

doi:10.15199/48.2016.08.18

## Implementacja interfejsu użytkownika przeznaczonego do sterowania elektrycznym wózkiem inwalidzkim

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono implementację modelu interfejsu użytkownika przeznaczonego do sterowania elektrycznym wózkiem inwalidzkim. W tym celu, dedykowana architektura sterownika systemu rozmytego została zaimplementowana w systemie Raspberry Pi. Głównym zadaniem sterownika systemu rozmytego jest generowanie wyjściowych sygnałów (lewo/prawo – l/p, przód/tył – p/t) sterujących pracą dwóch silników typu D.C. na podstawie sygnałów wejściowych, generowanych przez operatora; w tym celu opracowano wejściowe i wyjściowe zmienne lingwistyczne.

**Abstract.** This paper describes an implementation of a user interface model for guiding a wheelchair. For this purpose, a dedicated architecture of fuzzy logic controller was elaborated in Raspberry Pi system. The task of fuzzy logic controller is a generation of output signals (left/ right – l/r, front/back – f/b) steering two permanent magnet DC motors of the wheelchair based on input signals, created by the operator. Input and output linguistic variables and corresponding fuzzy sets were defined. (**The implementation of a user interface model for guiding electric wheelchair**).

**Słowa kluczowe:** system rozmyty, zbiory rozmyte, sterownik, wózek inwalidzki.

**Keywords:** fuzzy system, fuzzy sets, controller, electric wheelchair.

### Wstęp

Elektryczne wózki inwalidzkie stanowią szeroką grupę małych, lekkich wolnobieżnych pojazdów mechanicznych, napędzanych silnikiem lub silnikami elektrycznymi, zasilanymi z baterii akumulatorów; pojazdy takie z założenia służą do samodzielnego przemieszczania się osoby niepełnosprawnej.



Rys. 1. Elektryczny wózek inwalidzki

Podstawową funkcją wózka inwalidzkiego jest kompensacja całkowicie zniesionych lub częściowo upośledzonych funkcji osoby niepełnosprawnej. Pod pojęciem osoby niepełnosprawnej, należy rozumieć osobę, która na skutek dysfunkcji narządów ruchu nie może samodzielnie się poruszać, a której stan psychofizyczny pozwala na samodzielne sterowanie pracą elektrycznego wózka inwalidzkiego. Elektryczny wózek inwalidzki składa się z podstawowych elementów takich jak: platforma wózka, fotel, zespół napędowy, bateria akumulatorów, drążek sterowniczy, oraz blok sterowania. Na rys. 1 przedstawiono przykład elektrycznego wózka inwalidzkiego napędzanego przy pomocy dwóch silników elektrycznych prądu stałego, który pozwala na jazdę niepełnosprawnemu w przód/tył oraz lewo/prawo. Źródłem sygnału sterowania dla takiego wózka jest wychylenie drążka sterowniczego, którego stopień wychylenia pozwala regulować szybkość wózka odpowiednio dla kierunku przód/tył oraz lewo/prawo. W pozycji neutralnej drążka sterowniczego wózek znajduje się w stanie spoczynku. Zmiana wychylenia rozpoczyna ruch wózka, który polega na zmianie sygnałów sterujących odpowiednio dla lewego i prawego silnika napędowego. Elektryczne wózki inwalidzkie zasilane są zwykle z baterii akumulatorów o napięciu wynoszącym odpowiednio 24 V, 36V lub 48V oraz o pojemności od 20 do 100 Ah. Zespół akumulatorów wózka zabudowany jest na wózku w sposób uniemożliwiający dostęp postronnych osób. Zespół napędowy wózka stanowią zwykle dwa silniki napędowe najczęściej szczotkowe prądu stałego; moc pojedynczego

