

ZASTOSOWANIE AKCELEROMETRÓW ORAZ CZUJNIKÓW SIŁY DO STEROWANIA MANIPULATOREM ZGODNIE Z RUCHEM DŁONI

Paweł Kielan^{1a}, Tomasz Jastrzębski^{1b}

¹*Katedra Mechatroniki, Politechnika Śląska*

^a*pawel.kielan@polsl.pl*

Streszczenie

W artykule przedstawiono prototypowy system sterowania pozycją ramienia manipulatora z chwytakiem, w którym wykorzystuje się odwzorowanie ruchu ludzkiej kończyny górnej. Do realizacji zagadnienia zostały wykorzystane czujniki akcelerometryczne oraz rezystancyjne czujniki siły. Czujniki akcelerometryczne zostały zamocowane zarówno na rękawicy, którą zakłada się na dłoń operatora, jak też na ramieniu manipulatora. Dzięki opracowanemu algorytmowi sterowania, który został zaimplementowany w prototypowym układzie sterowania, możliwy jest symultaniczny ruch dłoni operatora (w nadgarstku) oraz ruch ramienia manipulatora, w płaszczyźnie pionowej. Rezystancyjne czujniki siły nacisku zamocowano na palcu wskazującym oraz kciuku ręki, dzięki czemu udało się odwzorować liniowy ruch palców na ruch chwytaka manipulatora, z regulowaną siłą ścisku.

Słowa kluczowe: manipulator, akcelerometr MEMS, rezystancyjny czujnik siły, układ sterowania ruchem dłoni, chwytak

APPLICATION OF ACCELERATION SENSORS AND FORCE SENSORS TO CONTROL THE MANIPULATOR ACCORDING TO THE HAND MOVEMENTS

Summary

The article presents the prototype control system of position for the manipulator with gripper, which uses movement of the human hand. To implement the concept was used: acceleration sensors and resistive force sensors. The acceleration sensors were placed both on the hand of the operator (on the glove), as well as on the manipulator arm. Thanks to use algorithm which has been implemented in a prototype control system, it is possible simultaneous movement of the operator's hand (in the wrist) and the movement of the manipulator arm in the vertical plane. Resistive force sensors were placed on the index finger and thumb of the hand, which made it possible to intercept linear motion of the gripper fingers on the manipulator, with adjustable force.

Keywords: manipulator, MEMS acceleration, resistive force sensor, hand motion control system, gripper

1. WSTĘP

Roboty manipulacyjne to programowalne maszyny, które realizują określony ruch lub pracę, w zależności od dostępnych informacji (sygnałów sterujących). Informacje te mogą być dostarczone zarówno przez operatora przy użyciu np. panelu operatorskiego i/lub dostarczone

z czujników zamontowanych na robocie lub w obszarze jego pracy. Dostarczone informacje pełnią funkcje zmiennych w zaimplementowanym w układzie sterowania robota algorytmie. Dzięki dostarczonym do układu sterowania danym możliwa jest realizacja przez robota

określonego zadania, bazując na równaniach kinematyki oraz dynamiki.

Podstawowym zadaniem robota jest zastąpienie człowieka w realizowaniu określonego zadania. Podstawową zaletą stosowania robotów jest możliwość wykonania zadań, które są ciężkie lub niemożliwe do wykonania przez człowieka. Z sytuacjami takimi można się spotkać, gdy praca ma być wykonana w środowisku ciężkim lub zagrażającym życiu człowieka, np. przy zanieczyszczeniu chemicznym, dużym hałasie, promieniowaniu, realizacji zadań w głębinach oceanicznych, jak też w sytuacjach, gdy realizacja zadania wymaga dużych sił, przekraczających możliwości ludzkiego organizmu. Dodatkową zaletą realizacji pracy przez robota, w stosunku do pracy człowieka, jest podwyższona jakość wykonywanej pracy. Cecha ta jest szczególnie pożądana na linii produkcyjnej w fabrykach, gdzie wymagana jest powtarzalność wykonywanej pracy z dużą dokładnością.

Obecnie w dziedzinie robotyki zostało opracowanych i wdrożonych wiele metod sterowania. Rodzaj sterowania jest zależny m.in. od typu manipulatora (rodzaju napędów, liczby stopni swobody, konstrukcji), miejsca pracy manipulatora, czy też rodzaju realizowanej pracy [1]. Należy zwrócić uwagę, że wybór rodzaju sterowania manipulatora ma wpływ m.in. na powtarzalność (dokładność pozycjonowania) oraz dynamikę (szybkość, płynność) jego ruchu.

