

Agata NAWROCKA, Katedra Automatykacji Procesów, AGH, Kraków

Mikołaj KORWIN-KOCHANOWSKI, Piotr PIĘTKA, Międzywydziałowa Szkoła Inżynierii Biomedycznej, AGH, Kraków

OPRACOWANIE KONCEPCJI UKŁADU STEROWANIA MANIPULATOREM REHABILITACYJNYM

Streszczenie. Celem prezentowanej pracy było zaproponowanie koncepcji sterowania ramieniem manipulatora do rehabilitacji kończyny górnej. Ideą działania jest nauka ruchu wzorcowego wykonywanego przez pacjenta w asyście rehabilitanta kończyną utwierdzoną do ramienia manipulatora a następnie odtwarzanie ruchu z zachowaniem prędkości chwilowych oraz zakresu. Sterowanie pozwala na wybranie ilości powtórzeń wykonywanego ruchu. Zadanie zostało zrealizowane w środowisku Labview przy pomocy komputera klasy PC, karty pomiarowej, potencjometru obrotowego oraz silnika BLDC.

1. WSTĘP

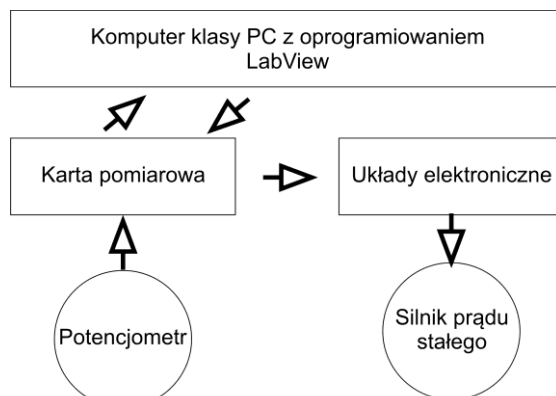
Mimo ogromnego postępu dokonującego się w dziedzinie nauk i technik medycznych problem niepełnosprawności ruchowej wciąż dotyczy sporej liczby członków społeczeństwa. Zgodnie z danymi Biura Pełnomocnika Rządu ds. Osób Niepełnosprawnych, w Polsce w roku 2009 liczba pacjentów posiadających prawne orzeczenie o niepełnosprawności będących w wieku powyżej 15 lat osiągnęła w przybliżeniu wartość 3,5mln osób. Głównymi przyczynami tak wysokiej liczby osób niepełnosprawnych są wynikające z nieodpowiedzialnego trybu życia bądź występujące z przyczyn niezależnych schorzenia układu krążenia, narządów ruchu oraz schorzenia neurologiczne. Wraz ze spadkiem liczby ofiar śmiertelnych wypadków komunikacyjnych oraz coraz większą dostępnością sportów ekstremalnych coraz większy odsetek osób kalekich stanowią ludzie młodzi. Biorąc również pod uwagę osoby dotknięte uszkodzeniami narządu wzroku i słuchu, chorobą psychiczną oraz upośledzeniem umysłowym możemy uzmysłwić sobie skalę poruszonego problemu.[1]

Mając na uwadze powyższe fakty postawiono sobie za cel opracowanie koncepcji sterowania manipulatora służącego przywracaniu sprawności ruchowej kończyn górnych człowieka. Koncepcja opiera się na idei uczenia się ruchu wzorcowego przez manipulator a następnie dokładne i samodzielne odtwarzanie ruchu z zadaną ilością powtórzeń. Dokumentacja elementów sterowania zawiera opis użytego sprzętu, układów elektronicznych oraz oprogramowania.[2]

