

Dobór konstrukcji urządzeń haptic w zależności od wielkości i rodzaju sił występujących w sterowanym układzie

Paweł Bachman

Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski

Streszczenie: W artykule zawarto wskazówki dla osób projektujących urządzenia dotykowe. Poza tym opisano podział dźwojstików dotykowych ze względu na rodzaj elementu odpowiadającego za wywoływanie uczucia dotyku. Opisano też multidyscyplinarność branży urządzeń dotykowych oraz jej powiązania z różnymi dziedzinami nauki. Następnie przedstawiono przykładowe urządzenia dotykowe należące do poszczególnych rodzajów oraz krótki opis ich konstrukcji. Wszystkie cechy dźwojstików dotykowych zebrano w tabeli i przyporządkowano je do poszczególnych grup. Na tej podstawie wyciągnięto wnioski, jaką budowę powinien mieć uniwersalny dźwojstik dotykowy i przedstawiono jego konstrukcję.

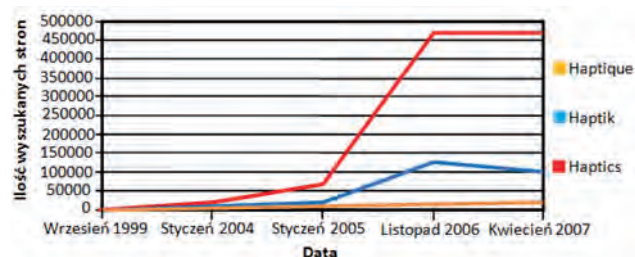
Słowa kluczowe: technologia haptic, dźwojstiki dotykowe, uniwersalna struktura dźwojstika dotykowego, projektowanie

1. Rozwój branży urządzeń dotykowych na przestrzeni kilkunastu ostatnich lat

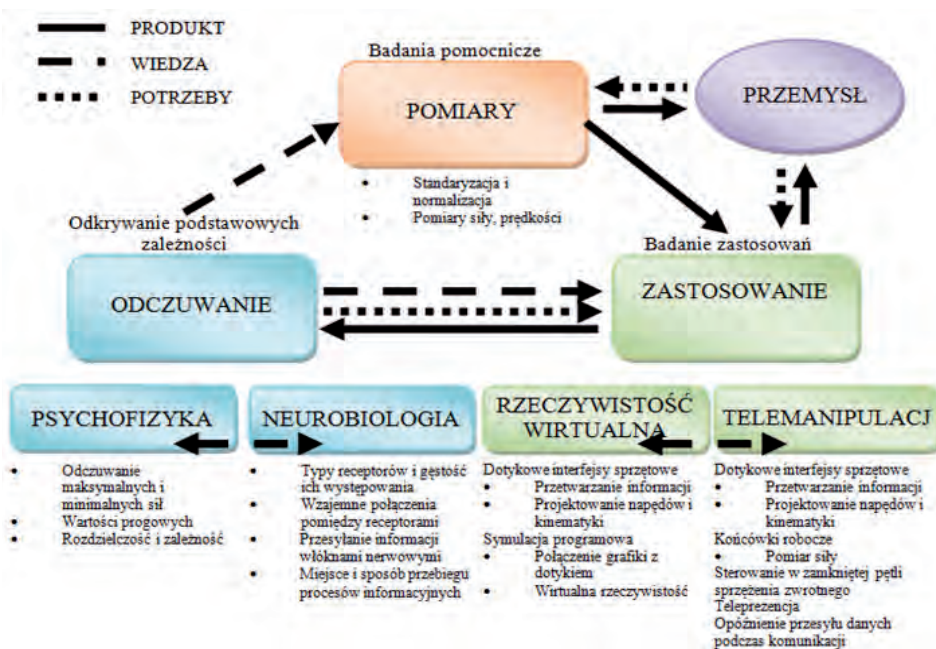
Na przestrzeni ostatnich lat można zauważyć gwałtowny rozwój branży tzw. urządzeń dotykowych, nazywanych w literaturze anglojęzycznej „haptic”. W publikacji [5] zaprezentowano badania liczby odpowiedzi popularnych wyszukiwarek internetowych na zapytania związane z tą technologią (wyszukiwane hasła: *haptique*, *haptik* oraz *haptics*) w okresie od grudnia 1999 r. do kwietnia 2007 r. (rys. 1, dla wyszukiwarki Alta Vista). Można na nim zaobserwować znaczny wzrost liczby odpowiedzi wyszukiwarki, szczególnie dla frazy *haptics*. Wynik ten jest zgodny z obserwacjami autora artykułu, który zajmuje się tą tematyką od kilku lat. Aby sprawdzić, jak sytuacja wygląda obecnie autor artykułu sprawdził odpowiedzi wpisując do wyszukiwarki Google słowo *haptic* w październiku 2011 r., w odpowiedzi uzyskano 4 100 000 pozycji.

