

mgr Marcin Chciuk  
Uniwersytet Zielonogórski

## STEROWANIE RAMIENIEM ROBOTA ZA POMOCĄ WIELOOSIOWEGO DŻOJSTIKA DOTYKOWEGO Z CIECZĄ MAGNETOREOLOGICZNĄ I SIŁOWYM SPRĘŻENIEM ZWROTNYM

*W artykule opisano wybrane urządzenia dotykowe. Przedstawiono budowę wykorzystywanego do badań robota. Końcowa część artykułu zawiera opisy konstrukcji wieloosiowego dżojstika dotykowego, badań obrotowych hamulców z cieczą magnetoreologiczną oraz układu sterowania robotem.*

### ROBOT ARM'S CONTROL USING A MULTIAXIAL HAPTIC JOYSTICK WITH MAGNETO-RHEOLOGICAL FLUID AND FORCE FEEDBACK

*The article describes selected existing haptic devices and briefly features the construction of the robot used in the research. The last section includes multi-axial haptic joystick's specification, studies of rotary dampers with magneto-rheological fluid and description of robot's control system.*

#### 1. WSTĘP

Urządzenia dotykowe (*haptic devices*) zostały wynalezione stosunkowo niedawno i służą one do przekazywania bodźców dotykowych z różnych urządzeń do użytkownika. Bodźcami tymi mogą być:

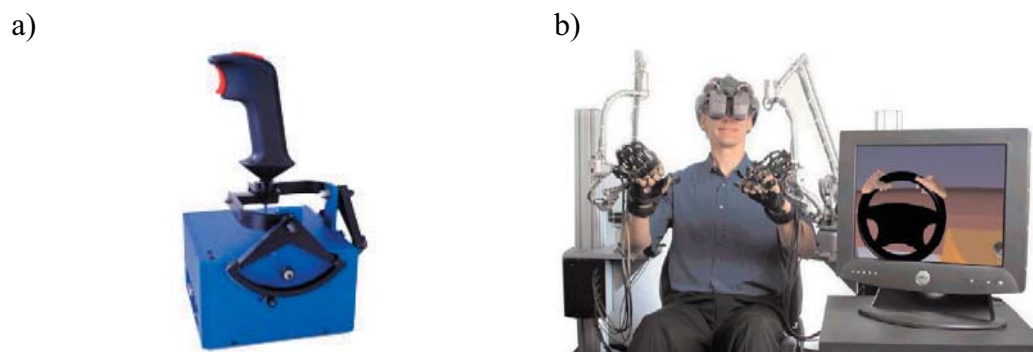
- Siła, z jaką naciska się na przedmiot (siłowe sprzężenie zwrotne – ang. *force feedback*)
- kształt
- masa
- tekstura
- temperatura
- wibracje (wibracyjne sprzężenie zwrotne – ang. *vibrotactile feedback*).

Elementami, dzięki którym wrażenia dotykowe mogą być przekazywane do użytkownika są wszystkie części urządzeń, z którymi człowiek ma styczność, za pośrednictwem zmysłu dotyku. Najczęściej są to różnego rodzaju dżojstiki, kierownice, myszki, pedały, ale mogą to również być monitory dotykowe, rękawice, kostiumy obejmujące górne lub dolne kończyny oraz wszelkiego rodzaju imitacje rzeczywistych przedmiotów (przyrządy medyczne, smyczek od skrzypiec itp. [1]).

Urządzenia dotykowe mają też zastosowanie w aplikacjach związanych z wirtualną rzeczywistością i wraz z trójwymiarowym obrazem i przestrzennym dźwiękiem stanowią jej rozszerzenie. Urządzenia dotykowe mogą również znaleźć szerokie zastosowanie w przemyśle, zastępując tradycyjne dżojstiki. Mogłyby one przekazywać operatorom maszyn informacje o stanie urządzenia np.: jaka masa jest podnoszona lub jakie opory napotyka narzędzie.