Zdecydowana większość istniejących rozwiązań układów sterowania robotami, które stosowane są w przemyśle, jak też prezentowane w literaturze, dotyczą sterowania w zamkniętej pętli sprzężenia zwrotnego z regulatorem PD lub PID. W systemie takim działanie robota jest ograniczone do zaimplementowanych algorytmów, które umożliwiają realizację określonego zadania. Grupy robotów sterowanych bezpośrednio przez operatora w otwartym układzie sterowania stosuje się w przemyśle rzadko, ze względu na m.in. ograniczenia związane z powtarzalnością i dokładnością sterowania. Prowadzone są również teoretyczne rozważania o strukturze sterowania adaptacyjnego [5].

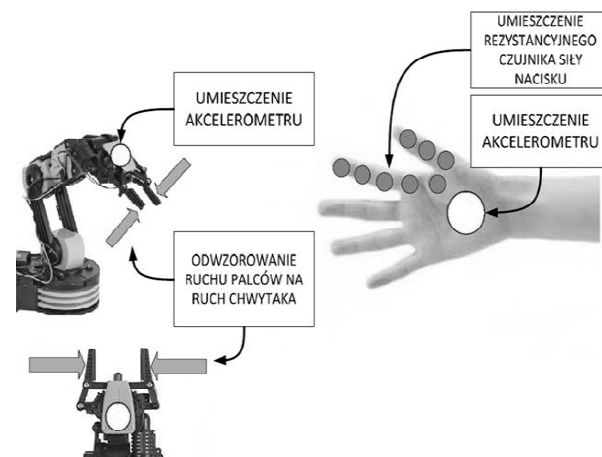
Autorzy podjęli się prac nad systemem sterowania manipulatorem, który odwzorowuje ruchy ludzkiej dłoni [3], wykorzystując do tego celu sygnały pomiarowe z czujników akcelerometrycznych oraz z rezystancyjnych czujników siły [2]. Istotą działania takiego systemu jest dokładne odwzorowanie ruchów ludzkiej dłoni na ruch manipulatora w czasie rzeczywistym. Rozwiązanie takie umożliwia lepsze dostosowanie sposobu realizacji zadania przez robota do aktualnych potrzeb operatora.

2. BUDOWA PROTOTYPU SYSTEMU STEROWANIA

W zaproponowanym systemie sterowania: człowiek (dłoń) - manipulator, zostały wykorzystane następujące elementy:

- manipulator o trzech stopniach swobody ruchu z zamontowanym czujnikiem pomiarowym,
- rękawica z wbudowanymi czujnikami pomiarowymi,
- elektroniczny układ sterowania EUS.

W celu rozwiązania zagadnienia sterowania manipulatorem, jako odwzorowanie ruchów ludzkiej dłoni zaproponowano rozwiązanie bazujące na układzie współpracujących ze sobą czujników akcelerometrycznych MEMES (ang. Micro Electro-Mechanic-Systems) oraz rezystancyjnych czujników siły. Rozmieszczenie czujników pomiarowych w prototypowym systemie sterowania: człowiek-manipulator zostało przedstawione na rys. 1.



Rys. 1. Poglądowe rozmieszczenie czujników w systemie sterowania: człowiek (dłoń) – manipulator

2.1 MANIPULATOR

Do realizacji niniejszego projektu wykorzystany został manipulator firmy VELLEMAN o oznaczeniu producenta KSR10. Ramię manipulatora jest wyposażone w 5 ruchomych przegubów (obrót ramienia w podstawie, łokieć, nadgarstek oraz chwytak), które są napędzane pięcioma silnikami prądu stałego za pośrednictwem jednostki sterującej. Wszystkie przekładnie napędowe poszczególnych przegubów wyposażone są w system zabezpieczeń, które zostają uruchomione, gdy maksymalny zasięg ruchu (wychylenie) zostanie osiągnięty. Końcówką roboczą manipulatora stanowi chwytak przemysłowy, mechaniczny, dwupalcowy o liniowym ruchu palców. Specyfikacja techniczna manipulatora przedstawiona została w tabeli 1.

Tab. 1. Specyfikacja techniczna manipulatora

Maksymalny udźwig	100 g
Zasilanie	4 x baterie LR20 1.5 V
Waga	660 g
Wymiary	230 mm(L)x160 mm(W)x380 mm(H)

Manipulator poddany został modyfikacji poprzez zamontowanie czujników akcelerometrycznych na jego kiści (rys. 2).



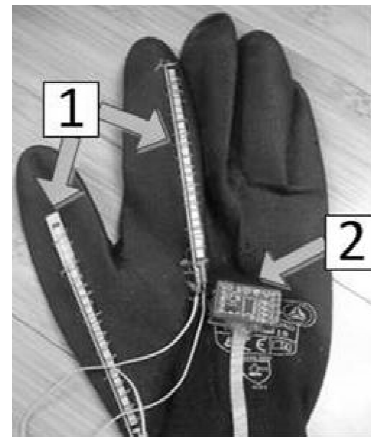
Rys. 2. Kiść manipulatora z zamocowanym czujnikiem akcelerometrycznym

Człon manipulatora napędzany silnikiem elektrycznym prądu stałego musi „nadażać” za ruchem dłoni. Dokonywany jest pomiar zarówno przyspieszenia z czujnika akcelerometrycznego umieszczonego na dłoni, jak też na manipulatorze. Dzięki wykonaniu pomiarów i ich porównaniu silnik napędowy jest odpowiednio sterowany (odpowiedni kierunek obrotów silnika napędowego). Taka procedura umożliwia odwzorowanie ruchu ręki w nadgarstku (w jednym stopniu swobody) na ruch członu manipulatora.

