

dr Zbigniew Nawrat^{1,2},
dr inż. Paweł Kostka^{1,3},
dr inż. Krzysztof Mianowski⁴,
mgr Zbigniew Małota¹,
mgr inż. Arkadiusz Kandora^{1,2}

¹⁾ Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii,

²⁾ Śląska Akademia Medyczna,

³⁾ Politechnika Śląska,

⁴⁾ Politechnika Warszawska

INTERFEJS CHIRURGA DLA TELEMANIPULATORA ROBIN HEART – PRZEDSTAWIENIE PROPONOWANYCH ROZWIĄZAŃ

Celem pracy jest przedstawienie zagadnienia interfejsu użytkownika robotów kardiochirurgicznych. W czasie realizacji polskiego projektu robota Robin Heart zaprojektowano, wykonano i przetestowano szereg konstrukcji zadajnika.

THE SURGEON INTERFACE FOR ROBIN HEART TELEMANIPULATOR – A PRESENTATION OF NEW SOLUTIONS.

The aim of this work is to present the problem of the cardiac-surgery robots user interface usage. Several constructions have been designed, performed and tested during realization of polish project of the Robin Heart surgery robot.

1. WSTĘP

Robot kardiochirurgiczny jest nowoczesnym narzędziem służącym do wykonywania w sposób małoinwazyjny operacji na sercu. Roboty stosowane w kardiochirurgii należy zaliczyć do klasy teleoperatorów tzn. robotów zdalnie sterowanych przez operatora lub komputer przenoszący na odległość funkcje motoryczne i sensoryczne operatora. Robot składa się z mechanicznego manipulatora (zadajnik, interfejs użytkownika), systemu sterowania i programowania. Chirurg obserwując obraz z wnętrza organizmu za pomocą kamery endowizyjnej trzyma w dłoni zadajniki ruchu i poruszając nimi wydaje za pośrednictwem komputera, który reguluje szereg parametrów dynamicznych (usuwa np. drżenie dłoni), polecenia ruchu mini-narzędzi chirurgicznych wsuniętych przez małe otwory w ciele pacjenta. Narzędzia, które wykonują konkretne czynności (tną, szyją itp.) umocowane są na odpowiedniej konstrukcji ramionach. Przy stole chirurgicznym jest obecny asystent, który w razie potrzeby wymienia narzędzia na innego rodzaju (np. skalpel na nożyczki) lub czyści kamerę.

2. INTERFEJS MECHANICZNY UŻYTKOWNIKA ROBOTA KARDIOCHIRURGICZNEGO

Podstawowym zadaniem układu zadajnika położenia/ prędkości/ przyspieszenia (i innych wielkości fizycznych) w systemie tele-manipulatora, pracującego w konfiguracji Master-Slave, jest mapowanie ruchów operatora chirurga przetwarzanych następnie przez układ sterujący, wypracowujący sygnały sterujące dla ramienia wykonawczego. Dodatkowo system wyposażony może zostać w moduły detekcji, przetwarzania i przekazywania operatorowi informacji zwrotnej odzwierciedlającej w różny sposób (oddziaływanie siłowe, optyczne, termiczne, wibracyjne i inne) oddziaływanie narzędzia ramienia z obiektami pola operacyjnego. Systemy wyposażone w ten tor sprzężenia zwrotnego określane są jako urządzenia typu *HAPTIC* (z greckiego *haptikos* – *uchwyt, dotyk*). Zarówno sygnały niosące informację o czynnościach operatora jak i sygnały zwrotne mogą podlegać skalowaniu co stanowi istotną zaletę układów telemanipulatorów.

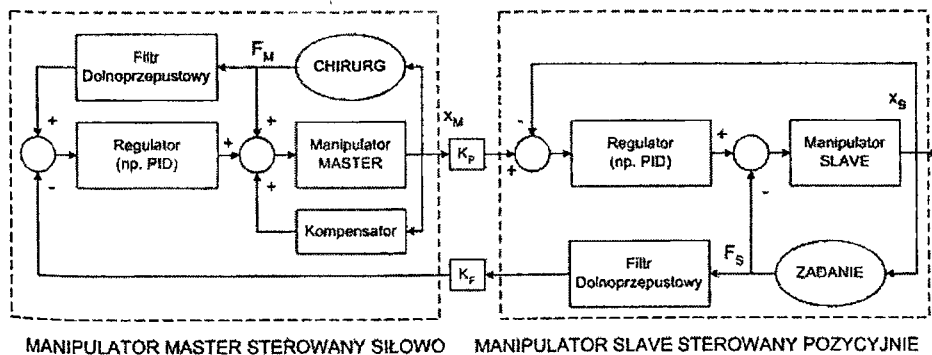
2.1 Rozwiązania konstrukcyjne

Układy zadajników do zdalnego przeprowadzania określonych czynności podzielone są na różne kategorie, wśród których można wyróżnić:

- Układy sterowane ruchami palców (*finger based systems*)
- Układy sterowane ruchami całej dłoni (*hand based systems*)
- Systemy exo-szkieletalne – odwzorowujące strukturę i w różnym stopniu kinematykę ramienia człowieka (*exoskeletal systems*)

2.2 Tor przesyłu i przetwarzania informacji

Na rys. 1 przedstawiono schemat blokowy części sprzętowej systemu, uwzględniający podstawowe człony toru przekazu ruchów dłoni i przekazu zwrotnego siły nacisku.



