeczywiste) lub F5 (uchyb). Wygląd okienka aplikacji po wybraniu tej opcji przedstawiony jest na rys. 4 i 5. Skala po stronie lewej wykresu dotyczy współrzędnych naturalnych θ_1 do θ_5 (mierzonych w stopniach), natomiast skala po stronie prawej dotyczy współrzędnej naturalnej θ_0 (czyli położenia wózka mierzonego w metrach). Wyświetlane są faktyczne przebiegi kątów, odpowiadające współrzędnym naturalnym.

Wybór z menu akcji **Przebiegi XYZ(i)-xxxxxxx** (zadane, rzeczywiste, uchyb) spowoduje wyświetlenie w obszarze rysowania przebiegów współrzędnych kartezjańskich $X(i)$, $Y(i)$ oraz $Z(i)$. W zależności od wybranej opcji wykres będzie przedstawiał wartości zadane, rzeczywiste lub uchyb. Wykres zawiera wartości poszczególnych współrzędnych kartezjańskich dla n ostatnich pozycji wysłanych do robota przez łącze szeregowo. Możliwe jest również wybranie tej opcji przez naciśnięcie klawisza F6 (zadane), F7 (rzeczywiste) lub F8 (uchyb). Wygląd okienka aplikacji po wybraniu tej opcji przedstawiony jest na rys. 6 i 7.



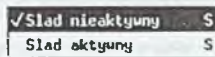
Rys. 7. Okienko po wybraniu akcji Przebiegi XYZ(i) - uchyb
 Fig. 7. Result of the option Trajectories XYZ(i) - position error

Wybór z menu akcji **Wyjście** powoduje wyświetlenie okienka zapytania przedstawionego na rys. 8. W zależności od wyboru dokonanego przez użytkownika program zakończy działanie (przycisk **Tak**) lub nie (przycisk **Nie**). Innym sposobem zakończenia programu jest naciśnięcie klawisza *Escape*. Spowoduje to pojawienie się takiego samego okienka dialogowego jak powyżej. Oprócz możliwości wybrania przycisku **Tak/Nie** w okienku zapytania można także skorzystać z klawiszy *N*, *T*, *Escape* i *Return*. Klawisz *Escape* (lub *N*) jest równoznaczny z naciśnięciem przycisku **Nie**, natomiast klawisz *Return* (lub *T*) - z naciśnięciem przycisku **Tak**, co spowoduje ostateczne zakończenie programu.



Rys. 8. Okienko zapytania po wybraniu akcji **Wyjście**
Fig. 8. Result of the option **Exit**

Menu **Opcje** służy do wyboru opcji specyficznych dla aktualnego rodzaju wizualizacji. W zależności od tego, jaki rodzaj wizualizacji jest w danej chwili aktywny, taka będzie postać rozwijanego menu **Opcje**. Jeśli wybrano akcję **Animacja 2D**, to po wskazaniu kursorem myszki na przycisk **Opcje** pojawi się rozwijane menu pokazane na rys. 9.

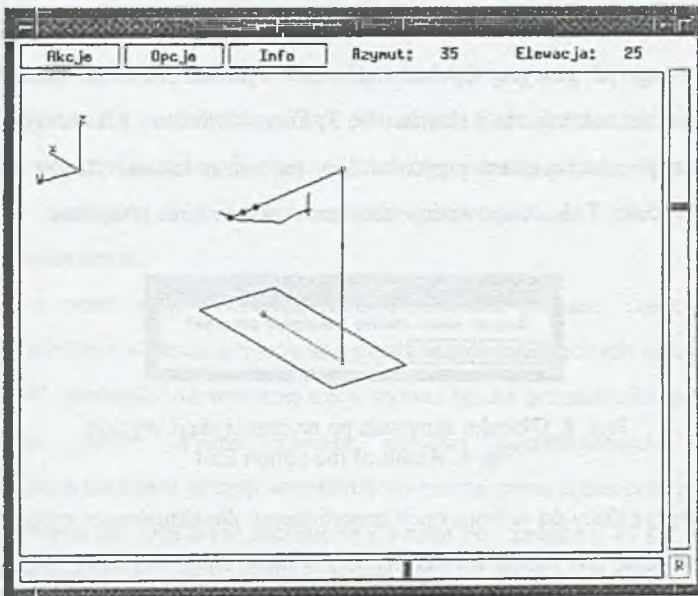


Rys. 9. Menu rozwijane **Opcje** gdy wybrano akcję **Animacja 2D** lub **3D**
Fig. 9. Menu **Options** if **2D** or **3D Animation** is selected