silnika wynosi zwykle od 120 W do 300 W. Głównym elementem zespołu napędowego wózka najczęściej jest samohamowna przekładnia redukcyjna ślimakowa lub planetarna. Przekładnia taka współpracuje z hamulcem postojowym, uniemożliwiającym przemieszczanie się platformy wózka w pozycji neutralnej drążka sterowniczego. Konstrukcja mechaniczna wózka inwalidzkiego zwykle projektowana jest tak, aby osoba niepełnosprawna o masie do 120kg mogła się takim wózkiem swobodnie poruszać. Masa wózka wraz z baterią akumulatorów zwykle osiąga masę od 40 kg do 120 kg. Maksymalna prędkość wózka nie przekracza zwykle wartości około 7km/h.

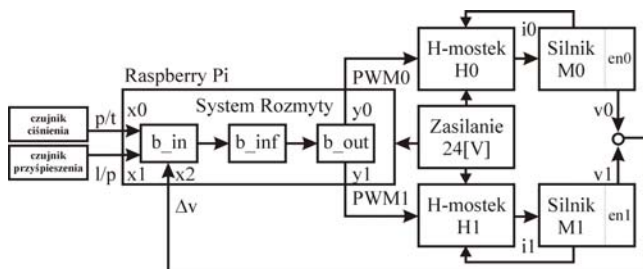
Drążek sterowniczy jest podstawowym elementem sterującym pracą wózka w przypadku klasycznych wózków elektrycznych. W rozwiązaniach specjalistycznych wózków inwalidzkich w szczególności w przypadku znacznej dysfunkcji osoby niepełnosprawnej klasyczne sterowanie drążkiem jest niemożliwe, a drążek sterowniczy zastępowany jest blokiem specjalizowanego interfejsu – HMI (ang. human - machine interfaces). Interfejs budowany jest w zależności od potrzeb niepełnosprawnego; w większości przypadków stopień jego zaawansowania zależy od stopnia niepełnosprawności. W literaturze można odnaleźć następujące metody budowy interfejsów typu HMI: a) metoda elektroencefalografii - (w skrócie EEG), pozwalająca na badanie aktywności elektrycznej mózgu [1,2], b) metoda elektromiografii (w skrócie EMG), pozwalająca na badanie aktywności mięśni [3], c) metoda okulografii pozwalająca na śledzenie ruchu gałek ocznych (ang. eye tracking). Technika śledzenia ruchu gałek ocznych znana jest od wielu lat, istnieje kilka metod technicznych wykorzystywanych powszechnie. Najczęściej wykorzystuje się zjawisko odbicia światła podczerwonego, które oświetla źrenice. Na podstawie detekcji odbitego światła ocenia się położenie oka. Drugą metodą jest wykorzystanie sygnału pochodzącego z kamery zainstalowanej np. w okularach lub jeszcze dalej tak, aby obraz z kamery obejmował całą twarz; takie rozwiązanie wymaga znacznych nakładów sprzętowych związanych przetwarzaniem sygnału wideo w czasie rzeczywistym. Ostatnia znana metoda opiera się o odczyt potencjałów elektrycznych rejestrowanych na skórze wokół oczodołów [4], d) metoda dźwiękowa – niepełnosprawny generuje komendy głosowe - rozkazy, które następnie są rozpoznawane i klasyfikowane [5], e) metoda modulacji ciśnienia wydychanego powietrza – niepełnosprawny

generuje komendy sterujące na podstawie zmian ciśnienia w ustniku, metoda śledzenia ruchów głowy – niepełnosprawny generuje komendy sterujące poprzez ruchy głową. W metodzie tej wykorzystuje się czujniki przyspieszenia ziemskiego zamontowanych np. w okularach lub czapce. Na podstawie zmian składowych pola w osiach x,y oraz z, dokonuje się detekcji ruchów głowy [6], f) metoda śledzenia mimiki twarzy – na podstawie zmian mimiki twarzy niepełnosprawnego specjalizowana aplikacja ocenia i klasyfikuje zarejestrowane wcześniej wzorce z aktualnie obserwowanymi wartościami [7].