Rys.1. Dwa tory przesyłu informacji z uwzględnieniem informacji zawartych w charakterystykach częstotliwościowych zdolności ruchowych człowieka.

Efekt skalowania toru położenia oraz siłowego sprzężenia zwrotnego:

$$x_S = K_P x_M$$

- gdzie: x_S – aktualna pozycja manipulatora *slave*
- x_M – aktualna pozycja manipulatora *master*
- K_P – współczynnik skalowania zakresu ruchów $K_P < 1$, (efekt: zmniejszanie ruchów, zwiększanie precyzji)

$$F_S = K_F F_M$$

- F_S – aktualna siła nacisku narzędzia manipulatora *slave*
- F_M – aktualna siła nacisku zwrotnego manipulatora *master*
- K_F – współczynnik skalowania siły nacisku $K_F > 1$ (efekt: wzmacnianie odczucia siły)

Wykorzystując wyniki badań przedstawiane w literaturze, dotyczące analizy spontanicznych zdolności układu ruchowego człowieka oraz odpowiedzi na bodźce, określono wartości istotnych składowych częstotliwościowych mieszczące się w zakresie od 1-5 [Hz] dla ruchów normalnych do 10 [Hz] dla odruchów warunkowych. Na tej podstawie podano przedstawiony na rys. 1 schemat układu sterowania zawierający układy filtrujące, mające na celu eliminację niepożądanych składowych w torach przesyłu ruchu dłoni oraz efektów siłowych.

Układ uwzględni również efekt przeskalowania zakresu ruchów przekazywanych do narzędzia wykonawczego (celem zwiększenia precyzji) oraz wzmacniania odczuwania wrażeń siłowych toru *Force FeedBack*.

3. POLSKI PROJEKT – ROBIN HEART

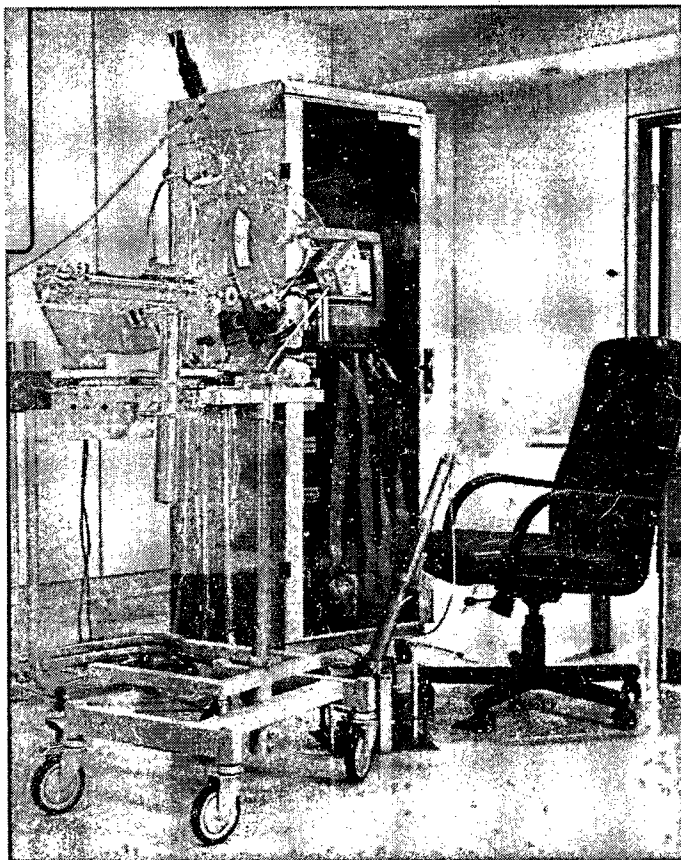
W 2000 roku Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii w Zabrze rozpoczęła polski projekt robota kardiochirurgicznego finansowany przez Komitet Badań Naukowych. Zorganizowano zespół obejmujący zarówno specjalistów z zakresu medycyny jak i techniki, z kilku ośrodków naukowych w Polsce (Łódź, Warszawa, Zabrze) by w ramach posiadanych środków skonstruować precyzyjne narzędzie dla chirurgów do operacji na sercu. Powstający Polski robot kardiochirurgiczny, Robin Heart, ma strukturę segmentową umożliwiającą zestawienie sprzętu dla różnych typów operacji. Samodzielny człon stanowi sterowana głosem lub za pomocą zadajnika kamera endowizyjna. Ergonomiczna konsola sterownicza powstaje przy ścisłym współdziałaniu z lekarzami i studentami. W Pracowni Biocybernetyki FRK opracowano kilka projektów urządzeń zadających ruch robota (interfejsów lekarz-robot) wykorzystujących zarówno głos lekarza (komendy wydawane głosem) jak i zadania sprecyzowane ruchem dłoni za pomocą różnego rodzaju zadajników. Polski robot ma być bardziej przyjazny dla chirurga. Realizacja tak postawionego zadania obejmuje rozbudowany, gotowy na wezwanie chirurga system doradczy oraz dostosowany do predyspozycji operatora zadajnik, interfejs użytkownika [1].