Sterowanie wyświetlaniem trajektorii robota odbywa się poprzez wybór jednej z opcji **Ślad nieaktywny** lub **Ślad aktywny**. W zależności od dokonanego wyboru wyświetlony zostanie widok ze śladem lub bez. Ślad zawiera « ostatnich pozycji wysłanych do robota przez łącznie szeregowo. Możliwe jest również przełączanie tej opcji przez naciśnięcie klawisza *S*. Naciśnięcie go w momencie, gdy ślad jest nieaktywny, spowoduje jego aktywowanie i vice versa.

Jeśli wybrano akcję **Animacja 3D**, to po najechaniu kursorem myszki na przycisk **Opcje** pojawi się rozwijane menu dokładnie takie, jak opisano powyżej dla akcji **Animacja 2D**. Identycznie będzie też dokonywany wybór opcji. Należy zaznaczyć, że chociaż wygląd

rozwijanego menu jest identyczny, to wybór opcji dla poszczególnych akcji jest niezależny. Wygląd okienka aplikacji po wybraniu opcji Ślad aktywny przedstawiony jest na rys. 10.



Rys. 10. Okienko po wybraniu akcji Animacja 3D oraz opcji Ślad aktywny
Fig. 10. Result of the option 3D Animation and Active Trace

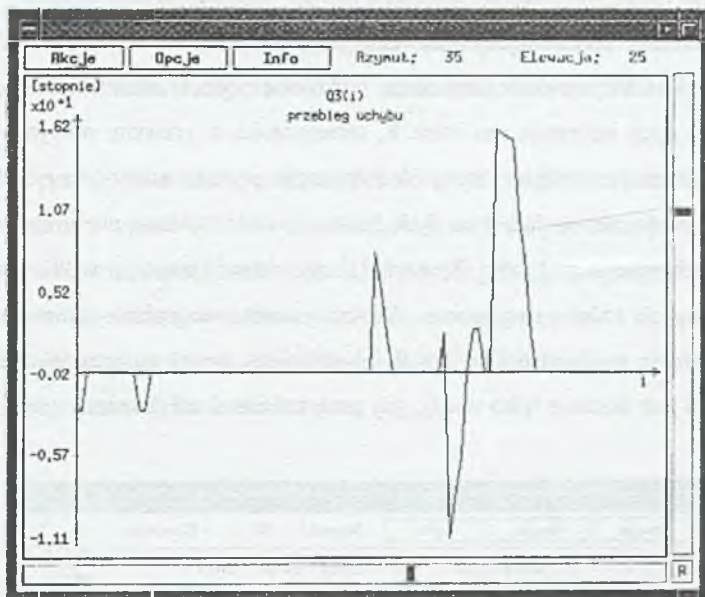
Jeśli wybrano akcję **Przebiegi Qn(i)-xxxxxxx**, to po wybraniu kursorem myszki przycisku **Opcje** pojawi się rozwijane menu pokazane na rys. 11.

Wszystkie przebiegi	N
Przebieg Q0(i)	0
Przebieg Q1(i)	1
Przebieg Q2(i)	2
Przebieg Q3(i)	3
Przebieg Q4(i)	4
Przebieg Q5(i)	5

Rys. 11. Menu rozwijane Opcje, gdy wybrano akcję Przebiegi Qn(i)
Fig. 11. Result of the option Trajectories Qn(i)

Opcje te umożliwiają wyświetlenie przebiegu każdej współrzędnej naturalnej oddzielnie. Można posłużyć się także klawiszami od 0 do 5 (co odpowiada wyborowi odpowiedniej współrzędnej naturalnej). Wygląd okienka aplikacji po wyborze opcji **Przebieg Q3(i)** (a więc wybraniu przebiegu współrzędnej naturalnej θ_3) przedstawiony jest na rys. 12.

Powrót do wyświetlania wszystkich przebiegów jednocześnie jest możliwy po wybraniu opcji **Wszystkie przebiegi** lub po naciśnięciu klawisza **W**.