2. KONCEPCJA STEROWANIA

Główną ideą projektu manipulatora do rehabilitacji kończyny górnej jest zrealizowanie urządzenia wyróżniającego się posiadaniem trybu nauki trajektorii i zakresu wykonywanego ruchu rehabilitacyjnego. Rozumie się przez to sytuację, w której rehabilitant bądź inna wykwalifikowana osoba wykonuje z pacjentem ćwiczenia stawu łokciowego o przykładowej trajektorii. Następnie, w trybie pracy, urządzenie naśladuje ruchy przykładowe, umożliwiając

odtworzenie ich prędkości, nastawienie ilości powtórzeń oraz wybór kolejności wykonywania. Siła mięśniowa konieczna do wykonywania ćwiczeń zastąpiona została silnikiem BLDC, zatem w efekcie pacjent wykonuje ćwiczenia w odciążeniu. Dzięki wymienionym cechą urządzenie daje także możliwość wykonywania ćwiczeń kończyn z niedowładem bądź całkowitą bezwładnością.[3]



Rys. 2. Schemat sterowania

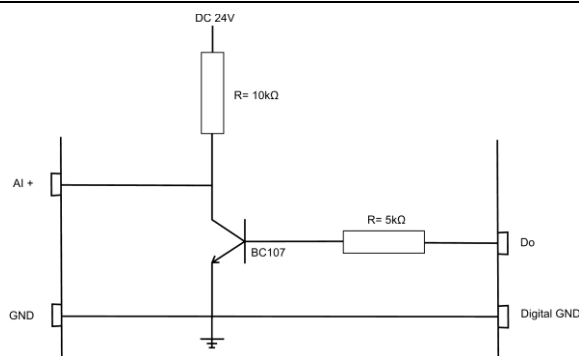
Sterowanie manipulatora zostanie zrealizowane za pomocą potencjometru, karty pomiarowej, oraz komputera klasy PC z graficznym środowiskiem programowania LabVIEW 2008. Potencjometr zostanie zainstalowane w taki sposób, aby ruch członu przedramieniowego manipulatora wymuszał obroty potencjometru. Podczas pracy w trybie nauki do potencjometru zostanie doprowadzone napięcie stałe pochodzące z zasilacza. Zmieniające się napięcie na wyjściu potencjometru będzie mierzone ze pomocą karty pomiarowej, a zebrane dane będą zapisywane w komputerze. Po wyznaczeniu zmian wartości napięć oraz wyliczeniu prędkości ruchu oraz wybraniu ilości powtórzeń trajektoria ruchu będzie odtwarzana za pomocą silnika prądu stałego sterowanego przy pomocy wyjść karty pomiarowej.

2.1. Hardware

W celu zasilenia układu zastosowano zasilacz tranzystorowy ZTR- 1/71 ustawiony na napięcie zasilania równe 24 [V] z ograniczeniem prądowym 10[A]. Parametry te zostały zdeterminowane wymaganiami prądowo napięciowymi silnika zastosowanego w układzie napędowym.

Za komunikację pomiędzy silnikiem, potencjometrem a komputerem PC posłużyła karta pomiarowa firmy National Instruments PCI-6221. W projekcie wykorzystano jedno wejście analogowe karty w celu pomiaru zmian napięcia na potencjometrze obrotowym oraz jedno wyjście analogowe w celu generacji sygnału analogowego używanego do sterowania prędkością obrotową silnika. Dwa wyjścia cyfrowe posłużyły do wyboru trybu pracy silnika.

Ponieważ maksymalna amplituda sygnału osiągnięta na wyjściu cyfrowym wynosi jedynie 5[V] a jedynka logiczna podawana na silnik pojawia się w zakresie od 7- 24 [V] dlatego też zastosowano układ wyzwalacza poziomów przedstawiony na rysunku nr 2.



Rys. 3 Wyzwalacz poziomów

Powyższy układ w momencie pojawienia się stanu wysokiego na wyjściu cyfrowym karty pomiarowej przekazuje na wejście cyfrowe silnika sygnał o stałej amplitudzie 24 [V].