3.1 Zadajniki ruchu

Telemanipulator służący do wykonywania operacji chirurgicznych posiada specyficzne cechy, które są związane z wymaganą wysoką precyzją narzędzia (skalowanie, dokładność, powtarzalność), geometrią wiążącą obiekt operacji z zewnętrznym ramieniem robota (stałopunktowość) oraz wymaganiami medycznymi (sterylność części roboczych). Opierając się na wyżej wymienionych cechach robota sprecyzowano następujące wymagania podstawowe dla układu sterującego telemanipulatora:

- Określanie z zadaną częstotliwością próbkowania pozycji dłoni i przetwarzanie jej na ruchy narzędzia wykonawczego (NW)
- Zapewnienie wymaganej dokładności i rozdzielczości
- Przeskalowywanie zakresu ruchu dłoni na zakres ruchu NW
- Eliminacja efektu drżenia rąk operatora

Efekt ruchów „lustrzanych” – kierunek ruchów narzędzia na zewnątrz ciała pacjenta jest odwrotny do kierunku ruchu końcówek wewnątrz ciała – układ sterujący powinien to wyeliminować zapewniając zgodność kierunku ruchów chirurga z ruchami końcówki narzędzia obserwowanymi przez niego na monitorze.



Rys. 2. Na Konferencji Roboty Kardiochirurgiczne 2002 zostało przedstawione rozwiązanie złożone z przed-prototypu ramienia robota RobIn Heart oraz kamerę endowizyjną umieszczoną w sferycznym modelu ramienia [2].

Ogólny schemat dwukierunkowej interakcji między chirurgiem a układem telemanipulatora zawiera dwie pętle sterowania, kontrolowane przez chirurga przeprowadzającego zabieg. Pierwsza – zadajnik i przetwarzanie, w której ruchy dłoni i inne formy przekazu informacji chirurga są przetwarzane i sterują pozycją ramienia manipulatora. Druga – dyrygowanie (kierowanie zespołem towarzyszącym), w którym

bezpośrednio operator przekazuje polecenia asystentom dotyczące realizacji określonych czynności: lokalizacja portów, ustawianie toru wizyjnego itp. Każda z nich może posiadać elementy wykonawcze oraz tor sprzężenia i oddziaływania zwrotnego. Obecnie prowadzone są prace równoległe nad trzema typami rozwiązania zagadnienia:

1. oparty komputerze przemysłowym PEP pracującym w systemie czasu rzeczywistego OS9
2. oparty na systemie mikroprocesorów jednocukładowych i sygnałowych (DSP) specjalizowanych do sterowania napędami
3. wykorzystujący układy peryferyjne komputerów klasy PC

Studia problematyki związanej z manipulacją robotem obejmują:

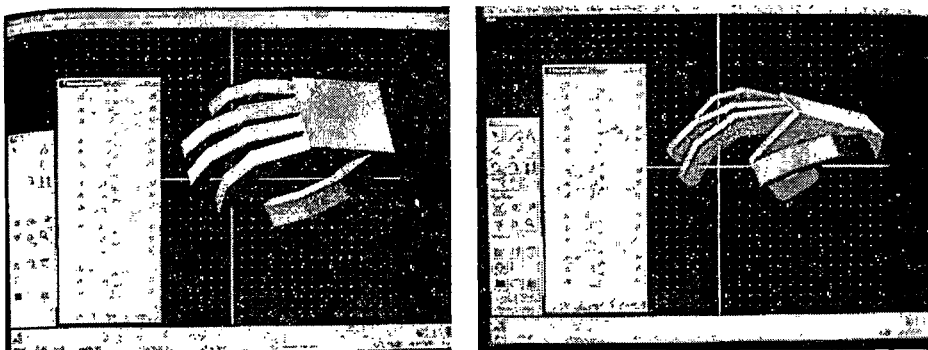
- przegląd stosowanych zadajników i interfejsów komputerowych
- analizę możliwości fizjologicznych i mechanicznych dłoni
- analizę mechaniczną operowania
- optymalizację sterowania telemanipulatorem