Rys. 12. Okienko po wybraniu akcji Przebiegi $Q_n(i)$ -uchyb dla $n=3$
 Fig. 12. Result of the option Trajectories $Q_n(i)$ - position error for $n=3$

Jeśli wybrano akcję **Przebiegi XYZ(i)-xxxxxxx**, to po wskazaniu kursorem myszki na przycisk **Opcje** pojawi się rozwijane menu pokazane na rys. 13.

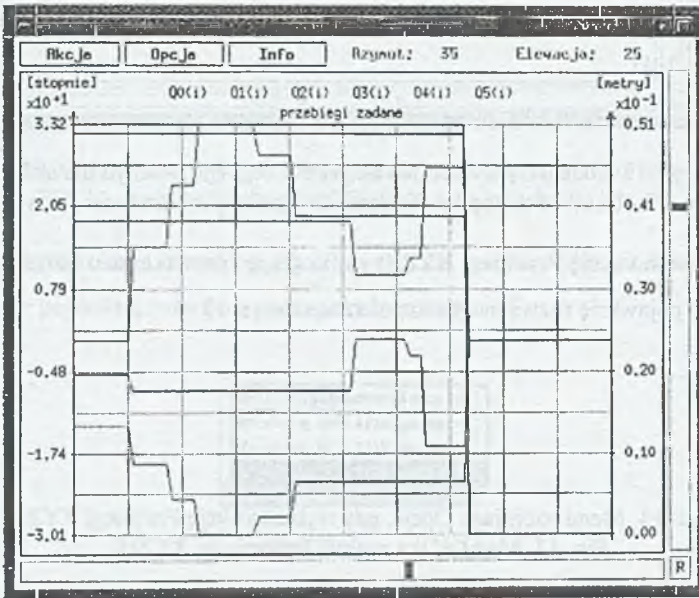
Wszystkie przebiegi	W
Przebieg X(i)	X
Przebieg Y(i)	Y
✓Przebieg Z(i)	Z

Rys. 13. Menu rozwijane Opcje, gdy wybrano akcję Przebiegi XYZ(i)
 Fig. 13. Menu of the option Trajectories XYZ(i)

Opcje te umożliwiają wyświetlenie przebiegu każdej współrzędnej kartezjańskiej oddzielnie. Można posłużyć się także klawiszami **X**, **Y** oraz **Z**, co odpowiada wyborowi odpowiedniej współrzędnej kartezjańskiej. Powrót do wyświetlania wszystkich przebiegów jednocześnie następuje po wybraniu opcji **Wszystkie przebiegi** lub po naciśnięciu klawisza **W**. Możliwe jest również wyświetlenie siatki przy rysowaniu przebiegów. Naciśnięcie klawisza **G** powoduje rysowanie siatki. Jego ponowne naciśnięcie wstrzymuje rysowanie siatki. Opcja

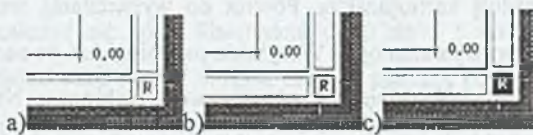
dostępna jest tylko z klawiatury i dotyczy wszystkich rysowanych przebiegów. Wygląd okienka aplikacji po wybraniu tej opcji przedstawia rys. 15.

Program ma możliwość zapisywania w pliku danych odczytywanych z robota. Możliwość ta jest aktywowana jako opcja podawana podczas uruchomienia programu. O aktywności tej opcji informuje nas litera R, umieszczona w prawym, dolnym rogu okienka aplikacji. Może ona przybrać trzy stany. W pierwszym, przedstawionym na rys. 15a, informuje nas o niedostępności zapisu danych na dysk. Jest to sytuacja, w której nie wyspecyfikowano tej opcji przy uruchamianiu programu. Rysunek 15b przedstawia sytuację, w której rejestrowanie jest możliwe ale jest czasowo wyłączone. Wstrzymanie i wznowienie zapisu danych na dysk jest możliwe przez naciśnięcie klawisza R lub kliknięcie myszą na przycisku R w okienku. Przełączanie to jest możliwe tylko wtedy, gdy program został uruchomiony z opcją aktywującą rejestrację.



Rys. 14. Okienko wraz z narysowaną siatką

Fig. 14. Result of the option Grid On



Rys. 15. Sterowanie możliwością zapisu danych na dysk

Fig. 15. Control of the data storage in the disk file

Menu **Info** w przeciwieństwie do opisywanych poprzednio nie powoduje wyświetlenia rozwijanego menu, lecz od razu wykonuje akcję, która w tym przypadku polega na wyświetleniu okienka informacyjnego. Innym sposobem wyboru tej akcji jest naciśnięcie klawisza I. Do zamknięcia okienka informacyjnego służy przycisk **OK** umieszczony u dołu okienka. Zamknięcie okienka nastąpi również po naciśnięciu dowolnego z klawiszy *Escape* lub *Return*.

