

## POMIAR I WIZUALIZACJA POŁOŻENIA ŚRÓDRĘCZA I PALCÓW

Stanisław KOWALCZYK<sup>1</sup>, Dariusz ŚWISULSKI<sup>2</sup>, Leszek RAFIŃSKI<sup>3</sup>

1. STARM Automatyka Przemysłowa  
tel: 509771179, e-mail: biuro@starm.pl
2. Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, Katedra Metrologii i Systemów Informacyjnych  
tel: 58 3471397, fax: 58 3471726, e-mail: d.swisulski@ely.pg.gda.pl
3. Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, Katedra Metrologii i Systemów Informacyjnych  
tel: 58 3471778, fax: 58 3471726, e-mail: l.rafiniski@ely.pg.gda.pl

**Streszczenie:** W artykule opisano system pomiarowy, który umożliwia wyznaczenie położenia śródreczęca dłoni i niezależnie każdego z pięciu palców. Wyniki pomiarów przedstawiane są w postaci animacji na ekranie komputera. Omówiono poszczególne elementy części sprzętowej systemu: czujniki, przetwornik A/C i kontroler systemu. Opisano również oprogramowanie, w którym zastosowano sposób przetwarzania wyników zapobiegający błędnym pomiarom. W zakończeniu wskazano na kierunki działania przy opracowaniu kolejnej wersji systemu.

**Słowa kluczowe:** biometria, HID, akcelerometr, czujnik pola magnetycznego.

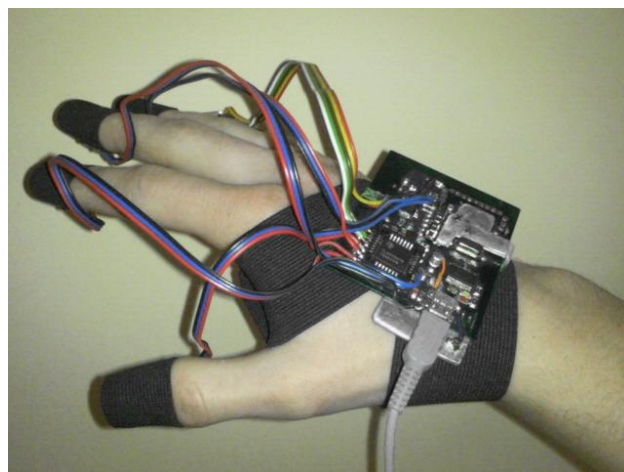
### 1. WSTĘP

W artykule przedstawiono system do pomiaru i wizualizacji położenia dłoni: śródreczęca oraz poszczególnych palców. System taki może być wykorzystany do wprowadzania informacji przez człowieka do komputera. Po uzupełnieniu oprogramowania może zastąpić klawiaturę, mysz lub dżojstik, pozwalając na dokładne oddanie dotyku i interakcji w przypadku rzeczywistości wirtualnej, sztucznie wytworzonej wizji przestrzeni i przedmiotów. Innym zastosowaniem systemu jest diagnostyka ortopedyczna. System może służyć do diagnostyki po urazach ręki i w trakcie rehabilitacji. Jeszcze innym zastosowaniem systemu może być, po rozbudowaniu oprogramowania, wykorzystanie do tłumaczenia z języka migowego.

### 2. UKŁAD POMIAROWY

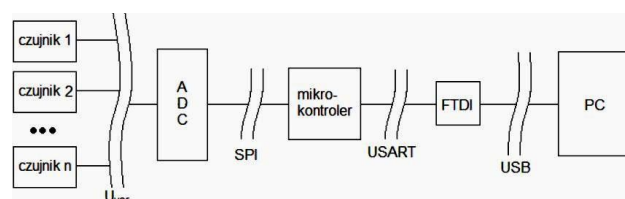
Pomiar położenia dłoni w przestrzeni może być zrealizowany różnymi metodami. Jedną z możliwych metod jest pomiar bezdotykowy, polegający na wykorzystaniu systemu wizyjnego [1]. Inne metody wymagają bezpośredniego kontaktu z badanym obiektem, najczęściej poprzez umieszczenie na nim odpowiedniego czujnika lub zespołu czujników. Pomiar realizowany w taki sposób można podzielić na realizowane w układzie względnym lub bezwzględnym (absolutnym).