4. STUDIUM PROJEKTOWE MECHANIZMÓW SŁUŻĄCYCH DO ZADAWANIA RUCHU DLA TELEMANIPULATORÓW MEDYCZNYCH

Robot nie musi odzwierciedlać ruchów naturalnych człowieka ale jednak jako telemanipulator jest nimi sterowany. Kończyna górna człowieka spełnia dwie podstawowe funkcje ruchowe – manipulacyjne (manus – ręka) wykonywane przez dłoń z palcami i wysięgnikowe realizowane przez ramię z przedramieniem. 22 człony kończyny górnej poruszane 60 mięśniami dają 30 stopni swobody. W tym samym funkcji chwytnej wytrzymujących różne obciążenia dłoni można wyróżnić dziewięć. Sygnały układu nerwowego do sterowania nimi są formułowane w sensie trajektorii przestrzennej (hipoteza Bernsteina), co wskazuje na zalety sterowania zadaniowego (task-oriented) [3]. Zadajnik trzymany jest za pomocą dłoni, która posiada określony zakres ruchu. Przykładowo, z analizy anatomii wynika, że ruchy nadgarstka są możliwe w zakresie -80° (zgięcie dłoniowe) a $+70^{\circ}$ (uniesienie grzbietowe), zaś w osi prostopadłej $+20^{\circ}$ -20° (odchylenie promieniowe). Dla palców II- V zgięcie w stawie międzypaliczkowym wynosi normalnie ok. 90° w stawie między paliczkowym bliższym ok. 100° w stawie śródręczno paliczkowym ok. 90° . Jednym z podstawowych zadań postawionym przed zespołem badawczym jest optymalne rozwiązanie problemu „dopasowania” RobIn Hearta do możliwości operatora.

4.1 Modelowanie dłoni

W ramach projektu podjęto prace studialne mające na celu opracowanie takich urządzeń z uwzględnieniem kinematycznych i dynamicznych właściwości ręki ludzkiej. Jednym z postawionych celów jest również możliwość wyposażenia konstrukcji takiego urządzenia w układ sprzężenia zwrotnego od siły wywieranej przez narzędzie na jego otoczenie podczas pracy. Aby zapewnić odpowiednio wysokie własności funkcjonalne urządzenia na styku ręka-zadajnik opracowano wirtualny model ręki ludzkiej. Model ten pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Model wirtualny ręki ludzkiej: widok ogólny i zadawanie zmiany położenia palców suwakami operacyjnymi

Model jest opracowany w systemie ADAMS przeznaczonym do komputerowego prowadzenia obliczeń inżynierskich. Lewe okno dialogowe zawiera ikony systemu tworzenia modelu, natomiast duże okno pionowe zawiera zadajniki suwakowe pozwalające na zadawanie kątów obrotów kolejnych paliczek wszystkich palców. Suwaków jest 15. Opracowany model pozwala na zadawanie 15 współrzędnych kątowych pozycji w przegubach będących odpowiednikami stawów palców. Na rys. 3 po prawej stronie pokazano w jaki sposób zmiana liczby odpowiadającej współrzędnym paliczek palca wskazującego jest przetwarzana na zmianę pozycji członów modelu. Planuje się wykorzystanie tego modelu w opracowaniu projektu zadajnika ruchu telemanipulatora medycznego. Podczas procesu projektowania, na model ten, przeniesiony do systemu projektowego UNIGRAPHICS będą „nakładane” kolejne elementy funkcjonalne mechanizmu zadajnika i będą badane aktualne własności funkcjonalne opracowywanego urządzenia. W ten sposób zostanie opracowany mechanizm o własnościach pozwalających wiernie nadążać za ruchami palców i dłoni służący do przetwarzania tych ruchów na sygnały sterujące narzędziem laparoskopowym. Takie podejście ma również tę zaletę, że sygnały pomiarowe z opracowanego zadajnika można będzie wprowadzić do systemu komputerowego i zweryfikować model z wykorzystaniem danych rzeczywistych. W dalszej kolejności planuje się opracować system pozwalający na przetwarzanie sygnałów uzyskanych w modelu wirtualnym na sygnały bezpośrednio sterujące narzędziem. Dzięki temu możliwe będzie symulacyjne prowadzenie operacji na wirtualnych fantomach np. do celów treningu zawodowego.