Program pracuje tylko na wyświetlaczach kolorowych. Najlepsza rozdzielczość obrazu do pracy z programem wynosi 800x600 pikseli (choć możliwa jest także praca programu w innych rozdzielczościach). Jednocześnie może działać tylko jedna kopia programu (ze względu na możliwość konfliktu dostępu zarówno do łącza szeregowego, jak i segmentu pamięci współdzielonej). Program wykrywa próbę utworzenia kopii działającego programu i kończy działanie wypisując stosowny komunikat.

3. Wnioski

W ramach niniejszej pracy został stworzony system wizualizacji ruchu robota eksperymentalnego. Oprogramowanie wchodzące w skład tego systemu zostało uruchomione na stanowisku laboratoryjnym oraz przetestowane. W szczególności program:

- animuje na ekranie pseudoprzestrzennego robota,
- animuje robota w trzech rzutach,
- wyświetla przebiegi współrzędnych naturalnych i kartezjańskich robota (zadane, rzeczywiste oraz uchyby),
- odczytuje dane z łącza szeregowego, pozostając tym samym przezroczystym dla współpracujących z nim programów,
- posiada możliwość zapisywania odczytywanych z łącza szeregowego danych w pliku dyskowym.

W szczególności opcja zapisywania wyświetlanych przebiegów umożliwia ich późniejsze odtworzenie i analizę. Dzięki możliwości rejestracji uchybów położenia system nadaje się do badania jakości algorytmów sterowania oraz kalibracji systemu kinematycznego robota.

LITERATURA

1. Angell I.O.: Wprowadzenie do grafiki komputerowej. WNT, Warszawa 1988.
2. Bach M.J.: Budowa systemu operacyjnego Unix. WNT, Warszawa 1995.
3. Barkakati N.: Grafika i animacja w Windows. Intersoftland, Warszawa 1994.
4. Craig J.J.: Wprowadzenie do robotyki. Mechanika i sterowanie. WNT, Warszawa 1995.

5. Czarniecki A.: Integracja elementów systemu sterowania doświadczalnym robotem przemysłowym. Praca dyplomowa. Instytut Automatyki, Politechnika Śląska, Gliwice 1996.
6. Kernighan B.W., Ritchie D.M.: Język ANSI C. WNT, Warszawa 1994.
7. Marzec B.: Wprowadzenie do standardu magistrali VMEbus. WNT, Warszawa 1994.
8. Mielczarek W.: Szeregowe interfejsy cyfrowe. Helion, Gliwice 1993.
9. Morecki A., Knapczyk J.: Podstawy robotyki. Teoria i elementy manipulatorów i robotów. WNT, Warszawa 1994.
10. Nye A. i in.: The Definitive Guides to the X Window System. Vol. 1-6. O'Reilly & Associates, Inc. 1992.
11. Piotrowski A.J.: Standard interfejsu szeregowego RS-232C. Komputer, nr 6/1986.
12. Rochkind M.J.: Programowanie w systemie Unix dla zaawansowanych. WNT, Warszawa 1997.
13. Stevens W.R.: Programowanie zastosowań sieciowych w systemie Unix. WNT, Warszawa 1996.

Recenzent: Prof.dr hab.inż. Jerzy Klamka

Abstract

In this work the system of visualisation of industrial robot trajectory is presented. In particular, hardware and software environment, basic concepts of the system, and implementation problems have been discussed. As the experimental setup an existing robot control system entirely developed at the Institute of Automation has been used. Developed control system has bilevel structure. The input to the developed program consists of the actual position transmitted from the servocontroller level and desired position calculated by the trajectory generator. Both data are continuously acquired from the two independent processes in real time. Both, real and desired trajectories are displayed in animated 3D form on the screen of X-Terminal. The data can be displayed in different projections, different angles, with or without grid etc. Additionally the trajectory of each robot axis can be displayed separately either in the natural or Cartesian coordinates. The same concerns the position errors for each axis. Obtained data can be stored on the hard disk for future analysis. The presented system can be also used for investigation of the robot control algorithms.