2.2 RĘKAWICA Z WBUDOWANYMI CZUJNIKAMI POMIAROWYMI

Dla celów projektu została przygotowana specjalna rękawica z wbudowanymi czujnikami pomiarowymi (rys. 3). Akcelerometr znajduje się na zewnętrznej części dłoni, pomiędzy nadgarstkiem a palcami. Rezystancyjne czujniki siły nacisku zostały umieszczone również na zewnętrznej części dłoni, na palcu wskazującym oraz kciuku. Takie zamocowanie ma na celu ukazanie odwzorowania ruchu ludzkich palców na ruch chwytaka, w który wyposażony jest manipulator.

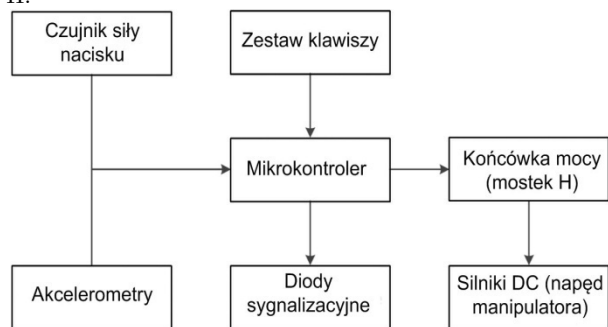
Wykorzystanie rezystancyjnych czujników siły nacisku umieszczonych na palcu wskazującym oraz kciuku daje możliwość sterowania chwytakiem dwupalcowym o liniowych ruchach palców, z regulowaną siłą ścisku. Czujniki te połączono ze sobą szeregowo, aby zapewnić przełożenie wzajemnego ruchu palca wskazującego i kciuka na ruch palców chwytaka.



Rys. 3. Rękawica z zamocowanymi czujnikami pomiarowymi (1-rezystancyjne czujniki siły, 2-czujnik akcelerometryczny)

2.3 UKŁAD STEROWANIA

Jednostką centralną elektronicznego układu sterowania EUS jest mikrokontroler (rys. 4). Do niego podłączone są wszystkie komponenty układu, takie jak akcelerometry, rezystancyjne czujniki siły nacisku, zestaw klawiszy, diody LED sygnalizujących tryby pracy układu oraz silniki napędowe manipulatora (silniki prądu stałego), poprzez końcówkę mocy w układzie mostków H.



Rys. 4. Schemat blokowy elektronicznego układu sterowania

Czujniki pomiarowe oraz silniki napędowe podłączone są do obwodu drukowanego elektronicznego układu sterowania. Na płycie drukowanej umieszczony jest obwód zasilania dla części logicznej (mikrokontrolera) oraz oddzielny obwód zasilania dla silników napędowych manipulatora, które są sterowane z wykorzystaniem końcówki mocy w postaci mostka H. Płytkę wyposażono jest również w obwód mikrokontrolera, który jest sercem układu sterowania, wraz z zespołem elementów elektronicznych, takich jak kondensatory filtrujące czy rezystory polaryzujące. Akwizycja danych pomiarowych jest zrealizowana z wykorzystaniem przetwornika analogowo-cyfrowego, w który wyposażono mikroprocesor.

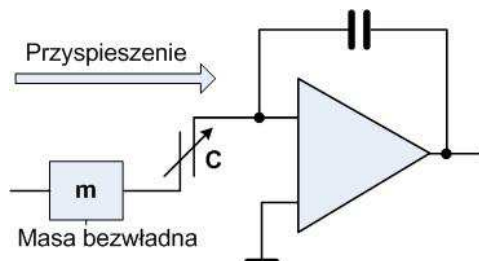
Bezpośrednie podłączenie urządzenia napędowego do wyprowadzenia mikrokontrolera jest niepoprawne, ponieważ prąd pobierany przez silnik jest zbyt duży w odniesieniu do dopuszczalnego prądu wyjściowego pojedynczego portu mikrokontrolera i może doprowadzić do uszkodzenia lub niepoprawnej pracy układu sterowania. Dlatego zdecydowano się na rozwiązanie sterowania

kierunkiem obrotów i prędkością obrotową silnika prądu stałego poprzez zastosowanie mostków H, które są układem pośredniczącym pomiędzy mikrokontrolerem a silnikami DC (prądu stałego).