Przedstawione powyżej metody budowy interfejsu typu HMI, często są łączone w przypadku konkretnego typu niepełnosprawności. Np. w interfejsie niepełnosprawnego wykorzystuje się śledzenie ruchu gałek ocznych w oparciu o metodę detekcji światła odbitego (jest to źródło 2 sygnałów sterujących), śledzenie ruchu głowy niepełnosprawnego (jest to źródło 3 sygnałów sterujących) oraz modulację ciśnienia wydmuchiwanego powietrza (jest to źródło 1 sygnału sterującego). Dla takiego przykładu uzyskuje się łącznie 6 źródeł sygnału sterującego do realizacji interfejsu HMI; sygnały te można wykorzystać na potrzeby sterowania przez osobę niepełnosprawną. Budowa interfejsu typu HMI, powyżej, w oparciu o zastosowanie logiki rozmytej pozwala na stworzenie bazy reguł rozmytych dostosowanych do potrzeb niepełnosprawnego. Takie podejście jest niezwykle uniwersalne, bowiem zmiana wartości funkcji przynależności poszczególnych zmiennych lingwistycznych i samych reguł może niemal dowolnie modyfikować sposób sterowania wózkiem inwalidzkim w oparciu o wiedzę lekarza, rehabilitanta, czy nawet niepełnosprawnego.

### Implementacja systemu rozmytego

Schemat blokowy proponowanego systemu sterowania wózkiem inwalidzkim, zrealizowano w oparciu o dwa kanały sterujące, co pokazano na rysunku 2. Struktura blokowa tego systemu składa się z kanałów sterowania odpowiednio dla lewego i prawego zespołu napędowego.



Rys.2. Schemat blokowo proponowanego systemu rozmytego

Źródłem sygnałów sterujących pracą elektrycznego wózka inwalidzkiego jest czujnik ciśnienia oraz czujnik przyspieszenia ziemskiego. Sterowanie szybkością wózka oraz kierunkiem jazdy wózka odbywa się poprzez zmianę ciśnienia w ustniku – sygnał p/t. Ustnik to rurka zakończona czujnikiem ciśnienia. Zmiana wartości tego ciśnienia odbywa się poprzez wdmuchiwanie powietrza bądź zasysanie powietrza. W przypadku wystąpienia ciśnienia dodatniego wózek przemiesza się do przodu i analogicznie w przypadku pojawienia się podciśnienia wózek porusza się do tyłu. Tym samym modyfikacja sygnału p/t powoduje proporcjonalnie symetryczną zmianę sygnału prędkości obrotowej silników napędowych wózka. Zmiana różnicy prędkości obrotowych silników napędowych odpowiada sygnałowi l/p. Źródłem sygnału l/p jest czujnik przyspieszenia ziemskiego umieszczony w czapce operatora wózka. Wychylenie głowy w lewo bądź prawo powoduje zmianę wartości sygnału generowanego przez

czujnik. W proponowanym systemie sterowania regulacja prędkości obrotowej silnika odbywa się poprzez zadawanie sygnału typu „pwm” (ang. „pulse-width modulation”), który generowany jest w bloku generatora PWM. Wartość tego sygnału oraz wartość sygnału kierunku pozwala na sterowanie silnikiem na poziomie logicznym (blok logiki). W strukturze blokowej systemu sterowania wózka wyodrębnić można tzw. stopień mocy. Zadaniem tego stopnia jest dostosowanie logicznych sygnałów sterujących do odpowiednich poziomów wymaganych do sterowania pracą silnika.