W systemie będącym tematem artykułu czujniki pomiarowe umieszczone zostały bezpośrednio na obiekcie, którego położenie jest badane (rys. 1).



Rys. 1. Ręka z nałożonymi czujnikami pomiarowymi

W zaproponowanym rozwiązaniu ruch dłoni rejestrowany jest przez czujnik akcelerometryczny, natomiast za detekcję kąta ugięcia każdego z palców odpowiadają czujniki pola magnetycznego, którego źródłem jest magnes neodymowy umieszczony w wewnętrznej części dłoni [2].



Rys. 2. Schemat funkcjonalny systemu pomiarowego

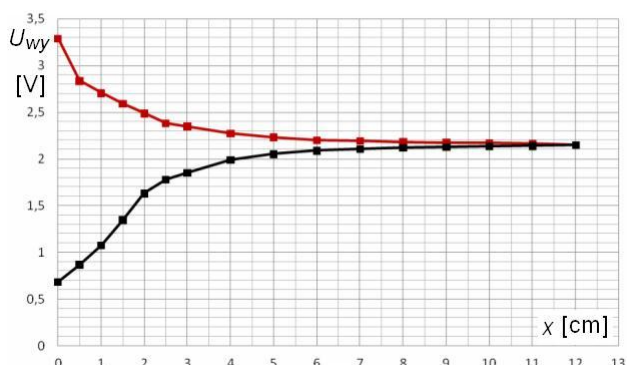
Schemat funkcjonalny systemu przedstawiony jest na rysunku 2. Po wstępnej filtracji, sygnały napięciowe z czujników przetwarzane są na postać cyfrową przez przetwornik analogowo-cyfrowy i przesyłane do mikrokontrolera. Ten dokonuje wstępnego przetworzenia danych, a następnie wysyła je do komputera. Transmisja jest realizowana za pośrednictwem konwertera FTDI232RL, którego zadaniem jest odebranie próbek wysyłanych przez mikrokontroler w standardzie UART i wysłanie ich do komputera interfejsem USB. Wykorzystanie konwertera pozwoliło zastąpić wychodzący z użycia standard RS232 na bardziej popularny USB.

W zrealizowanym prototypie systemu pomiarowego za detekcję kąta obrotu dłoni odpowiedzialny jest mikromechaniczny, pojemnościowy akcelerometr MMA7620QT produkowany przez firmę Freescale Semiconductor metodą powierzchniowej mikroobróbki krzemu [3]. Mierzy on przyspieszenie statyczne i dynamiczne w trzech osiach w zakresie od  $\pm 1,5g \dots 6g$ . Układ umożliwia też kompensację wpływu temperatury i zawiera filtr dolnoprzepustowy. Ponieważ czujnik zasilany jest napięciem 3,3 V, wykorzystano dodatkowy układ do konwersji napięcia z magistrali USB. Zastosowano do tego celu układ LM3940 typu LDO (ang. *low drop out* – niski spadek), który służy również jako źródło napięcia odniesienia dla przetwornika analogowo cyfrowego. Czulość sensora wynosi 800 mV/g przy zakresie pomiarowym  $\pm 1,5g$ , a jego wymiary to zaledwie 6 x 6 x 1,45 mm.

Sygnał napięciowy z czujnika, przed przetworzeniem na postać cyfrową, podawany jest na pasywny filtr dolnoprzepustowy, zbudowany rezystora o wartości 1 k $\Omega$  i kondensatora 0,1  $\mu F$ , co daje częstotliwość graniczną  $f = 1591,55$  Hz.

Położenie palców mierzone jest za pomocą czujników hallotronowych SS49 firmy Honeywell [4]. Są to czujniki z analogowym sygnałem wyjściowym, a ich czulość wynosi 0,9 mV/g.