W rozwój urządzeń dotykowych zaangażowali się już nie tylko producenci używanych w grach dźwojstików i kierownic z siłowym

sprężeniem zwrotnym, ale także całe grono naukowców różnych dziedzin. Urządzenia dotykowe znajdują również zastosowanie w medycynie i przemyśle. Organizowane są konferencje naukowe [10, 13, 15, 23], tworzone są czasopisma branżowe na temat urządzeń dotykowych [14] oraz pisane książki [7], a branża urządzeń dotykowych stała się dziedziną multidyscyplinarną (rys. 2).



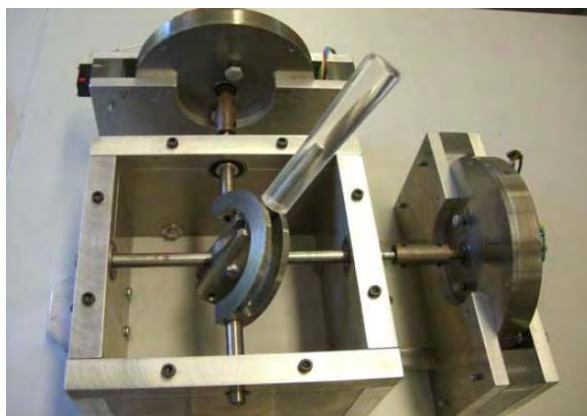
Rys. 1. Rozwój branży urządzeń dotykowych na podstawie liczby wyników wyszukiwania w wyszukiwarce AltaVista [5]
Fig. 1. The development of trade of haptic devices on basis of number of results finding in the internet search engine AltaVista [5]



Rys. 2. Wykaz dyscyplin uczestniczących w badaniach technologii haptic [6]
Fig. 2. The list of disciplines participating in the haptic technology research [6]

2. Dobór elementu odpowiadającego za wywołanie odczucia dotyku

Ze względu na budowę dżojstiki dotykowe podzielić można na dwie podstawowe grupy: półaktywne i aktywne. W obu tych grupach można wyróżnić urządzenia w zależności od liczby osi, którymi mogą one sterować (jedno-, dwu-, trzy- lub więcej osiowe). Dżojstiki półaktywne zbudowane są z elementów, dzięki którym płynnie można regulować ich moment hamujący (siłę oporu). Najczęściej elementami



Rys. 3. Widok dżojstika MR [8]

Fig. 3. MR joystick view [8]

tymi są różnego rodzaju hamulce (magnetoreologiczne, elektromagnetyczne, elektromagnetyczne). Pobierany przez nie prąd waha się w zależności od konstrukcji, w granicach od kilkuset mA do kilku A, a momenty przez nie generowane dochodzą do kilku Nm. Nie są one jednak w stanie generować ruchu.



Rys. 5. Urządzenie Delta firmy Force Dimension [11] (a); PHANTOM Omni firmy SensAble [22] (b); Interfejs dotykowy HapticWand firmy Qanser [18] (c); FCS Operator Station [16] (d); dżojstik MetalStrike Force Feedback firmy Genius [12] (e); dżojstik Cyborg evo Force Feedback Saitek [21] (f); kierownica SideWinder Force Feedback firmy Microsoft [20] (g); Force-feedback Flight System G940 firmy Logitech [17] (h)

Fig. 5. Active haptic controllers



Rys. 4. Dotykowy dżojstik trójosiowy sterujący ramieniem robota
Fig. 4. 3-DOF haptic joystick control robot arm

Jeden z takich półaktywnych dwuosioowych dżojstików dotykowych z cieczą magnetoreologiczną (rys. 3) opisano w pracy inżynierskiej [8]. Obszernie przedstawiono jego zastosowanie w sterowaniu obiektami w wirtualnej rzeczywistości.