## 2. PRZEGLĄD URZĄDZEŃ DOTYKOWYCH

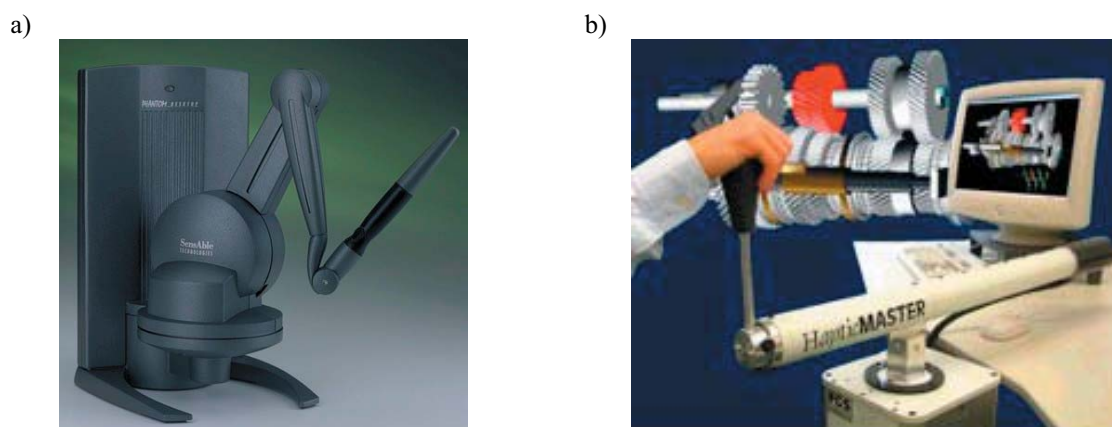
Jednym z głównych producentów, zajmujących się tworzeniem urządzeń dotykowych, jest firma Immersion [7]. Wytwarza ona niemal wszystkie rodzaje ww. urządzeń, poczynając od stosowanych w grach komputerowych dżojstików (rys. 1a), pedałów i kierownic poprzez myszki, rękawice dające wrażenie uścisku wirtualnego przedmiotu, aż do skomplikowanych systemów, takich jak przedstawiona na rys. 1b Haptic Workstation.



Rys. 1. Dżojstik dotykowy a) oraz Haptic Workstation b) firmy Immersion [7]

Oprócz tego firma produkuje też symulatory medyczne używane podczas symulacji zabiegów chirurgicznych.

Kolejnym producentem urządzeń dotykowych jest firma SensAble [9]. Ma ona w swojej ofercie dwa urządzenia dotykowe. Pierwszym z nich jest urządzenie o nazwie SensAble Phantom Desktop (rys. 2a). Drugie to HapticMASTER (rys. 2b), opracowane wspólnie z firmą FCS Robotics, czołowym producentem różnego rodzaju symulatorów. Jest to ramię mające trzy stopnie swobody, które ma możliwość przekazywania użytkownikowi siły do 250 N.



Rys. 2. Urządzenia dotykowe produkowane przez firmę SensAble:  
a) SensAble Phantom Desktop, b) HapticMASTER [9]

Kolejną firmą produkującą urządzenia dotykowe jest Force Dimension [8]. Ma ona w swojej ofercie między innymi urządzenia: 3-DOF OMEGA i 3- 6- DOF DELTA – dżojstik i przycisk z siłowym sprzężeniem zwrotnym.

a)



b)



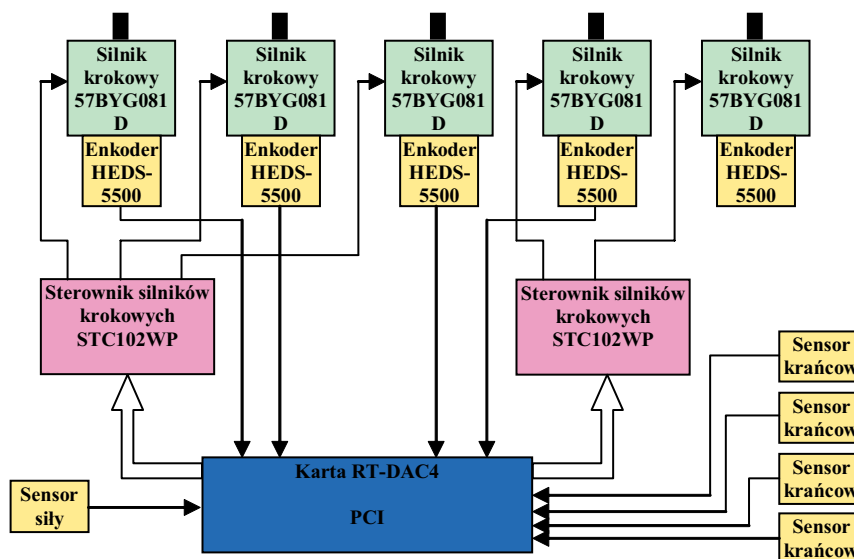
Rys. 3. Urządzenia dotykowe produkowane przez firmę Force Dimension:  
a) 3-DOF OMEGA, b) 3-DOF DELTA [8]