W celu regulacji prędkości obrotowej silników wykorzystano metodę modulacji szerokości impulsu PWM (ang. Pulse Width Modulation). Metoda ta polega na zmianie szerokości impulsu sygnału prostokątnego z zachowaniem stałej amplitudy i stałej częstotliwości. Częstotliwość sygnału PWM została ustawiona na poziomie ok. 20 kHz. Zbyt niska częstotliwość mogłaby spowodować, że obroty silnika będą niestabilne, co przejawiać się może widoczną, przerywaną pracą silnika. Im wyższa częstotliwość sygnału, tym większa stabilność średniego napięcia wyjściowego (napięcia zasilania silnika).

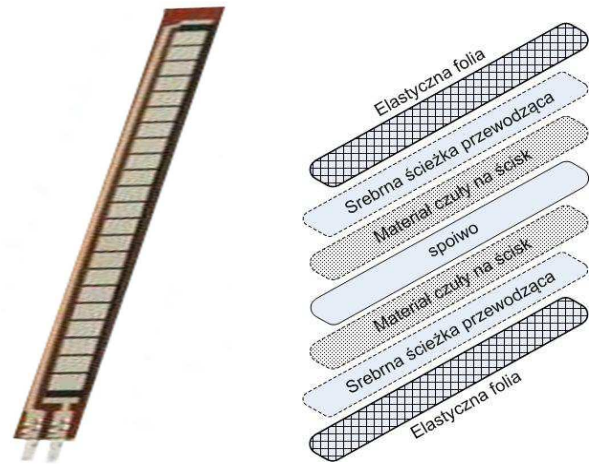
2.4 CZUJNIKI POMIAROWE

Akcelerometry MEMS umożliwiają pomiar statycznego przyspieszenia grawitacyjnego, pozwalają wyznaczyć kąt odchylenia obiektu od pozycji pionowej, jak też zmierzyć przyspieszenie dynamiczne na skutek ruchu, uderzenia, wstrząsów lub wibracji. Głównym elementem akcelerometru MEMS (rys. 5) jest tzw. masa bezwładna (zamocowana na elementach sprężystych), która jest elektrodą w układzie nastawnego kondensatora pomiarowego. W wyniku przemieszczenia masy zmienia się pojemność, która wpływa na napięcie wyjściowe. Akcelerometry te mierzą przyspieszenie w trzech kierunkach, wzdłuż osi X, Y i Z, w zakresie od $\pm 1g$ do kilku g.



Rys. 5. Poglądowy schemat blokowy akcelerometru z masą bezwładną i czujnikiem pojemnościowym

Czujniki siły nacisku FSR (ang. Force Sensitive Resistors) użyte w projekcie są zbudowane ze srebrnych ścieżek przewodzących, nadrukowanych w formie macierzy. Warstwy półprzewodnikowego atramentu zapewniają rezystancję w miejscach przecięcia się ścieżek nadrukowanej macierzy. Modyfikacja formuły atramentu zapewnia różne zakresy czułości czujnika. Wszystkie warstwy są scalone, tworząc ciekłą taśmę wielowarstwową (rys. 6).



Rys. 6. Rezystancyjny czujnik siły firmy Spectra Symbol: zdjęcie czujnika (cienka taśma) oraz jego wewnętrzne warstwy

Dla czujnika, którego użyto w prototypie, wg danych producenta, częstotliwość próbkowania sygnału wynosi 10 kHz, dzięki czemu możliwe jest wykrywanie przez czujnik bardzo szybkich zmian, np. ruchu palców. Zależność na rezystancję styku elektrycznego czujnika FSR wyraża wzór:

$$R_c = \frac{\rho}{F} K \quad (1)$$

gdzie:

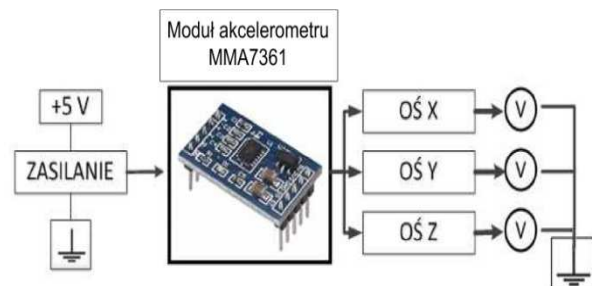
ρ - opór właściwy powierzchni styku (rezystywność),

F - siła przyłożona do powierzchni styku,

K - funkcja chropowatości i elastyczności powierzchni.