By umożliwić pomiar zakresu ruchu zastosowano potencjometr obrotowy B20k o zakresie rezystancji od 0- 20[kΩ]. W tym celu miał być umieszczony w osi stawu łokciowego manipulatora. Ponieważ potencjometr zasilono napięciem 24[V] dlatego w celu dopasowania do zakresu pomiarowego wejścia karty cyfrowej zastosowano dzielnik napięcia w stosunku 1/3.

Układ napędowy składał się z silnika BLDC BG65x50SI (24VDC) firmy Dunkermotoren parametry silnika zawarto w Tabeli 1.

Tabela 10. Parametry silnika BLDC BG65x50SI

Znamionowe napięcie zasilania[V DC]	24
Znamionowa prędkość [obr./min.]	3100
Znamionowy moment [Ncm]	26
Znamionowy prąd[A]	5,6
Moment startowy [Ncm]	163
Prąd startowy [A]	27
Bezwładność rotora [gcm ²]	128
Masa silnika [g]	1300

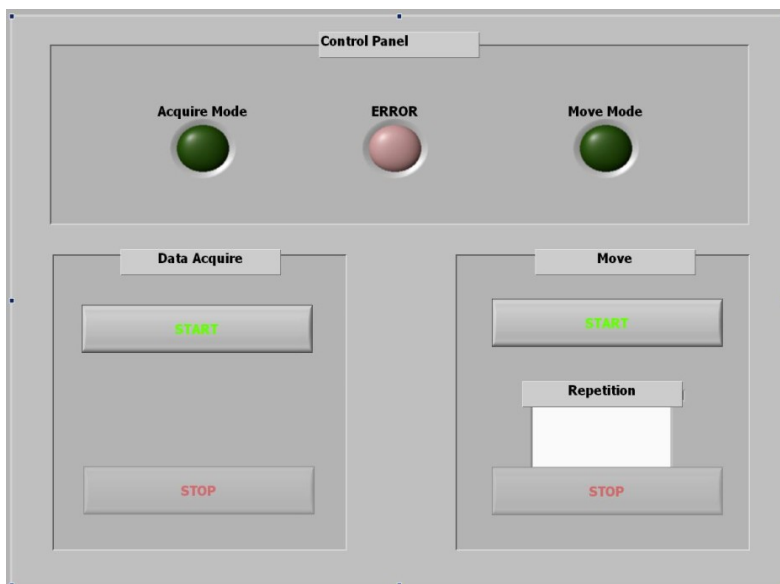
Silnik posiada możliwość sterowania prędkością obrotową za pomocą napięcia w zakresie amplitudy 0-10 [V] podawanego na wejście analogowe. Silnik posiada cztery tryby pracy których wybór dokonywany był przez dwa wejścia cyfrowe, Tabela 2.

Tabela 11. Tryb pracy silnika BLDC BG65x50SI

Stan wejścia 1	Stan wejścia 2	Tryb pracy
0	0	Off
1	0	Obrót w prawo
0	1	Obrót w lewo
1	1	Stop

2.2. Oprogramowanie

Oprogramowanie sterujące manipulatorem rehabilitacyjnym zostało zaprojektowane w celu obsługi wszystkich funkcji jakie spełniać ma sterowanie. Oprogramowanie zostało zrealizowane w środowisku LabVIEW 2008. Interface programu przedstawia rysunek .