4.2 Operowanie

Zadajniki ruchu są układami elektro-mechanicznymi, które mają na celu odwzorowanie ruchów wykonywanych przez chirurga w czasie operacji i przekształceniu ich na ciąg impulsów cyfrowych. Podczas operacji chirurg wykorzystuje możliwość ruchu we wszystkich stawach kończyny górnej. W określonej przestrzeni roboczej umieszczenie przedmiotu w dowolnie zadanej pozycji i nadanie mu dowolnej orientacji, wymaga 6 stopni swobody (DOF). Z punktu widzenia takiego zadania ręka człowieka (30 DOF) jest *manipulatorem* redundantnym. Przez ograniczanie liczby stopni swobody (ruchliwości stawów) traci się naturalną zdolność (zręczność) wykonywania różnych

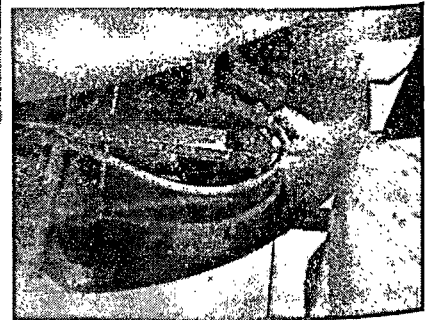
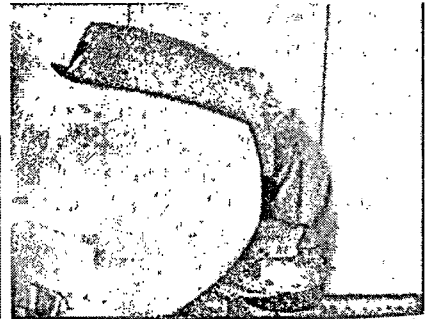
zadań, co wydłuża czas ich wykonywania lub określone czynności stają się niemożliwe do realizacji.

Kryterium prostoty i funkcjonalności wymaga analizy minimalnej liczby stopni swobody potrzebnych do wykonania typowych czynności chirurgicznych. W Fundacji Rozwoju Kardiochirurgii przeprowadzono z pomocą członków Koła Naukowego przy Śl. AM w Zabrze, studentów nauk medycznych, technicznych i fizyki, doświadczenia w celu określenia wpływu ruchomości określonych stawów na wykonanie zadanych czynności chirurgicznych przy pomocy różnych narzędzi; klasycznych i laparoskopowych. Zszywanie, tworzenie pętli chirurgicznej wymaga 5 (+ 1 chwytak) DOF, cięcie skalpelem 3-4 DOF, przecinanie nożyczkami 4 (+ 1 cięcie).

W operacjach laparoskopowych wszystkie czynności chirurgiczne wykonuje się długimi narzędziami przez otwory tzw. porty w powłoce skórnej pacjenta, które określają stałopunktową geometrię przestrzeni pracy. W konwencjonalnym narzędziu laparoskopowym dostępne są 4 DOF (nie wliczając ruchu końcówki wykonawczej):

- 3 rotacje wokół wzajemnie prostopadłych osi przechodzących przez port
- 1 translacja wzdłuż trzonu narzędzia

W wyniku manipulacji kończyny górnej na zadajnik wprowadzamy w ruch poszczególne enkodery. Zazwyczaj jest ich w układzie od 4 do 7. Kierowanie robotem za pomocą ruchów wykonywanych przez kardiochirurga powinno odbywać się w sposób „naturalny”, intuicyjny, nie wywołując dodatkowych oporów, ważne jest aby konstrukcja była zrównowazona.



Rys.4 Interfejs użytkownika robota Zeus oraz robota da Vinci

Obecnie stosowane są dwa roboty kardiochirurgiczne Zeus i da Vinci (Rys.4, w których zastosowano następujące rozwiązania układów kinematycznych zadajników.

Zeus - zadajnik jest odwzorowaniem układu kinematycznego ramienia robota. Chirurg siedzi tyłem do konsoli ramiona są po bokach chirurga, ręka trzyma uchwyt

manetki. Ruchy wykonywane są w sposób naturalny. Pole operacji przedstawione jest na ekranie monitora.

Da'Vinci - zadajnik 7 DOF jest oparty jego część ramienia na mechanizmie czworoboku, sama zaś manetka jest przegubem kulistym, którego konstrukcja została oparta na mechanizmie trzech połączonych kształtowników wygiętych w kształt litery L w sposób przegubowy. Ruchy wykonywane podczas zabiegu nie są naturalne. Konsola znajduje się z przodu, chirurg obserwuje operacje przez specjalny okular.

5. WYBRANE TYPY ROZWIĄZAŃ INTERFEJSU CHIRURGA DLA ROBOTA ROBIN HEART

Prezentowane poniżej rozwiązania powstały i podlegają rozwojowi w wyniku stałej konsultacji projektantów i wykonawców z chirurgami i studentami medycyny – ich potencjalnymi użytkownikami.