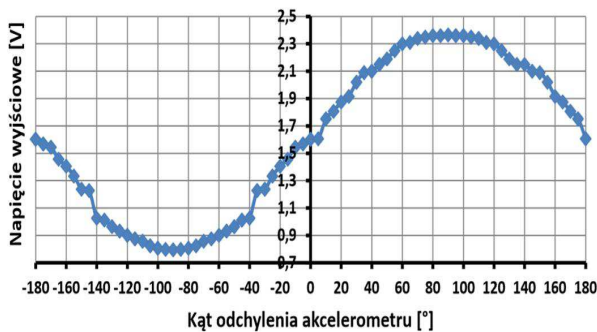
3. POMIARY PARAMETRÓW CZUJNIKÓW POMIAROWYCH

Przeprowadzone zostały badania charakterystyk wyjściowych dobranych czujników pomiarowych. Schematy układów pomiarowych wykonano na podstawie dokumentacji technicznej, dostarczonej przez producentów sensorów. Pomiary wielkości wyjściowych wykonane zostały na stanowisku laboratoryjnym, na którego wyposażenie składa się multimetr pomiarowy i kątomierz. Układ pomiarowy (rys. 7) wykorzystuje w swojej budowie moduł akcelerometru MMA7361, do którego dołączone jest napięcie zasilania, a do wyprowadzeń wyjściowych dołączony jest multimetr pomiarowy. Wraz z obrotem czujnika przyspieszenia rejestrowane są wartości napięć wyjściowych

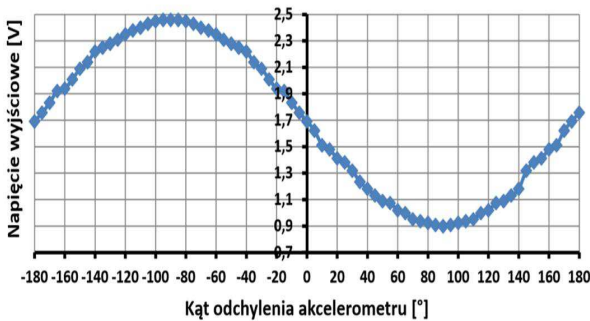


Rys. 7. Układ pomiarowy do badania napięć wyjściowych poszczególnych osi akcelerometru

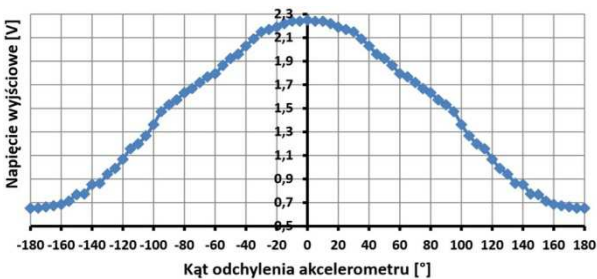
Na rys. 8, 9 i 10 przedstawiono charakterystyki wyjściowe (w trzech osiach) czujnika przyspieszenia. Zależność napięcia wyjściowego od kąta odchylenia akcelerometru przedstawiono w pełnym zakresie obrotu.



Rys. 8. Charakterystyka akcelerometru: $U_{wy}=f(\alpha)$, dla osi X

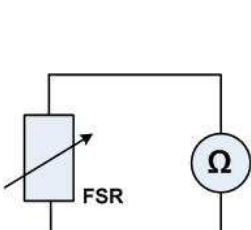


Rys. 9. Charakterystyka akcelerometru: $U_{wy}=f(\alpha)$, dla osi Y

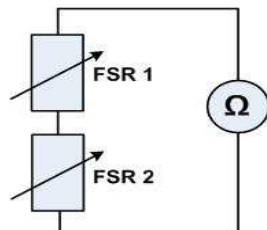


Rys. 10. Charakterystyka akcelerometru: $U_{wy}=f(\alpha)$, dla osi Z

Na rys. 11 przedstawiono układ pomiarowy do badania zależności rezystancji od kąta wygięcia dla pojedynczego czujnika FSR. Pomiar przeprowadzony został po unieruchomieniu dolnej części czujnika, a następnie jego wyginaniu o kąt 5 stopni.

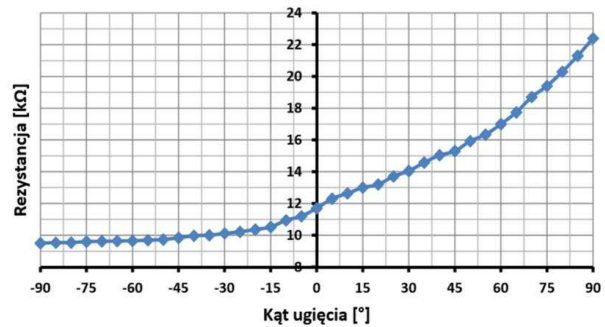


Rys. 11. Układ do badania zależności rezystancji od kąta wygięcia czujnika



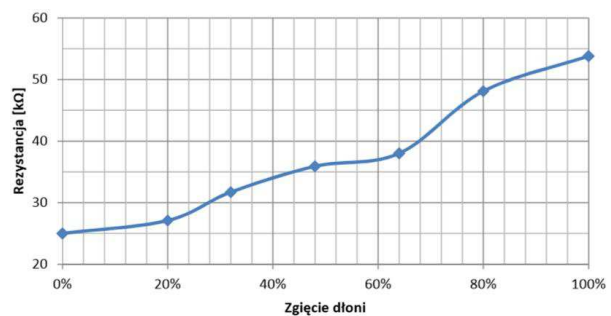
Rys. 12. Układ do badania zależności rezystancji od ścisku dłoni