Produkty ww. firm są tylko przykładem coraz szerszego zastosowania urządzeń dotykowych. W ramach projektu badawczego Unii Europejskiej GRAB badacze z Hiszpanii, Irlandii, Niemiec, Wielkiej Brytanii i Włoch prowadzą prace nad stworzeniem nowego typu interfejsu komputerowego, który ma umożliwić osobom niewidomym nawigację w trójwymiarowym środowisku graficznym [11]. Urządzenie to będzie nosiło nazwę Haptic & Audio Virtual Environment (HAVE) i składać się będzie z umieszczonych nad płaskim blatem dwóch, dołączanych do palców obu dłoni użytkownika, mechanicznych ramion.

Urządzeniami dotykowymi mocno interesuje się też środowisko naukowe. Przykładem może być wspierane przez czołowych producentów urządzeń dotykowych i poświęcone w całości tej technologii, międzynarodowe sympozjum naukowe, które odbyło się w 2005 r. w Pizzie [10].

### 3. BUDOWA ROBOTA WYKORZYSTYWANEGO PODCZAS BADAŃ

Do badań wykorzystywany będzie robot ROMIK (rys. 5). W porównaniu z seryjnie produkowanymi egzemplarzami zostały w nim wprowadzone następujące modyfikacje:



Rys. 4. Schemat układu sterowania silników krokowych

- zmieniono silniki napędu na mocniejsze typu 57BYG081D
- na silnikach zamontowano enkodery typu HEDS-5500
- zmodyfikowano układ sterowania, który składa się teraz ze sterowników silników krokowych STC102WP oraz karty sterującej RT-DAC4/PCI (rys. 4)
- założono wytrzymalsze paski klinowe.

Robot będzie wyposażony w czujnik dotyku, którym będzie dotykał lub przesuwał różne przedmioty. Umieszczony on będzie na końcu ostatniego ogniwa, tworząc połączenie z chwytakiem robota.



Rys. 5. Widok robota ROMIK

Aby zaprojektować dżojstik zbliżony kinematyką do wyżej opisanego robota, wykonano schemat kinematyczny robota ROMIK, który przedstawiono na rys. 6. Płaszczyzna planarności robota jest wyznaczona przez osie  $X_1$  i  $Y_1$  układu bazowego. Osie:  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$  i  $Z_4$  są prostopadłe do płaszczyzny planarności.

Współrzędnymi wewnętrznymi są:

$\theta_1$  - kąt obrotu kolumny [°]

$\theta_2$  - kąt odchylenia ramienia względem pionu [°]

$\theta_3$  - kąt odchylenia przedramienia względem ramienia [°]

$\theta_4$  - kąt odchylenia chwytaka względem przedramienia [°]

$\theta_5$  - kąt obrotu chwytaka wokół własnej osi [°].

Współrzędne zewnętrzne to:

$x, y, z$  - współrzędne kartezjańskie końca efektora wyrażone w układzie bazowym

$X_0 Y_0 Z_0$  [mm]

$\beta$  - kąt podejścia chwytaka (kąt pomiędzy nieskręconą płaszczyzną chwytaka a płaszczyzną poziomą) [°]

$\phi$  - kąt obrotu chwytaka wokół własnej osi [°]

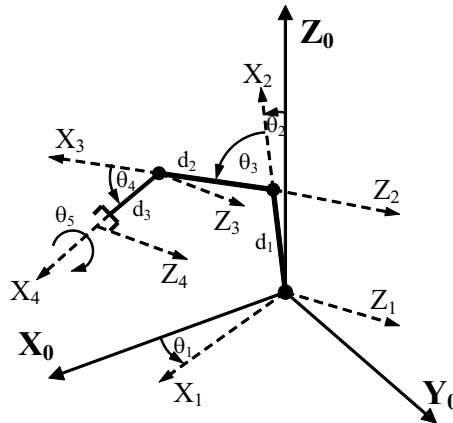
$s$  - rozstaw szczęk chwytaka [mm].