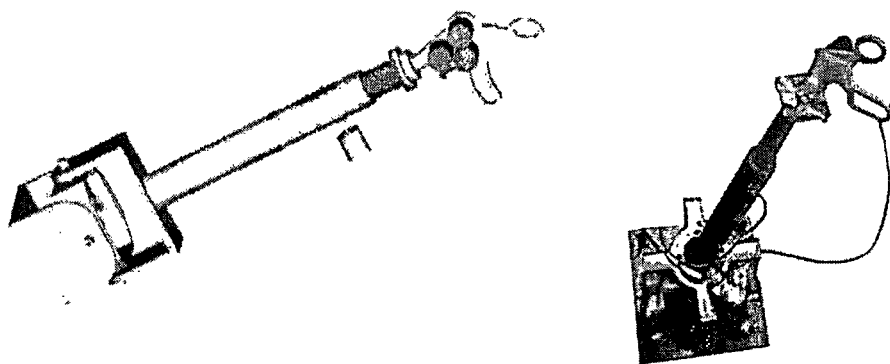
Każdy z modeli będzie intensywnie testowany i jego konstrukcja może podlegać modyfikacji na kolejnych etapach weryfikacji modelu, zarówno z punktu widzenia konstrukcji oraz efektywności i ergonomiczności sterowania.

5.1 Układy mechaniczne

A) Model zadajnika odwzorowujący narzędzia stosowane w tradycyjnej endoskopii.

Właściwości:

- odwzorowuje pracę ramienia stałopunktowego, w warunkach pracy po wprowadzeniu narzędzia do portu
- posiada 3 stopnie swobody (2 obroty + 1 przesuw) w odniesieniu do ramienia, 4 stopnie swobody dla narzędzia oraz klawisze funkcyjne do obsługi dodatkowych opcji
- kinematyka i orientacja poszczególnych ruchów odpowiada technikom tradycyjnej endoskopii



Rys 5. Zadajnik jako drążek sterowniczy z uchwytem laparoskopowym (patrz również na rys.7)

- sygnały przekazujące informację stanu wszystkich stopni swobody stanowią wyjścia enkoderów
- rozwiązanie oryginalne w odniesieniu do interfejsów użytkownika stosowanych w telemanipulatorach Zues® i DaVinci®
- opcjonalnie system sprzężenia siłowego po umieszczeniu siłowników na osiach wybranych stopni swobody

Ponieważ liczba stopni swobody zadajnika umożliwi pracę telemanipulatora w warunkach wprowadzenia narzędzia do portu, w celu naprowadzania całego ramienia do wyznaczonego miejsca portów, w układzie sterowania planowane jest wprowadzenie dodatkowego zadajnika o 3 stopniach swobody (przesuwy X, Y, Z) zbudowanego w oparciu o pilot zdalnego sterowania, joystick przemysłowy (3 st. swob.), klawiaturę, mysz z obsługą ruchu w 3 wymiarach (np. z wykorzystaniem rolki przewijającej). Rozwiązaniem alternatywnym może być zastosowanie stopni swobody zadajnika po przełączeniu funkcji w tryb naprowadzania ramienia na port.