Na podstawie uzyskanych wyników (rys. 13) okazuje się, że czujnik powinien być wyginany tylko w jedną stronę – w drugą stronę rejestrowane są niewielkie zmiany rezystancji.



Rys. 13. Charakterystyka zależności rezystancji od kąta wygięcia dla pojedynczego czujnika FSR: $R=f(\alpha)$

Drugi pomiar wykonany został po zestawieniu układu pomiarowego (rys. 12), który składa się z dwóch czujników FSR. Czujniki połączone szeregowo zamontowano na specjalnej rękawicy założonej na rękę. Pomiar obejmował badanie wielkości sumy rezystancji dwóch czujników w zależności od zgięcia dłoni.



Rys. 14. Charakterystyka zależności rezystancji od procentowego zgięcia dłoni: $R=f(\alpha)$

Zgięcie dłoni 0% oznacza maksymalne rozwarście pomiędzy palcem wskazującym a kciukiem, natomiast zgięcie 100% oznacza zacisk kciuka i palca wskazującego. Uzyskane wyniki (rys. 14) posłużyły do określenia tablicy wartości rezystancji w stosunku do procentowych wartości ścisku dłoni. Charakterystyka ta nie jest liniowa, ze względu na zastosowanie rękawicy, która wpływa na wynik pomiaru przy zgięciu (niedokładne przyleganie do powierzchni skóry dłoni).

4. PROGRAMOWA REALIZACJA EUS

Program na mikrokontroler został napisany w języku C++ i składa się z kilku części: program główny; procedury wykorzystane do odczytu danych z przetwornika analogowo-cyfrowego; sterowania silnikami napędowymi manipulatora oraz obsługa klawiatury. Po zainicjowaniu danych konfiguracyjnych program realizuje nieskończoną pętlę główną. W pętli tej cyklicznie wykonywane są

pomiary danych z dołączonych akcelerometrów (umieszczonych na dłoni oraz manipulatorze) oraz czujników FSR, a następnie zarejestrowane pomiary wykorzystane są do sterowania silnikami napędowymi manipulatora. Pętla główna programu rozdzielona jest na dwa tryby pracy. Tryb pierwszy odpowiada za sterowanie kciukiem manipulatora, natomiast podczas pracy w trybie drugim możliwe jest sterowanie chwytakiem. Zarejestrowane wartości pomiarów z czujników przyspieszenia są ze sobą porównywane. Gdy wartości przyspieszeń są sobie równe, wykonywana jest procedura silnik_1 STOP, co oznacza zatrzymanie silnika napędzającego kciuk manipulatora. Jeżeli natomiast wartość przyspieszenia odczytanej z dłoni jest większa od wartości przyspieszenia odczytanej z manipulatora, wykonywana jest procedura silnik_1 LEWO, której zadaniem jest wysterowanie (poprzez mostek H) silnika napędowego kciuka manipulatora, do wykonania ruchu w górę (obroty silnika w lewo). W przypadku, gdy wartość przyspieszenia odczytanego z dłoni jest mniejsza od wartości przyspieszenia odczytanego z manipulatora, wykonywana jest procedura silnik_1 PRAWO i analogicznie jak w poprzednim przypadku następuje ruch kciuka manipulatora w dół (obroty silnika w prawo).