Autorzy pracy [9] wykorzystali dwuosioowy dżojstik haptic z hamulcami magnetoreologicznymi do sterowania podnośnikiem hydraulicznym. W zaproponowanym przez nich rozwiązaniu sygnał siły, sterujący hamulcami magnetoreologicznymi odpowiadającymi za wywołanie uczucia dotyku, pobierany jest z przetworników ciśnienia zamocowanych na każdej z komór siłownika, a siłowniki sterowane są za pomocą zaworów proporcjonalnych.

W publikacji [4] autorzy zastosowali trzy osiowy dżojstik do sterowania ramieniem robota. Na końcu ramienia, zamiast chwytaka, umieszczono trójosiowy czujnik siły, który przekazuje do operatora, za pomocą dżojstika z hamulcami magnetoreologicznymi informacje o siłach, z jakimi ramię dotyka przeszkody.

Drugą grupę stanowią dźwostki aktywne, które zbudowane są z elementów, mogących generować ruch. Najczęściej elementem aktywnym w takim typie dźwostków są silniki prądu stałego. Jeżeli generowana przez nie siła jest skierowana przeciwnie do siły operatora, to powoduje to powstanie siły hamującej. Dzięki zastosowaniu silników, po uruchomieniu układu sterowania, można ustawić położenie ramion dźwostki w wybranej pozycji startowej (np. można go wyzerować – ustawić w pozycji neutralnej). W przypadku wygenerowania siły czynnej, dźwostka może np. także cofnąć rękojeść albo wygenerować „impuls ostrzegawczy” wymuszając na operatorze np. zmniejszenie prędkości sterowanego napędu lub zmianę położenia ramion dźwostki. Tak więc dźwostka będąca w normalnym układzie urządzeniem *master*, w układzie sterowania dotykowego (biorąc pod uwagę pętlę siłowego sprzężenia zwrotnego), staje się urządzeniem *slave*. Dźwostki takie mają też możliwość generowania dodatkowych sygnałów np. drgań po przekroczeniu pewnej zadanej siły. Efekt ten można uzyskać poprzez nałożenie na sygnał zasilania silnika przebiegu zmiennego (np. sygnału prostokątnego o częstotliwości kilku Hz i amplitudzie kilku Volt). Urządzenia aktywne stanowią większość spośród dostępnych na rynku urządzeń dotykowych. Są to zarówno dźwostki i kierownice wykorzystywane w grach komputerowych, jak i inne urządzenia współpracujące z wirtualną rzeczywistością lub służące do sterowania w przemyśle. Ich przykładowe konstrukcje pokazane są na rys. 5.

W literaturze można też spotkać opisy urządzeń będących połączeniem dwóch poprzednich grup, czyli zawierających silnik oraz hamulec. Na potrzeby tej publikacji nazywano je urządzeniami dotykowymi *hybrydowymi*.



Rys. 6. Widok hybrydowego dźwostka MR [1]

Fig. 6. MR hybrid joystick view

W publikacji [1] przedstawiono dwuosiowe dotykowe urządzenie hybrydowe z cieczą MR, zbudowane z dwóch silników prądu stałego Maxon zaopatrzonych w enkodery o rozdzielczości 4000 imp/obr oraz dwóch hamulców MRB2107-3 firmy Lord [19]. Silniki połączone są z hamulcami poprzez przekładnię 10:1 w celu zwiększenia ich hamującego momentu obrotowego (rys. 6). Całość jest podłączona za pomocą karty wejść/wyjść analogowych do komputera sterującego z procesorem Pentium 333 MHz i systemem czasu rzeczywistego QNX.

Budowę dźwostki jednoosiowego opisano w publikacjach [2, 3]. Na wale dźwostki wraz z rękojeścią zamontowany jest czujnik momentu. Do pomiaru położenia służy enkoder umieszczony w obudowie silnika prądu stałego

(rys. 7). Jako element wytwarzający moment oporu również wykorzystano hamulec MRB2107-3 firmy Lord [19]. Przedstawiono też tam modele systemów z urządzeniami haptic w zastosowaniu do współpracy z wirtualną rzeczywistością oraz wyniki badań dla urządzeń półaktywnych i aktywnych.