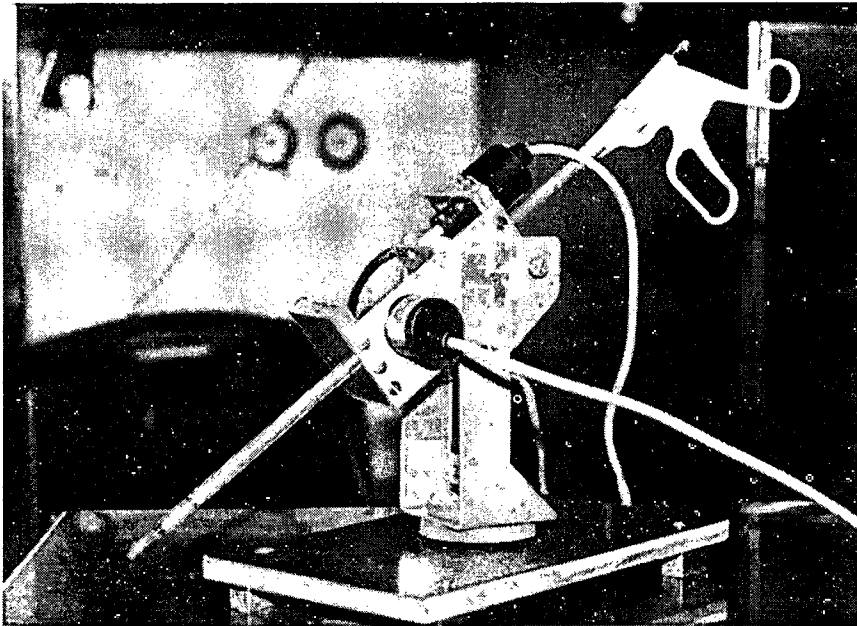
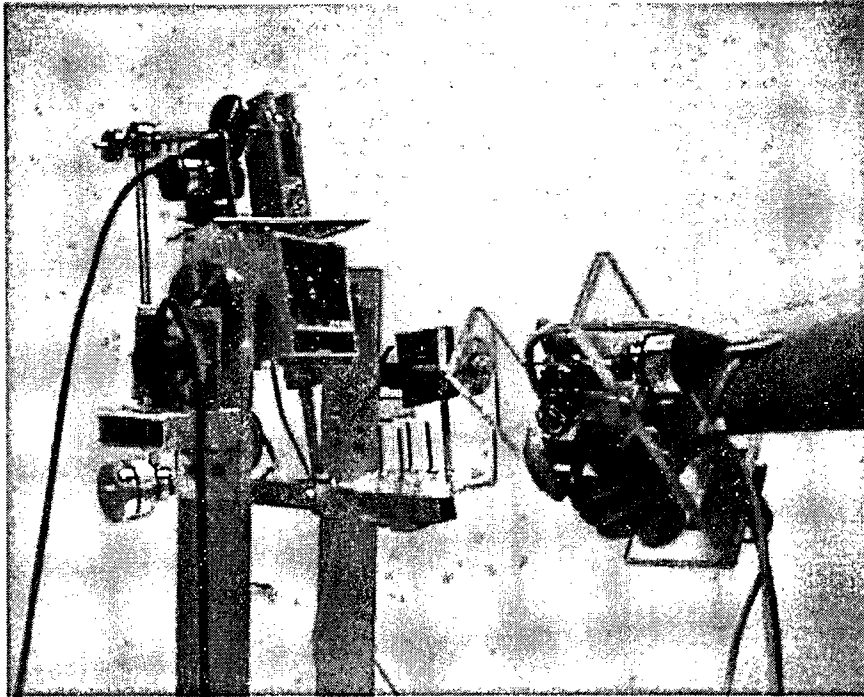
Analogicznie można zadawać położenia ramienia kamery, z wykorzystaniem dodatkowych stopni swobody do obsługi parametrów toru wizyjnego (zbliżenia itp.) Planowana jest rozbudowa rękojeści zadajnika poprzez dodanie kolejnych stopni swobody i zwiększenie ergonomii użytkownika.

B) Układ kinematyczny zbliżony do rozwiązania jakie ma miejsce przy zadajniku robota Zeus z tą różnicą że ręka chirurga trzyma rękojeść w której znajdują się dwa stopnie swobody: pierwszy którego zadanie polega na wykonaniu ruchu do tyłu narzędziem – dodatkowy stopień swobody, drugi odpowiedzialny za wykonanie ruchów uchwycenia i puszczenia (Rys.6). Przed-prototyp robota wyposażony w narzędzie z 5 DOF, że posiada dodatkowy stopień swobody umożliwiający dodatkowy ruch narzędziem do tyłu. Należy tutaj zaznaczyć że, ten dodatkowy ruch nie jest naturalnym ruchem wykonywanym przez kończynę górną. W rękojeści znajdują się przyciski. Jeden z nich odpowiedzialny jest za zablokowanie uzyskanej pozycji ruchu do tyłu narzędziem wykonanego za pomocą pokrętła znajdującego się w rękojeści. Cały układ został wykonanego za pomocą pokrętła znajdującego się w rękojeści. Cały układ został przedstawiony na rysunku poniżej. Układ posiada 7 stopni swobody. Zaleta: zrównoważony, stosunkowo duży zakres ruchu.

D) Układ zadajnika na bazie manipulatora równoległego

Właściwości:

- 6 podstawowych stopni swobody zapewniające pełne odzwierciedlenie położenia i orientacji w przestrzeni oraz dodane stopnie swobody wprowadzonego uchwytu (Rys.7)
- wprowadzenie dodatkowych stopni swobody umieszczonych w uchwycie rękojeści manipulatorów endoskopii tradycyjnej
- relatywnie duża przestrzeń robocza, zwartość konstrukcji duża szybkość działania, charakterystyczna dla manipulatorów równoległych
- czujnik siły + czujniki położenia kąтового (enkodery) do detekcji ruchów manipulatora
- opcjonalnie system sprzężenia odzwierciedlającego siłę dotyku *Force Feedback* zbudowany na serwomechanizmach DC