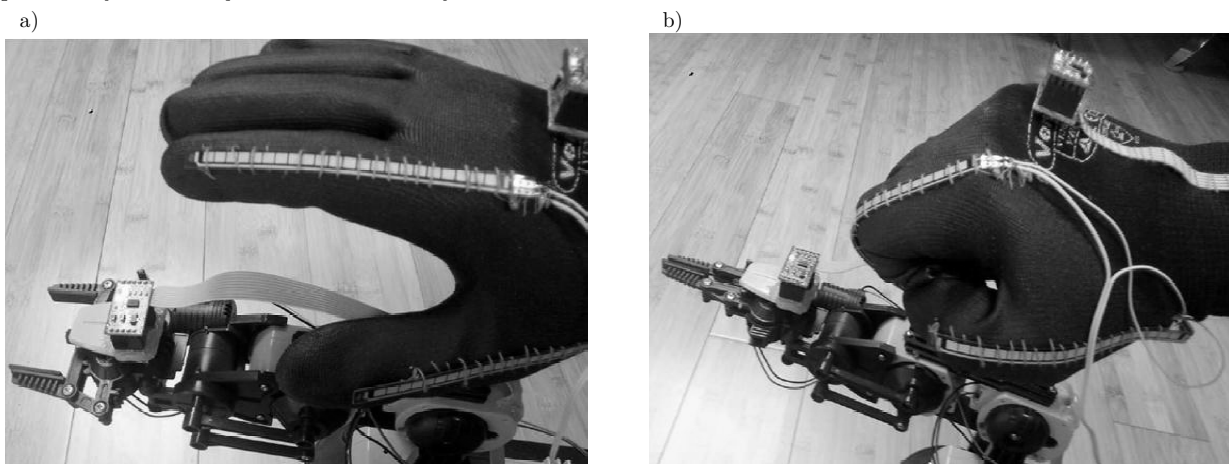
Dane pomiarowe z przetwornika ADC przyjmują wartości od 0 do 255, które następnie są przetwarzane. W przypadku, gdy wartość bezwzględna różnicy pomiędzy odczytanymi przyspieszeniami z czujnika umieszczonego na ręce oraz manipulatorze jest w zakresie od 0 do 5, następuje zmniejszenie wypełnienia generowanego sygnału PWM (połowa maksymalnego wypełnienia), co skutkuje zmniejszeniem prędkości obrotowej silników napędowych manipulatora. Jeśli wartość bezwzględna różnicy między przyspieszeniami jest większa od 5, sygnał PWM ma ustawione maksymalne wypełnienie, co przejawia się maksymalną prędkością obrotową silników.

Procedura realizująca sterowanie chwytakiem manipulatora możliwa jest dzięki wykorzystaniu danych pomiarowych z czujników FSR. Odczyt wartości z

czujnika FSR, podobnie jak w przypadku czujników przyspieszenia, wykonywany jest cyklicznie (co 200 ms), dwukrotnie w pętli głównej programu. W ten sposób otrzymuje się dwa pomiary: pomiar_FSR[0] oraz pomiar_FSR[1], które zostają zapamiętane w rejestrze mikrokontrolera. Analogicznie jak dla wartości przyspieszeń następuje porównanie poszczególnych pomiarów z czujnika FSR. W przypadku, gdy wartości są sobie równe, wykonywana jest procedura silnik_2STOP, co oznacza zatrzymanie silnika napędzającego chwytak manipulatora. Jeżeli natomiast wartość pomiar_FSR[0] jest większa od wartości pomiar_FSR[1], wykonywana jest procedura silnik_2 LEWO, której zadaniem jest wysterowanie (poprzez mostek H) silnika napędowego chwytaka manipulatora, do wykonania ruchu zaciskania chwytaka (obroty silnika w lewo). W przypadku, gdy wartość pomiar_FSR[0] jest mniejsza od wartości pomiar_FSR[1], wykonywana jest procedura silnik_2 PRAWO i analogicznie jak w poprzednim przypadku, wykonywany jest ruch otwierania chwytaka manipulatora (obroty silnika napędowego w prawo).

5. TESTY SYSTEMU

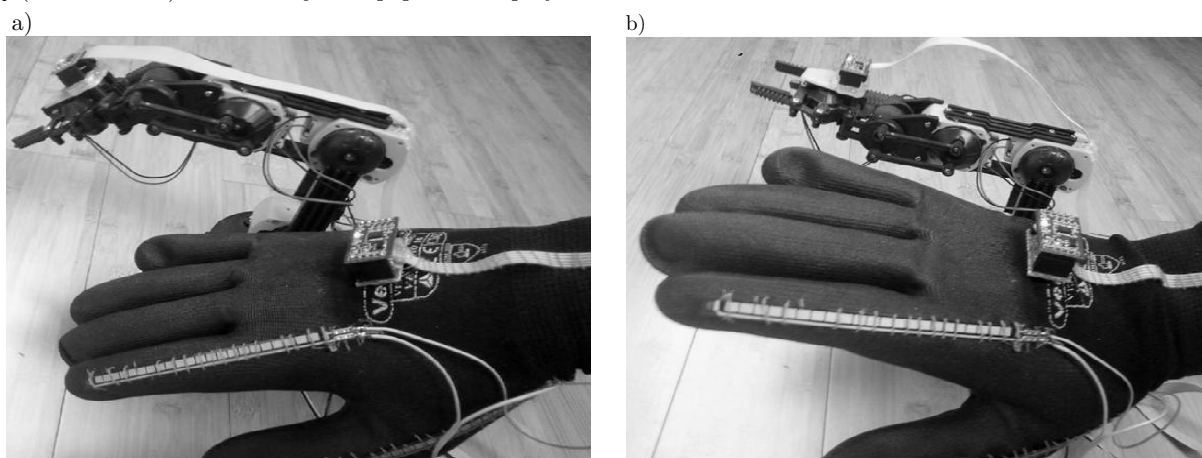
Po zestawieniu wersji końcowej i wykonaniu niezbędnych połączeń pomiędzy elementami systemu sterowania: człowiek – manipulator, przystąpiono do testów poprawności działania algorytmu sterowania, który zaimplementowano na mikrokontrolerze. Na wstępie wykonano test zgodności ruchu pojedynczego członu manipulatora (kciuka) z ruchem ludzkiej ręki, na którą założono rękawicę wyposażoną w czujniki pomiarowe. Na rys. 15a przedstawiono sytuację, gdzie palce ludzkiej dłoni, na której umieszczona jest rękawica, są rozwarte oraz palce chwytaka manipulatora również osiągnęły maksymalne rozwarcie. Na rys. 15b przedstawiono sytuację, gdzie dłoń jest maksymalnie zaciśnięta oraz palce chwytaka manipulatora są maksymalnie do siebie zbliżone.