Zależność napięcia wyjściowego czujników od odległości względem magnesu wykorzystanego w urządzeniu została wyznaczona doświadczalnie. Po ustawieniu czujnika w określonej za pomocą przyrządu wzorcowego odległości od magnesu, odczytywana była wartość wyjściowego napięcia. Pomiar wykonano dla obu kierunków w zakresie 0...12 cm i wielokrotnie powtórzono. Uśrednione wyniki przedstawione są na rysunku 3.



Rys. 3. Napięcie wyjściowe czujnika SS49 w funkcji odległości od magnesu; linia czerwona – pomiar względem bieguna S, linia czarna – względem bieguna N

z użycia standard RS232 na bardziej popularny USB.

Widoczna na rysunku nieliniowość charakterystyki została skorygowana programowo w czasie przetwarzania sygnału w komputerze.

Wielkością wyjściową wykorzystanych czujników, zarówno akcelerometrów jak i hallotronów, jest analogowa wartość napięcia. Do przetworzenia na postać cyfrową wykorzystano ośmiobitowy konwerter TLC545 firmy Texas Instruments [5]. Układ pracuje przy maksymalnej dla niego częstotliwości 4 MHz.

O wyborze tego układu zdecydował wbudowany 20-kanalowy multiplekser, pozwalający na dołączenie wszystkich czujników do jednego układu.

Konwerter wyposażony jest w szeregowy interfejs SPI, którym odbiera od mikrokontrolera takie informacje jak rozkaz rozpoczęcia lub zawieszenia przetwarzania (linia CS) i adres kanału wejściowego (linia MOSI – *Master Out Slave In*) oraz za pomocą którego wysyłany jest ośmiobitowy wynik pomiaru (linia MISO – *Master In Slave Out*). Konwerter może pracować z maksymalną częstotliwością 2,048 MHz.

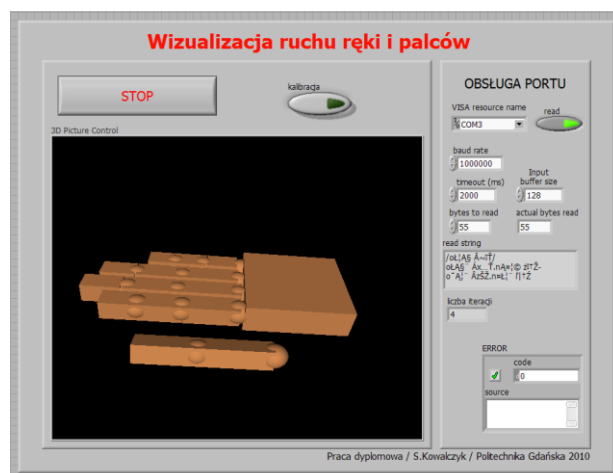
Układem kontrolującym pracę systemu pomiarowego jest mikrokontroler Atmega32 firmy Atmel. Atmega32 jest ośmiobitowym układem opartym na architekturze AVR/RISC, wykonanym w technologii CMOS. Posiada on 32 rejestry ogólnego przeznaczenia, bezpośrednio połączone z arytmetyczną jednostką logiczną (ALU), przy czym dwa z nich mogą być wykorzystane niezależnie w jednym cyklu obliczeniowym [6].

Zadaniem mikrokontrolera jest sterowanie pracą czujników akcelerometrycznych i przetwornika analogowo-cyfrowego. Do czujników doprowadzony jest sygnał wyznaczający zakres pomiarowy, a do przetwornika sygnał określający kanał pomiarowy. Dodatkowo mikrokontroler wykonuje uśrednienie 100 próbek z każdego pomiaru.

Po podłączeniu do komputera urządzenie pomiarowe jest wykrywane automatycznie, wymagając jedynie sterownika dla układu FTDI232RL.

### 3. OPROGRAMOWANIE

Aplikacja do wizualizacji ruchu ręki i palców została przygotowana w środowisku LabVIEW [7]. Użytkownik ma do dyspozycji panel, który składa się z kilku elementów (rys. 4).



Rys. 4. Panel programu wizualizacyjnego

Głównym z nich jest obszar *3D Picture Control*, na którym przedstawiana jest animacja pokazująca położenie dłoni i ugięcie poszczególnych palców.