Parametry geometryczne robota:

$d_1$  - długość ramienia [mm]

$d_2$  - długość przedramienia [mm]

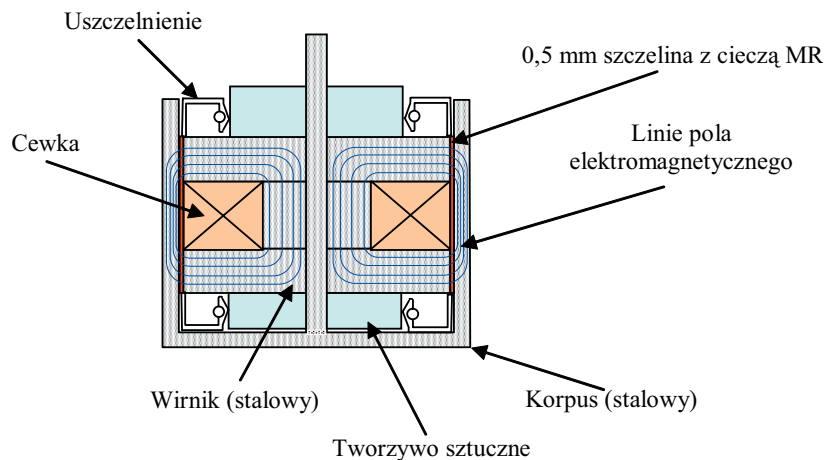
$d_3$  - długość chwytaka [mm].



Rys. 6. Struktura kinematyczna robota ROMIK dla standardowych współrzędnych przegubowych

#### 4. BUDOWA I BADANIA DOTYKOWEGO DŻOJSTIKA WIELOOSIOWEGO Z CIECZĄ MR I SIŁOWYM SPRĘŻENIEM ZWROTNYM

Założeniem projektowym było, żeby struktura kinematyczna dżojstika była zbliżona do struktury robota, którym on ma sterować. Ponadto poprzez siłowe sprzężenie zwrotne dżojstik ma przekazywać osobie sterującej robotem informację o sile, z jaką robot dotyka przedmiotów. Za wytworzenie efektu dotyku w dżojstiku odpowiedzialne są hamulce magnetoreologiczne umieszczone w każdym przegubie. Widok budowy wewnętrznej hamulca MR oraz rozkład linii pola elektromagnetycznego pokazany jest na rys. 7.



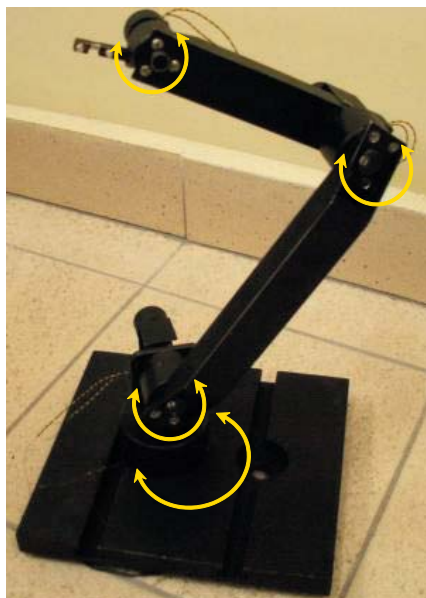
Rys. 7. Widok budowy wewnętrznej hamulca MR oraz rozkład linii pola elektromagnetycznego

Poprzez zmianę prądu płynącego przez cewkę hamulca MR zwiększa się pole magnetyczne w szczelinie, a przez to też lepkość umieszczonej w niej cieczy, co powoduje zwiększenie się momentu hamującego. Im większy jest moment hamujący, tym większą siłę należy włożyć, aby przesunąć ramię dżojstika.