Rys. 15. Wizualizacja reakcji chwytaka manipulatora na położenie palców dłoni (na których zamocowano rezystancyjne czujniki siły): a) maksymalne rozwarcie palców chwytaka, b) maksymalny zacisk palców chwytaka

Na rys. 16a przedstawiono sytuację, kiedy ruch ręki skierowany był w dół (wzdłuż osi Z). Ruch kiści manipulatora był zgodny z ruchem ręki. Na rys. 16b przedstawiono sytuację, kiedy ruch ręki skierowany był w górę (wzdłuż osi Z). Podobnie jak w poprzednim przy-

padku ruch kiści manipulatora był odwzorowaniem ruchu ludzkiej ręki, na którą założona była rękawica z czujnikami pomiarowymi.



Rys. 16. Wizualizacja reakcji manipulatora na ruch dłoni: a) skierowanej w dół, b) skierowanej w górę

6. PODSUMOWANIE

Przedstawiony w niniejszym artykule prototypowy system sterowania manipulatorem zgodnie z ruchem ludzkiej dłoni, przy dalszej rozbudowie tego systemu (zarówno części elektroniki oraz algorytmów sterowania) może być alternatywą dla aktualnie istniejących rozwiązań (ruch manipulatora ograniczony do zaimplementowanych algorytmów, które umożliwiają realizację wyłącznie zdefiniowanych zadań). System sterowania robotem, w którym wykorzystuje się akcelerometry do określenia przemieszczeń oraz rezystancyjne czujniki siły do odwzorowaniu ruchu ludzkich palców na zamykanie i otwieranie chwytaka, przykładowo może być przydatny, gdy:

- Zastępuje się pracę człowieka w miejscach, gdzie człowiek narażony jest na działanie czynników szkodliwych.
- Wymagane jest wykonywanie prac siłowych wykraczających poza możliwości człowieka. Praca systemu, jako konwertera ludzkiej ręki.

- Istotne jest niezaprogramowane, ale dokładne odwzorowanie ruchów ludzkiej dłoni na ruch maszyny manipulacyjnej w czasie rzeczywistym. Takie rozwiązanie jest pożądane w medycynie, np. podczas operacji chirurgicznych.

Aktualny rozwój techniki związanej z akcelerometrycznymi układami MEMS, na które składa się precyzja oraz integralność układu, jak też możliwości transmisji sygnałów pomiarowych daje naukowcom oraz inżynierom, zajmującym się tematyką sterowania w robotyce, nowe możliwości i jest szansą na rozpowszechnienie tego typu sterowania w dziedzinie robotyki humanoidalnej [4].

Idea odwzorowania ruchu ludzkiej dłoni z wykorzystaniem akcelerometrów MEMS oraz czujników nacisku może okazać się metodą bardziej precyzyjną od aktualnie wykorzystywanych, co w przypadku np. operacji chirurgicznych ma ogromne znaczenie.

Literatura

1. Honczarenko J.: Roboty przemysłowe: budowa i zastosowanie. Warszawa: WNT, 2004.
2. Jastrzębski T.: Projekt i wykonanie układu sterowania ruchem dłoni dla manipulatora z wykorzystaniem akcelerometru do określenia przemieszczenia. Praca magisterska. Gliwice: Pol. Śl., 2014.
3. John A., Musiolik A.: Analiza kinematyczna palców ręki. „Modelowanie Inżynierskie” 2010, nr 40, s. 111-116.
4. Kaźmierczak P., Lukas K., Polkowski L.: Elementy robotyki humanoidalnej: projekt głowy humanoidalnej PALADYN. Warszawa: Wyd. PJWSTK, 2005.
5. Uzman I., Burkan R.: Parameter estimation and upper bounding adaptation in adaptive-robust control approaches for trajectory control of robots. “Robotica” 2002, Vol. 20, p.653 - 660.