Rys. 2. Interface programu

W sekcji Data Acquire po kliknięciu przycisku START manipulator wchodzi w tryb nauki ruchu. Dane o aktualnie wykonywanym ruchu zbierane są nieprzerwanie do momentu kliknięcia przez użytkownika przycisku STOP lub do momentu upływu 5 minut, co chroni bufor karty przed przepełnieniem. O fakcie przebywania w trybie nauki ruchu użytkownik jest informowany zaświeceniem się wskaźnika Acquire Mode. Po zebraniu danych pomiarowych użytkownik może wybrać z rozwijalnej listy opcji ilość powtórzeń ruchu (5, 10, 15, 30 powtórzeń). Następnie po kliknięciu przycisku START znajdującego się w sekcji Move manipulator rozpoczyna wykonywanie ruchu terapeutycznego. Urządzenie pozwala na dokładne odwzorowanie zarówno zakresu ruchu jak i jego prędkości chwilowej. O fakcie przebywania w trybie ruchu użytkownik jest informowany zaświeceniem się wskaźnika Move Mode. Urządzenie posiada również możliwość natychmiastowego zatrzymania ruchu (silnik przechodzi w stan STOP za pomocą przycisku STOP w sekcji Move). Przycisk ten ma charakter zabezpieczenia w przypadku wystąpienia niespodziewanych komplikacji w trakcie ruchu (na przykład ból w kończynie pacjenta) i powinien być dostępny dla pacjenta w każdej chwili. Dodatkowym zabezpieczeniem jest sygnalizacja błędu (wskaźnik ERROR) podczas komunikacji programu z kartą pomiarową. W przypadku wystąpienia błędu program przechodzi do stanu startowego.

Program został zrealizowany przy pomocy struktury maszyny stanów. Poszczególne stany to: Idle, Start Data Acquire, Data Acquire, Data Processing, Start Move oraz Move. Konstrukcja programu a także określony wybór ilości stanów pozwala na proste rozbudowanie funkcjonalności.

Program po uruchomieniu przechodzi do stanu oczekiwania Idle. W stanie Idle program znajduje się w momentach, kiedy użytkownik nie wykonuje żadnych akcji jest to również stan Default programu. Węzły własności Property Nodes sprawiają, że w stanie tym do obsługi użytkownikowi oddane są tylko przyciski START w sekcjach Data Acquire, oraz Move, a także możliwość wybrania ilości powtórzeń ruchu. W przypadku kliknięcia przycisku START

w sekcji Move bez wcześniejszego zebrania danych o nowym ruchu manipulator zacznie wykonywać ostatni zaprogramowany ruch z założoną ilością powtórzeń. Do obu wejść cyfrowych silnika zostają przesłane stany niskie 0, silnik znajduje się w stanie STOP.

W stanie Start Data Acquire przeprowadzane są wszelkie czynności konieczne do wykonania przed rozpoczęciem zbierania danych o zakresie i prędkości ruchu w trybie nauki manipulatora. Węzły własności Properity nodes sprawiają, że w stanie Data Acquire do obsługi użytkownikowi oddany jest tylko przycisk STOP, który służy do wyjścia z trybu nauki.

W stanie Data Acquire zbudowano wątek pomiarowy dla wejścia analogowego karty cyfrowej (ai1). Wątek skonfigurowano do ciągłego pomiaru napięcia, w trybie RSE, z częstotliwością próbkowania równą 10[Hz]. Wartość każdej próbki zostaje zaokrąglona z dokładnością do części setnych w celu wyeliminowania drobnych wahań lub oscylacji napięcia wokół poziomu 0.

W stanie Data Processing każda kolejna próbka napięcia zostaje odjęta od poprzedniej a wartość różnicy zostaje wpisana do tablicy. Znak dodatni lub ujemny dostarcza informacji o kierunku ruchu potencjometru a co za tym idzie ramienia manipulatora. Stan ten stwarza możliwość dokonania innych operacji na zebranych danych pomiarowych w razie potrzeby.

Do stanu Start Move program przechodzi po kliknięciu przez użytkownika przycisku START w panelu Move w trakcie gdy program znajduje się w stanie Idle. W stanie Start Move przeprowadzane są wszelkie czynności konieczne do wykonania przed rozpoczęciem odtwarzania przez manipulator zadanego ruchu. Węzły własności Properity nodes sprawiają, że w stanie Move do obsługi użytkownikowi oddany jest tylko przycisk STOP, który służy do natychmiastowego zatrzymania ruchu manipulatora oraz przejścia silnika w stan STOP. Po wykonaniu wszystkich czynności program automatycznie przechodzi do stanu Move.