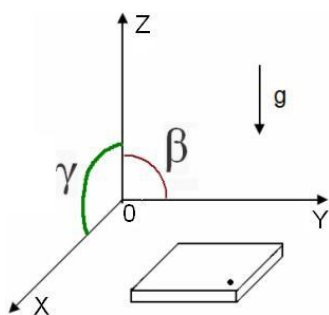
Przycisk „kalibracja” służy do wprowadzenia do systemu informacji o ustawianiu dłoni w pozycji zerowej.

Obok pola za wizualizacją wyników pomiarów znajduje się obszar do zmiany parametrów transmisji. Można w nim wybrać numer portu COM komputera, do którego podłączono urządzenie, szybkość transmisji (*baud rate* [b/s]), określać czas, po jakim program się zatrzyma w przypadku braku przychodzących danych (*timeout* [ms]) oraz wielkość bufora wejściowego (*input buffer size*). Należy również określić, ile danych ma być odebranych w jednym cyklu (*bytes to read*). W polu *read string* wyświetlana jest zawartość odebranego pakietu danych, a liczba iteracji wskazuje liczbę uśrednianych próbek. Jeżeli pojawią się błędy w transmisji, odpowiedni komunikat wyświetlony zostanie w oknie *ERROR*.

Mimo, że sygnały odbierane z czujników podlegają wstępnemu przetworzeniu w mikrokontrolerze, przetwarzanie realizowane jest również za pomocą programu pracującego na komputerze PC.

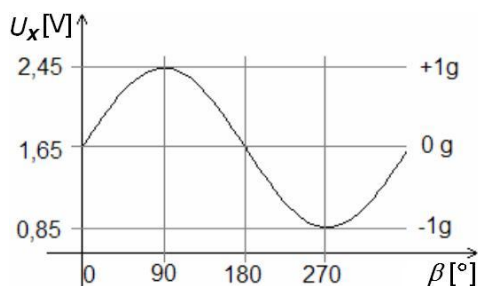
Sygnały pomiarowe odbierane z akcelerometrów i hallotronów są uśredniane, a następnie filtrowane za pomocą filtru Butterwortha drugiego rzędu.

Czujniki akcelerometryczne mierzą położenie względem pola grawitacyjnego Ziemi. Napięcie wyjściowe danej osi czujnika jest proporcjonalne do kąta  $\beta$  lub  $\gamma$  (rys. 5).



Rys. 5. Układ współrzędnych akcelerometru mierzącego ruch dłoni

Należy jednak pamiętać, że czujnik nie pozwala na rozróżnienie kierunku, w którym jest mierzone odchylenie. Taka sama wartość napięcia wyjściowego występuje dla dwóch różnych położań czujnika (rys. 6).