Rys. 7. Hybrydowy dźwostka dotykowy z cieczą MR [2, 3]

Fig. 7. Hybrid haptic joystick with MR fluid

W tab. 1 zebrano wszystkie opisane cechy urządzeń dotykowych i przyporządkowano je do odpowiedniego rodzaju urządzeń. Zestawienie to może być pomocne podczas doboru przez projektanta elementu odpowiadającego za wywoływanie uczucia dotyku.

Tab. 1. Zestawienie parametrów różnych typów dźwostek

Tab. 1. List of parameters of different types joysticks

	Półaktywne	Aktywne	Hybrydowe
Osiągane siły oporu	duże	mniejsze	duże
Odczuwanie siły biernej	tak	tak	tak
Odczuwanie siły czynnej	nie	tak	tak
Opory własne	większe	mniejsze	największe
Zerowanie	nie	tak	tak
Możliwość generowania dodatkowych sygnałów	nie	tak	tak

3. Dobór kształtu i wielkości rękojeści w zależności od wymaganej siły oporu

W publikacji [7] opisano zależność metody kontaktu dotykowego (kontakt fizyczny - dotyk, precyzyjny uchwyt lub mocny uchwyt) od sposobu chwytania przedmiotu przez człowieka (rys. 8). Ma to znaczenie przy projektowaniu rękojeści urządzenia dotykowego. W zależności od tego, czy projektant ma zamiar wykonać urządzenie precyzyjne dla małych sił, czy mało precyzyjne dla sił dużych, musi wybrać odpowiedni sposób trzymania uchwytu i kształt rękojeści dźwostki.



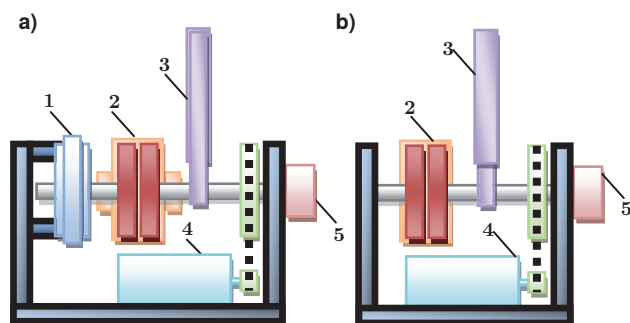
Rys. 8. Przegląd różnych metod kontaktu za pomocą zmysłu dotyku [7]

Fig. 8. Overview of different methods of contact with the sense of touch [7]

4. Zakończenie

Biorąc pod uwagę wymienione powyżej parametry można wywnioskować, jakimi cechami powinien charakteryzować się uniwersalny dżojstik dotykowy. Powinien mieć budowę umożliwiającą przekazywanie zarówno sił biernych jak i czynnych, a także możliwość przekazywania dodatkowych bodźców (np. drgań). W związku z tym optymalną konstrukcją wydaje się wariant hybrydowy. Wg autora

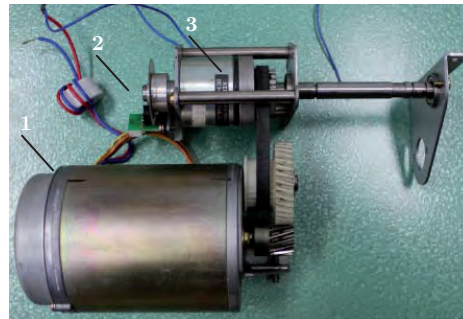
wany jest enkoder (2) ze sprzęgłem elektromagnetycznym (3), które ma możliwość płynnej regulacji siły docisku. Dodatkową nowością w konstrukcji dżojstika będzie zastosowanie, połączonego z umieszczonym w rękojeści dżojstika czujnikiem siły, układu pomiarowego z wyświetlaczem, na którym będzie można odczytać bieżącą siłę oporu. Wyniki badań dżojstika zostaną opublikowane w kolejnych artykułach.