Dżojstik ma za zadanie sterowanie położeniem chwytaka robota. Pomiar położenia poszczególnych ramion dżojstika odbywa się za pomocą potencjometrów. Sygnały z

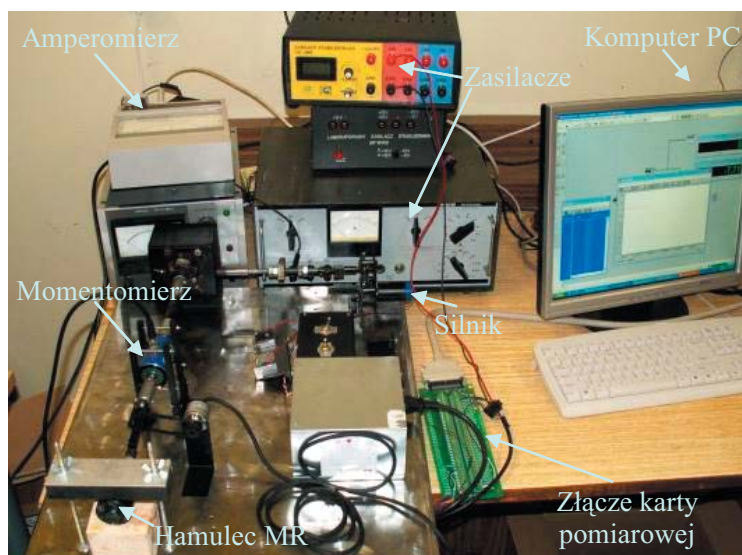
potencjometrów wprowadzane są do komputera poprzez wejścia analogowe karty sterującej. Następnie oprogramowanie przetwarza sygnały z dżojstika na wyjściowe sygnały sterujące poszczególnymi silnikami krokowymi (kierunek, prędkość).

Widok zewnętrzny dżojstika pokazany jest na rys. 8.



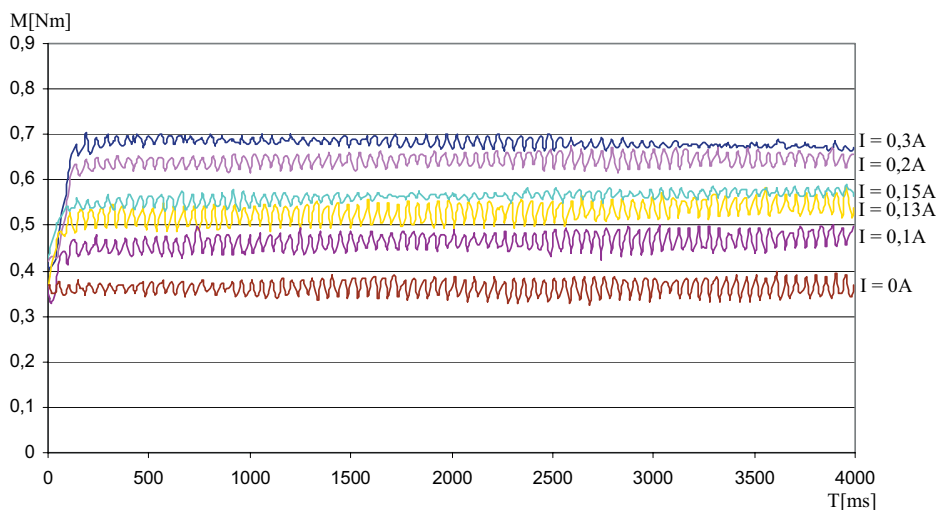
Rys. 8. Widok zewnętrzny dżojstika

Żeby dowiedzieć się, jaki moment hamujący powstaje w hamulcu MR dla poszczególnych wartości prądów należało wykonać badania doświadczalne. Badania te wykonano na stanowisku wyposażonym w momentomierz dynamiczny typ DFM22 firmy Magneton Elektronik. Widok stanowiska oraz interfejsu pomiarowego przedstawiony jest na rys. 9.