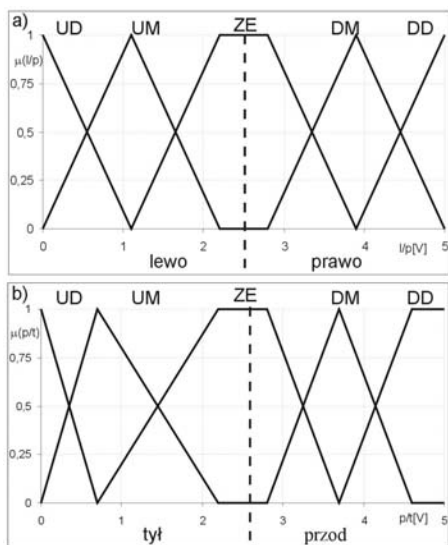


Rys.3. Algorytm działania proponowanego systemu rozmytego, zrealizowany w oparciu o wnioskowanie Mamdaniego typu MIN-MAX

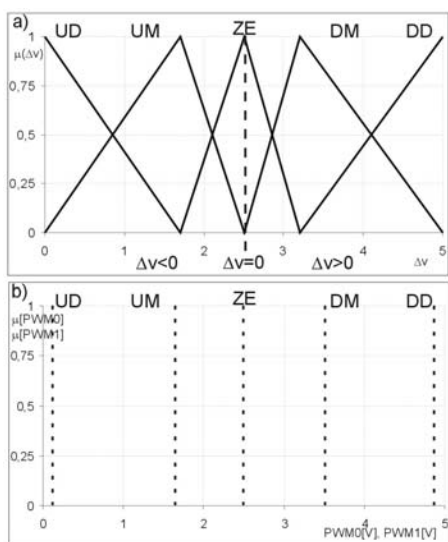
Sterowanie wózkiem opiera się na różnicowym zadawaniu prędkości obrotowej silników napędzających niezależne tylne koła, pozwalając na jazdę wózkiem w lewo/prawo oraz w przód/tył. Zadaniem systemu rozmytego (rys.2) jest generowanie wyjściowych sygnałów (PWM0,PWM1) sterujących pracą silników napędowych (M0,M1) na podstawie wejściowych sygnałów (przód/tył - p/t, lewo/prawo - l/p) zadawanych przez operatora poprzez zmiany wartości czujnika ciśnienia oraz czujnika przyspieszenia ziemskiego, a także sygnału sprzężenia

zwrotnego niwelującego różnicę obrotów silników ( $\Delta v$ ) przy jeździe na wprost.

W proponowanej pracy napęd wózka stanowią dwa elektryczne silniki prądu stałego – M0 oraz M1 o mocy 250 W, które zasilane są z baterii akumulatorów o napięciu 24 V.



Rys.4. Wejściowe zmienne lingwistyczne a) dla sygnału lewo/prawo – l/p, b) dla sygnału przód/tył - p/t (U- ujemny, D – dodatni, ZE – zero, D – duży, M - mały)

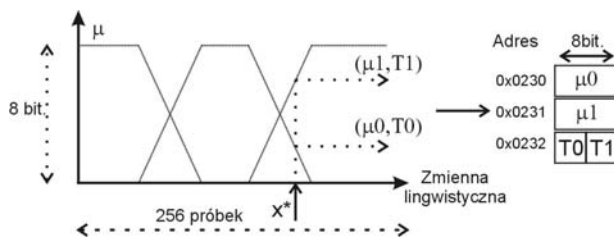


Rys.5. Wyjściowe (wyjściowe) zmienne lingwistyczne a) dla wejściowego sygnału błędu -  $\Delta v$ , b) dla sygnału wyjściowego PWM0/PWM1 (U- ujemny, D – dodatni, ZE – zero, D – duży, M - mały)