Rys. 6. Zależność  $U_x(\beta)$  dla osi X akcelerometru MMA7620

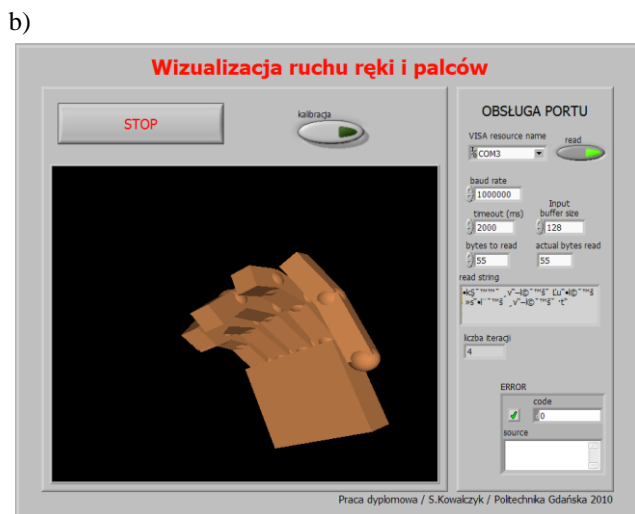
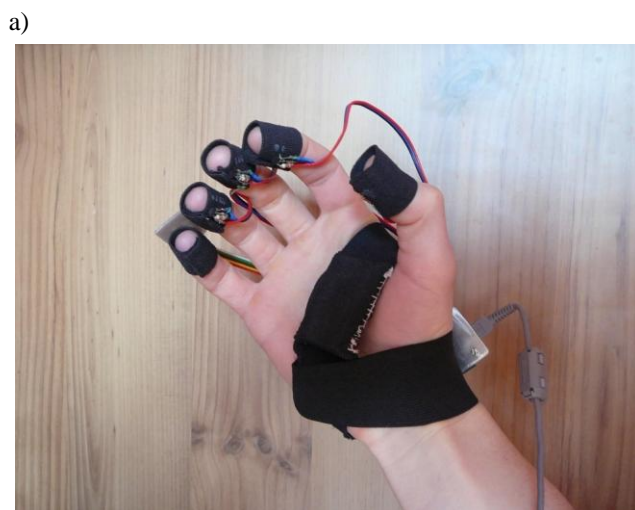
Problem ten został rozwiązany przez uzależnienie odczytanej wartości dla danej osi od sygnałów pochodzących z innych osi. Przykładowo, w przypadku obrotu w osi X, dodatkowym wskaźnikiem orientacji jest oś Z. Algorytm działania jest następujący: najpierw sprawdzana jest wartość sygnału w osi Z. Dodatnia wartość napięcia oznacza, że położenie czujnika jest w zakresie  $0^\circ$ - $90^\circ$  lub  $270^\circ$ - $360^\circ$ , natomiast wartość ujemna oznacza, że położenie czujnika jest w zakresie  $90^\circ$ - $270^\circ$ . Przy ujemnej wartości

sygnału z osi Z wiemy, że czujnik obrócił się „do góry nogami” i sygnał z osi X musi zostać przetworzony. W analogiczny sposób wyznaczone jest położenie w osi Y.

Tworzenie animacji dłoni składa się z kilku etapów. Pierwszym z nich jest stworzenie modelu, złożonego z dłoni i pięciu palców. Model generowany jest przed pętlą główną programu. W pętli głównej wprowadzane są przetworzone dane pomiarowe (jako kąt obrotu dłoni i ugięcia palców). Następnie definiowane są parametry sceny (zoom, oświetlenie, umiejscowienie obserwatora), a na końcu wyświetlany jest obraz.

Śródreżce jest głównym obiektem, stanowiącym odniesienie dla pozostałych elementów. Śródreżce modelowane jest sześcianem, natomiast palce modeluje przez połączenie ze sobą kilku brył. Każdy palec składa się z przegubów w postaci kul (odtworzących stawy) oraz paliczków w formie sześciątów.

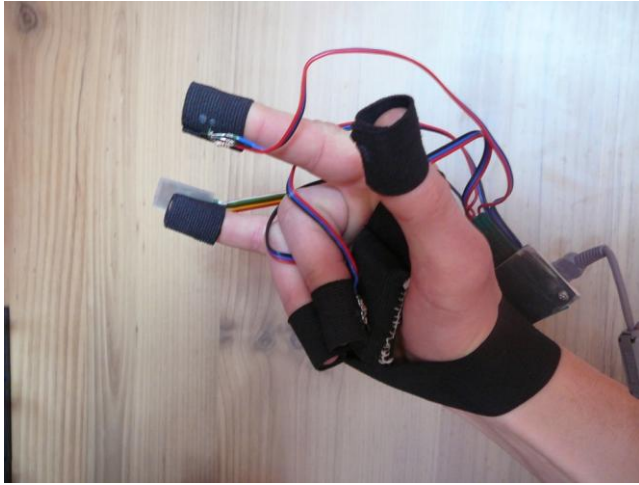
Ponieważ na każdym palcu znajduje się tylko jeden czujnik, mierzone jest tylko położenie ostatniego paliczka. Kąt ugięcia pozostałych paliczków jest wyznaczany z obliczeń i może odbiegać od rzeczywistego, zależnego od indywidualnych cech anatomicznych danego człowieka. Jest to ograniczenie wynikające z zastosowania niewielkiej liczby czujników. Przykładowe wyniki pomiarów przeprowadzonych za pomocą systemu przedstawiono na rysunkach 7 oraz 8.