Rys. 9. Widok stanowiska badawczego

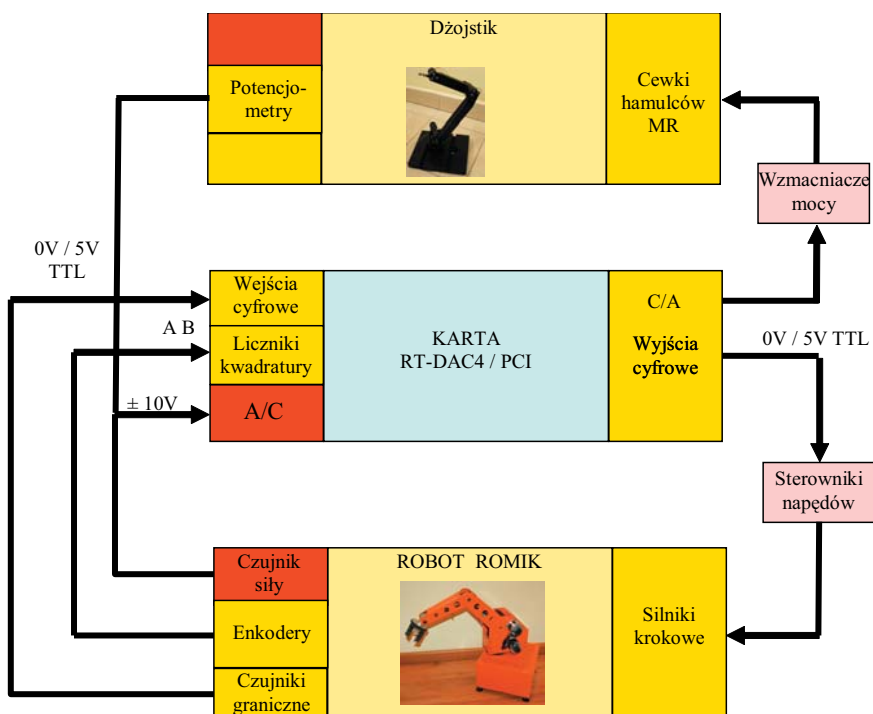
Pomiary wykonywane były przy pomocy komputera PC z kartą DaqBoard 3001 i programem DasyLab 8.0. Częstotliwość próbkowania wynosiła 100 pomiarów/sekundę. Na rys. 10 pokazane są charakterystyki zmian momentu hamującego w czasie, dla różnych wartości prądu płynącego przez cewkę hamulca MR.



Rys. 10. Badanie zmian momentu hamującego w czasie dla różnych prądów płynących przez cewki tłumika MR

## 5. ZAKOŃCZENIE

Kolejnym etapem badań będzie budowa układu sterowania robota opartego na komputerze PC i karcie RT-DAC4 PCI (rys. 11).



Rys. 11. Schemat układu sterowania

Ważnym etapem będzie też dobranie bądź zaprojektowanie czujnika siły, który umieszczony będzie na ostatnim przegubie, przed chwytakiem robota albo zamiast chwytaka.

Wyniki badań pokazują, że moment hamujący występujący w badanych hamulcach MR jest zbyt mały, żeby można było je zastosować w urządzeniu dotykowym. W związku z tym hamulce te będą zaprojektowane i wykonane od nowa.

## LITERATURA

- [1] Baillie S., Brewster S., Hall C., O'Donnell J. „Motion Space Reduction in a Haptic Model of Violin and Viola Bowing”, First Joint Euro Haptic Conference and Symposium on Haptic Interface for Virtual Environment and Teleoperator System, Pisa 2005.
- [2] MacLean, K. E. „Designing with Haptic Feedback”, in Proceedings of IEEE Robotics and Automation (ICRA'2000), San Francisco.
- [3] Milecki A., Ławniczak A.: Ciecze elektro- i magnetoreologiczne oraz ich zastosowania w technice, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 1999.
- [4] Milecki A.: Liniowe serwonapędy elektrohydrauliczne, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2003.
- [5] Milecki A.: Wybrane metody poprawy właściwości liniowych serwonapędów elektrohydraulicznych, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 1999.
- [6] <http://www.forcedimension.com>
- [7] <http://www.immersion.com>
- [8] <http://www.lord.com>
- [9] <http://www.sensable.com>
- [10] <http://www.worldhaptics.org>
- [11] <http://www.grab-eu.com/>

*Pracę wykonano w ramach projektu badawczego KBN pt.: "Konstrukcja i badania urządzeń zadających i dotykowych z cieczami magnetoreologicznymi i z siłowym sprzężeniem zwrotnym" nr 4 T07B 002 29*