Głównym elementem sterującym pracą wózka jest system rozmyty. Proponowany system opiera się o klasyczny model Mamdaniego [8][9], z podziałem na bloki rozmywania ( $b_{wej}$ ), wnioskowania ( $b_{wni}$ ) oraz wyostrzania ( $b_{wyj}$ ) co pokazano na rysunku 2. Wspomniany system rozmyty składa się z trzech wejść oraz dwóch wyjść. Wejściowe zmienne lingwistyczne opisane są każdorazowo przy pomocy 5 zbiorów rozmytych co odpowiada sygnałom  $l/p, p/t, \Delta v$ . Wyjściowe zmienne lingwistyczne opisane są przy pomocy 5 jednoelementowych zbiorów rozmytych (singletonów), które odpowiadają sygnałom – PWM0 i PWM1. Na rys. 4 oraz rys. 5 przedstawiono przyjęte wartości funkcji przynależności odpowiednio dla wejściowych sygnałów lewo/prawo -  $l/p$  oraz przód/tył -  $p/t$ . Kierowanie dwu

silnikowym wózkiem elektrycznym wymaga ciągłego korygowania toru jazdy, gdyż prędkości znamionowe silników napędowych nieznacznie się różnią. Wykorzystanie w torze sprzężenia sygnału  $\Delta v$  o różnicy prędkości obrotowej kół pozwala korygować ich prędkość w trakcie jazdy na wprost, podnosząc jakość sterowania (prowadzenia) wózka. Pomiar prędkości obrotowej odbywa się w oparciu o enkoder inkrementalny ( $en0$  oraz  $en1$ ), który zamontowano na kołach napędowych. Sygnał różnicy prędkości kół –  $\Delta v$ , dołączony jest do wejścia systemu rozmytego; odpowiada on wejściowej zmiennej lingwistycznej  $x_2$ , której wartości funkcji przynależności terminów przedstawia rysunku 5.a.

Proponowany system rozmyty został zaimplementowany na zestawie uruchomieniowym (systemie) – Raspberry Pi Model B [10]. Transmisja sygnałów wejściowych i wyjściowych ( $p/t, l/p, \Delta v, PWM0, PWM1$ ) odbywa się poprzez port i2c (złącze GPIO Raspberry Pi). Jako 8 - bitowy cyfrowy przetwornik analogowo cyfrowy i cyfrowo/analogowy wykorzystano dwa układy PCF8591. Kod programu napisano w języku C w oparciu o algorytm przedstawiony na rysunku 3. W proponowanym algorytmie wyróżnić można trzy podstawowe operacje takie jak rozmywanie, wnioskowanie i wyostrzanie [11][12]. Należy podkreślić, że każda z tych operacji wykonywana jest iteracyjnie. Wejściowe zmienne lingwistyczne (rys. 4 oraz 5.a) opisano 5 termami przy pomocy 256 próbek, przy 8 bitowej rozdzielczości. Rozmieszczenie i kształty termów, powodują uaktywnienie jednego lub dwóch zbiorów, dla jednej wartości dyskretnej zmiennej wejściowej. Bazę reguł rozmytych opracowano na podstawie zależności pomiędzy wejściowymi a wyjściowymi zmiennymi lingwistycznymi, którą następnie zapisano w pamięci systemu w postaci tablicy reguł. Dopuszczalna liczba reguł opisująca ten system wynosi  $2 \cdot 5^3 = 250$  reguł lub 125 par reguł. W tabeli 1 przedstawiono fragment tablicy, odpowiednio dla silników napędowych M0/M1 przy przyjęciu wartości wejściowej zmiennej lingwistycznej  $x_2$ ,  $\Delta v = „ZE”$ . Na obrzeżach tablicy podane są przyrosty wartości zmiennych wejściowych względem wartości neutralnych oznaczonych jako zero – ZE, a we wnętrzu tablicy podane są sygnały wyjściowe  $y_0/y_1$  sterujące pracą silników M0/M1.