W stanie Move tablica różnic napięć między kolejnymi próbkami zostaje wykorzystana w dwojaki sposób. W zależności od znaku każdej kolejnej próbki będącej elementem tablicy na silnik zostaje przesłany konkretny stan wejść logicznych (obrót w lewo lub w prawo). W przypadku, kiedy różnica wynosi zero silnik przechodzi w stan STOP. Na podstawie numerycznej wartości różnicy napięć obliczana jest zadana prędkość chwilowa wału silnika za przekładnią, która po przeliczeniu za pomocą proporcji na odpowiednie napięcie zostaje przesłana na wejście analogowe silnika sterujące prędkością obrotów.

3. PODSUMOWANIE

Założony model sterowania po zrealizowaniu wszystkich zaprojektowanych układów połączeń oraz wykorzystaniu oprogramowania pozwolił na uzyskanie na wale silnika ruchu zgodnego co do zakresu oraz prędkości chwilowej z ruchem ramienia manipulatora symulowanym poprzez zmiany pozycji pokrętła potencjometru. Poprawnie działa także przycisk bezpieczeństwa, umożliwiający nagłe zatrzymanie ruchu z utrzymaniem położenia w przypadku np. wystąpienia u pacjenta bólu.

Należy pamiętać, że przedstawiony projekt sterowania oraz oprogramowania jest jedynie wstępną koncepcją, i został zrealizowany w celu potwierdzenia słuszności założeń projektowych. Na obecnym etapie rozwoju nie został rozwiązany problem odsprzęglania ramienia manipulatora od wału silnika w czasie, gdy manipulator znajduje się w trybie nauki ruchu poprzez zastosowanie odpowiednich sprzęgieł elektromagnetycznych bądź zamianę napędu manipulatora z elektrycznego na pneumatyczny. Projekt umożliwia rozszerzenie możliwości sterowania o kolejne silniki, ich ilość ogranicza jedynie liczba poszczególnych wejść i wyjść karty cyfrowej które zależą od zastosowanego typu karty. Projekt zakłada również wzbogacenie oprogramowania o funkcję archiwizacji danych, tak aby konkretny ruch rehabilitacyjny został przypisany do konkretnego pacjenta wraz z jego postęпами w

leczeniu. Zaproponowane sterowanie pozwala w prosty sposób osiągnąć zadowalające rezultaty. Umożliwia także dużą kompaktowość urządzenia, ponieważ środowisko LabVIEW pozwala na tworzenie systemów czasu rzeczywistego co w połączeniu ze zintegrowaną kartą pomiarową pozwala osiągnąć niewielkie rozmiary urządzenia.

Pracę wykonano w ramach projektu badawczego nr NN 502 719 440

LITERATURA

- [1] Biuro Pełnomocnika Rządu ds. Osób Niepełnosprawnych; www.niepelnospawni.gov.pl/niepelnospawnosc/(odwiedzona 26.10.2010)
- [2] Hesse S. Schmidt H, Cordula W.: Machines to suport motor rehabilitation after stroke: 10 years of experience. *Jurnal of Rehabilitation Research & Developoment*, Aug/Sep 2006, 42(5), s. 671-678.
- [3] Praca zbiorowa pod redakcją Morecki A, Knapczyk J. Podstawy robotyki. Teoria i elementy manipulatorów i robotów. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 1993.

FORMULATION OF A CONCEPT OF UPPER LIMB REHABILITATION MANIPULATOR STEERING

Summary. The aim of this work was to propose a concept of steering a manipulator arm in upper limb rehabilitation. The idea of a motion model is to study this motion performed by the patient, accompanied by restrained limb to the manipulator arm in assist of qualified staff. Than repeating the movement behaviour with instantaneous velocity and range. Our steering allow to choose the number of repetitions of performed movement. The task has been executed in the LabVIEW environment using PC, measuring card, rotary potentiometer and the BLDC motor.