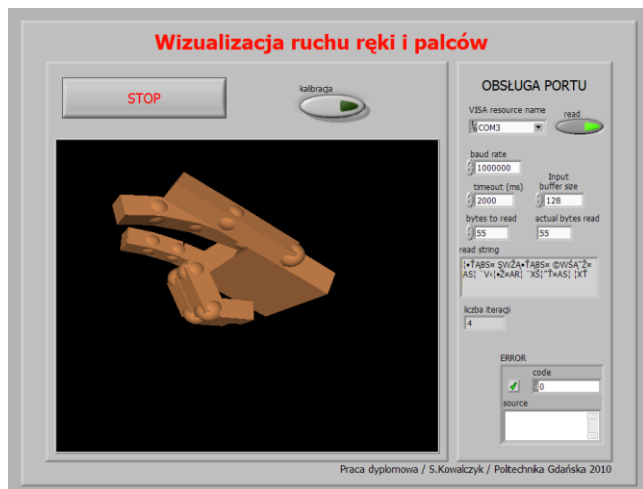
Rys. 7. Położenie dłoni (a) i jego wizualizacja (b) – przykład 1



a)



b)



Rys. 8. Położenie dłoni (a) i jego wizualizacja (b) – przykład 2

#### 4. WNIOSKI

Zaprezentowany system do pomiaru położenia śródreczę i palców spełnia postawione zadania. Problemy, jakie pojawiały się w trakcie projektowania i uruchamiania układu udało się pozytywnie rozwiązać.

## HAND AND FINGERS POSITION DETERMINATION AND VISUALIZATION

**Key-words:** biometrics, accelerometers, magnetic field meters.

The paper presents a measurement system for the purpose of determining and visualizing the position of hand and fingers. The system hardware, specifically the sensors, A/C and controller, are described. Also the software is described, specifically the error management.

Doświadczenie, jakie zdobyli autorzy w trakcie pracy nad projektem, może być wykorzystane przy opracowaniu kolejnej, ulepszonej wersji systemu. W nowej wersji przewiduje się zastosowanie akcelerometru nie tylko do pomiaru położenia śródreczę, ale również położenie palców mierzone będzie za pomocą akcelerometrów. Rozwiązanie takie pozwoli na rejestrację nie tylko rotacji dłoni i palców, ale także translacji w przestrzeni trójwymiarowej.

Rozbudowując oprogramowanie systemu należy wprowadzić komunikację dwukierunkową, by można było z komputera sterować mikrokontrolerem. Umożliwi to wprowadzanie zmian z poziomu aplikacji w algorytmie pobierania i przetwarzania danych mikrokontrolera oraz na zmianę częstotliwości próbkowania przetwornika A/C.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

1. Rafiński L., Świsulski D.: Koncepcja stanowiska laboratoryjnego cyfrowego przetwarzania obrazów w robotyce. Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej nr 23, Gdańsk 2007, s. 97-100, ISSN 1425-5766
2. Kowalczyk S.: Budowa sytemu do pomiaru ruchu ręki i policzków. Praca dyplomowa magisterska. Politechnika Gdańska, Gdańsk 2010
3.  $\pm 1.5g - 6g$  Three Axis Low-g Micromachined Accelerometer. Technical Data. Freescale Semiconductor, Rev 5, 03/2008
4. Installation Instructions for the SS49/SS19 Series Analog Position Sensors, Issue 2. PK 88740. Honeywell
5. TLC545C, TLC545I, TLC546C, TLC546I 8-bit analog-to-digital converters with serial control and 19 inputs. Texas Instruments
6. 8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash. ATmega32, ATmega32L. Atmel
7. Świsulski D.: Komputerowa technika pomiarowa. Oprogramowanie wirtualnych przyrządów pomiarowych w LabVIEW. Agenda Wydawnicza PAK, Warszawa 2005, ISBN 83-87982-56-3