Rys.6. Przykład operacji rozmywania zmiennej  $x$ , odczytanie wartości funkcji przynależności oraz kodów zbiorów rozmytych

Proces rozmywania (fuzyfikacji) polega na sekwencyjnej zamianie wejściowych wartości z dziedziny liczb rzeczywistych na wartość funkcji przynależności  $\mu$  z dziedziny zbiorów rozmytych. W proponowanym systemie wejściowe zmienne lingwistyczne ( $x_0, x_1, x_2$ ) opisano 5 termami (zbiorami rozmytymi), a następnie zapisano w pamięci mikrokontrolera w postaci 256 - 3 bajtowych próbek (rys. 6). Zakończenie procesu rozmywania, powoduje rozpoczęcie procesu wnioskowania. W pierwszej kolejności wykonywana jest operacja wyszukiwania aktywnych reguł, tj. takich, których przesłanki pojawiają się w procesie rozmywania. W procesie tym wykorzystano kodowanie reguł rozmytych. Na podstawie odczytanych kodów

aktywnych wejściowych zbiorów rozmytych, poprzez sklejanie kodów tworzony jest adres konkluzji reguły (generowanie adresu) co pokazano w tabeli 2. Kolejnym krokiem jest operacja MIN, oraz operacja częściowej agregacji. Przedstawione powyżej operacje przedstawiono w formie algorytmu na rysunku 3.

Tabela 1. Tablica reguł proponowanego systemu rozmytego dla sygnału  $\Delta v = „ZE”$  (gdzie: U – ujemny, D – dodatnio, ze – neutralny, M – mały, D - duży)

p/t	l/p	Ujemnie		Lewo		ZERO		Dodatnio		Prawo	
		UD	UM	ZE	DM	DD	DM	DD	DM	DD	
Dodatnio Przód	DD	US/DD	UM/DD	DD/DD	DD/DM	DD/DM	DD/DM	DD/DM	DD/DM	DD/DM	DD/DM
	DM	UM/DD	ZE/DD	DM/DM	DD/ZE	DD/DM	DD/DM	DD/DM	DD/DM	DD/DM	DD/DM
ZERO	ZE	ZE/DD	ZE/DM	ZE/ZE	DM/ZE	DD/ZE	DD/ZE	DD/ZE	DD/ZE	DD/ZE	DD/ZE
Ujemnie Tył	UM	ZE/UM	ZE/UM	UM/UM	UM/ZE	UM/ZE	UM/ZE	UM/ZE	UM/ZE	UM/ZE	UM/ZE
	UD	ZE/UD	ZE/UM	UD/UD	ZE/UM	UD/ZE	UD/ZE	UD/ZE	UD/ZE	UD/ZE	UD/ZE

Pojedyncza para reguł (Ra,Rb) sterująca dwoma silnikami składa się z trzech przesłanek prostych połączonych operatorem koniunkcji AND.

Ra:

Jeżeli  $x_0 = A_0$  AND  $x_1 = A_1$  AND  $x_2 = A_2$  TO  $y_0 = B_0$

Rb:

Jeżeli  $x_0 = A_0$  AND  $x_1 = A_1$  AND  $x_2 = A_2$  TO  $y_1 = B_1$

gdzie:  $x_0, x_1, x_2$  - wejściowe zmienne lingwistyczne, które odpowiadają sygnałom wejściowym: p/t, l/p,  $\Delta v$ ;  $A_0, A_1, A_2$  - termy zmiennej lingwistycznej  $x_i$  ( $i=0,1,2$ ),  $y_0, y_1$  - wyjściowe zmienne lingwistyczne, które odpowiadają sygnałom wyjściowym  $p_0$  oraz  $p_1$ ,  $B_0, B_1$  - termy zmiennej lingwistycznej  $y_i$  ( $i=0,1$ ).