Rys. 9. Uniwersalne struktury dżojstika dotykowego: z hamulcem MR (a), ze sprzęgłem elektromagnetycznym (b)

Fig. 9. Universals structure of haptic joystick: with MR brake (a), with electromagnetic clutch (b)

jednak żaden z przedstawionych powyżej dżojstików hybrydowych nie jest idealny, ze względu na to, że hamulce połączone są na stałe i dżojstiki te mają sporą siłę oporu własnego. Idealny dżojstik powinien mieć jak najmniejszą siłę oporu własnego, a hamulec powinien być dołączany za pomocą sprzęgła (np. elektromagnetycznego) tylko w momencie gdy jest to potrzebne (rys. 9a) lub samo sprzęgło powinno mieć możliwość regulacji siły docisku (rys. 9b). Właśnie taki dżojstik powstaje aktualnie w IETI UZ (rys. 10). Składać się on będzie z silnika prądu stałego 24 V 2,55 A z dodatkową przekładnią (1). Poprzez pasek zębaty połączony będzie on z wałem, na którym zamoco-



Rys. 10. Komponenty uniwersalnego dżojstika haptic

Fig. 10. Components of universal haptic joystick

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2010-2012 jako projekt badawczy "Zastosowanie metod sztucznej inteligencji do nadzorowania pracy urządzeń mechatronicznych z napędami elektrohydraulicznymi sterowanymi bezprzewodowo".

Bibliografia

1. An J., Kwon D.-S.: *Control of Multiple DOF Hybrid Haptic Interface with Active/Passive Actuators*, In-

- ternational Conference on Intelligent Robots and Systems, 2005.
2. An J., Kwon D.-S.: *Haptic experimentation on a hybrid active/passive force feedback device*, Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2002.
 3. An J., Kwon D.-S.: *In Haptics, the Influence of the Controllable Physical Damping on Stability and Performance*, Proceedings of International Conference Intelligent Robots and Systems, Sendai, Japan 2004.
 4. Chciuk M., Myszowski A.: *Wykorzystanie trzosiowego dźwójstika dotykowego z cieczą magnetoreologiczną i siłowym sprzężeniem zwrotnym do sterowania ramienia robota*, Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji, Poznań 2008.
 5. Guerraz A., Loscos C.: *Analysis of Haptics Evolution from Web Search Engines' Data*, „Journal of Multimedia”, Vol. 4, No. 4, August 2009.
 6. Hinterseer P., Steinbach E.: *A psychophysically motivated compression approach for 3d haptic data*, in Proc. of the IEEE Haptics Symposium, Alexandria, VA, USA, March 2006, 35–41.
 7. Kern T.A.: *Engineering – Haptic devices*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.
 8. Liu B.: *Development of 2-DOF haptic devices working with magnetorheological fluids*, MEng thesis, Faculty of Engineering, University of Wollongong, 2006. [http://ro.uow.edu.au/theses/136].
 9. Milecki A., Myszowski A., Chciuk M.: *Applications of magnetorheological brakes in manual control of lifting devices and manipulators*, 11th International Conference on Electrorheological Fluids and Magnetorheological Suspensions, Dresden 2008.
 10. [www.2012.hapticssymposium.org].
 11. [www.forcedimension.com].
 12. [www.genius-europe.com].
 13. [www.haptics2011.org].
 14. [www.haptics-e.org].
 15. [www.ieee.org › Conferences & Events].
 16. [www.ist.ucf.edu/pdfs/haptic.pdf].
 17. [www.logitech.com].
 18. [www.quanser.com].
 19. [www.lord.com].
 20. [www.microsoft.com].
 21. [www.saitek.com].

22. [www.sensable.com].
23. [www.worldhaptics.org]. ■

The selection of haptic devices construction depending on the size and type of forces occurring in the controlled system

Abstract: The article includes tips for haptic device designers. In addition describes the distribution of haptic joysticks because of the nature the element responsible for causing feelings of touch. Describes a multidisciplinary haptic devices industry and its linkages with the various branches of science. Then a sample of haptic devices belonging to different types and a brief description of their design are described. All the haptic joysticks features described in the article are summarized in table and assigned to particular groups. On this basis, drew conclusions that the building should have a perfect haptic joystick and drawing its construction is showing.

Keywords: haptic technology, haptic joystick, universal structure of haptic joystick, design

mgr inż. Paweł Bachman

Asystent w Instytucie Edukacji Techniczno-Informatycznej, Wydział Mechaniczny, Uniwersytet Zielonogórski. Zainteresowania: mechatronika, sterowanie. Jest stypendystą w ramach Poddziałania 8.2.2 „Regionalne Strategie Innowacji”, Działania 8.2 „Transfer wiedzy”, Priorytetu VIII „Regionalne Kadry Gospodarki” Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego Unii Europejskiej i z budżetu państwa.

e-mail: P.Bachman@eti.uz.zgora.pl