Tabela 2. Tablica generowania adresów konkluzji na podstawie licznika pomocniczego o wagach  $b_2, b_1, b_0$  oraz odczytanych kodach konkluzji

B2	b1	b0	$\mu_2$	$\mu_1$	$\mu_0$	Odczytane kody			Adres
0	0	0	100	84	6	010	000	100	010000100
0	0	1	100	16	94	010	000	011	010000011
0	1	0	100	84	6	010	001	100	010001100
0	1	1	100	16	94	010	001	011	010001011
1	0	0	0	84	6	011	000	100	011000100
1	0	1	0	16	94	011	000	011	011000011
1	1	0	0	84	6	011	001	100	011001100
1	1	1	0	16	94	011	001	011	011001011

W procesie wnioskowania, każdorazowo aktywowanych jest 8 reguł (par reguł). Wykonanie wszystkich operacji w procesie wnioskowania to określenie stopnia zapłonu wyjściowych zbiorów rozmytych. Operacją kończącą działanie, jest operacja wyostrzania czyli przedstawienie ostrej wartości sygnałów PWM0 i PWM1. W procesie wyostrzania wybrano metodę środka ciężkości dla

singletonów. Należy podkreślić, że powyższy opis dotyczy jednej iteracji przedstawionego algorytmu działania.

## Podsumowanie

Powyższy system sterowania został zaimplementowany i przetestowany na platformie elektrycznego wózka inwalidzkiego. W proponowanym systemie modyfikacja funkcji przynależności oraz bazy reguł zapisanych w pamięci systemu powoduje zmianę bazy wiedzy, tym samym możliwe jest dostosowanie tej bazy do konkretnego operatora wózka.

**Autorzy:** dr hab. inż. Adam Słowik, Politechnika Koszalińska, Wydział Elektroniki i Informatyki, ul. Śniadeckich 2, 75-453 Koszalin, E-mail: a.slowik@ie.tu.koszalin.pl; dr inż. Marek Popławski, Politechnika Koszalińska, Wydział Elektroniki i Informatyki, ul. Śniadeckich 2, 75-453 Koszalin, E-mail: marpop@ie.tu.koszalin.pl.

## LITERATURA

- [1] Millan Jd.R., Noninvasive brain-actuated control of a mobile robot by human EEG, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, (2004)
- [2] T. Kazuo, *Electroencephalogram-Based Control of an Electric Wheelchair*, Robotics, IEEE Transactions on, 2005
- [3] Han Jeong-Su, *Human-machine interface for wheelchair control with EMG and its evaluation*, Engineering in Medicine and Biology Society, 2003. Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE
- [4] R. Barea, L. Boquete, M. Mazo, E. López, *Wheelchair Guidance Strategies Using EOG*, Journal of Intelligent and Robotic Systems, 34 (2002), no.3, 279-299
- [5] Pires G., Nunes U., *A Wheelchair Steered through Voice Commands and Assisted by a Reactive Fuzzy-Logic Controller*, Journal of Intelligent and Robotic Systems, 34 (2002), 301-314
- [6] Craig D.A., *Wireless Real-Time Head Movement System Using a Personal Digital Assistant (PDA) for Control of a Power Wheelchair*, Engineering in Medicine and Biology Society, 2005. IEEE-EMBS 2005. 27th Annual International Conference
- [7] Bergasa L.M., *Commands generation by face movements applied to the guidance of a wheelchair for handicapped people*, Pattern Recognition, (2000) Proceedings 15th International Conference
- [8] Piegat A., *Modelowanie i sterowanie rozmyte*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2003
- [9] Yager R.R., Filev D., *Podstawy modelowania i sterowania rozmytego*,
- [10] raspberry pi model b datasheet -<https://www.raspberrypi.org/wp-content/uploads/2012/04/Raspberry-Pi-Schematics-R1.0.pdf>
- [11] Popławski M., Bialko M., *Implementation of Parallel Fuzzy Logic Controller in FPGA Circuit for Guiding Electric Wheelchair*, IEEE Xplore - Human System Interaction, pp. 405-408, Kraków 2008
- [12] Popławski M., Bialko M., *Implementation of Fuzzy Logic Controller in FPGA Circuit for Guiding Electric Wheelchair*, 11th International Conference on Artificial Intelligence and Soft Computing Research