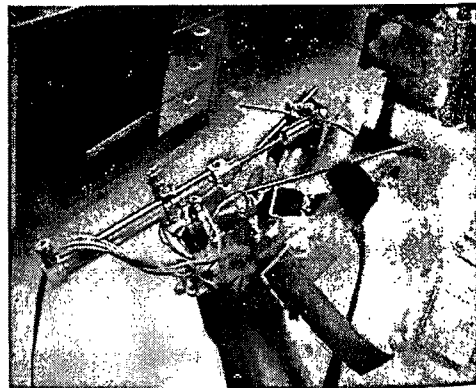
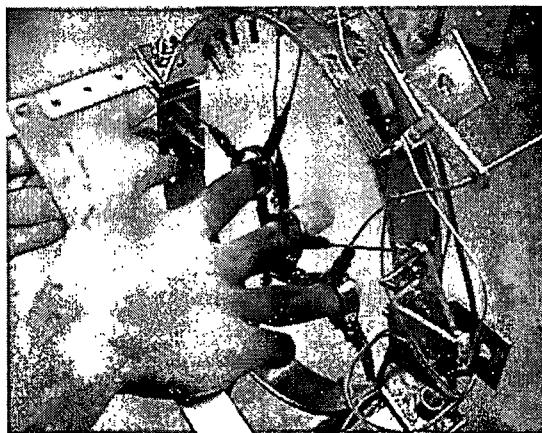
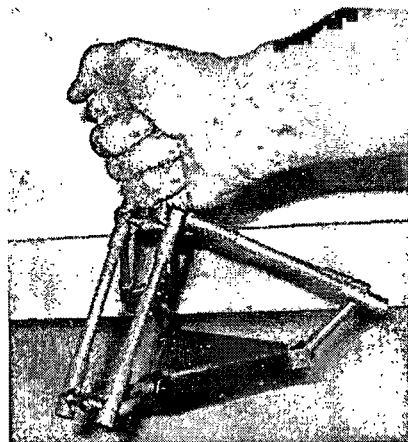
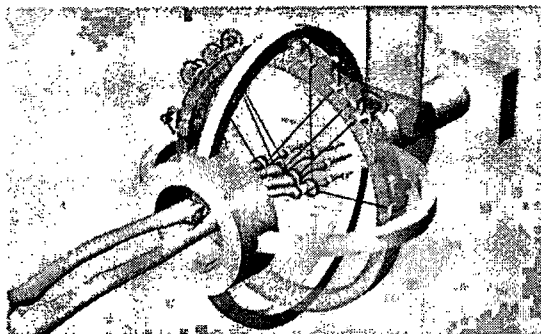


Rys. 6. Model zadajnika na bazie manipulatora równoległego zadajnik dla typowego laparoskopu

E). Model linkowy

- Palec zawieszony na 2 linkach, przetwarzający ruchy palca na ruch obrotowy potencjometrów (enkoderów) (Rys.7)
- Nadgarstek umiejscowiony w koszu, zawieszonym na ramieniu, umożliwiającym przesuwanie i obrót całej dłoni
- Elektroniczne układy zbierania i przetwarzania informacji

F). Model: ramię + dłoń



Rys.7. Model komputerowy i fizyczny zadajnika poruszanego palcami (po lewej), model zadajnika na bazie manipulatora równoległego (na górze, po prawej) oraz model fizyczny z pneumatycznym sprzężeniem siłowego

Opracowano konstrukcję naramienną z platformą na dłoń (Rys 6). Zdjęcie prezentuje model; element jednego palca z 2 enkoderami do detekcji położenie oraz siłownikiem pneumatycznym pracującym jako element wykonawczy sprzężenia siłowego *Force Feedback*

5.2 Sterowanie

W realizowanym aktualnie układzie sterowania systemu telemanipulatora kardiochirurgicznego, po przeprowadzonej analizie efektywności różnych rozwiązań, przyjęto sposób sterowania przyrostowy z możliwością odsprzęglania zadajnika od części mechanicznej całego systemu. Własność ta umożliwi elektryczne odłączenie zadajnika w dowolnym momencie pracy, ustawienie go w nową, ergonomiczną pozycję pracy i kontynuację pracy po aktywacji sprzęgła. W celu aktywacji sprzęgła opracowano dwa rozwiązania techniczne: przycisk sterowany ręcznie umieszczony w konsoli zadajnika oraz pedał nożny.

W pierwszym etapie realizacji układu sterowania zaimplementowano opcję przekazywania ruchów zadajnika na ruch ramienia wykonawczego zakładając wariant rozprężnięcia poszczególnych osi. Przyjęcie takiego rozwiązania było możliwe dzięki odpowiadającej sobie konstrukcji mechanicznej zadajnika wzorowanego na tradycyjnych narzędziach laparoskopowych (patrz: opis proponowanych rozwiązań zadajników) i konstrukcji ramienia wykonawczego manipulatora.

Aktualnie prowadzone są prace, nad kolejnym etapem realizacji układu sterowania, w którym zaimplementowany zostanie opracowany algorytm kinematyki prostej zadajnika oraz algorytm kinematyki odwrotnej ramienia telemanipulatora. Umożliwi to podłączenie do systemu kolejnych rozwiązań interfejsu chirurga o odmiennej konstrukcji.

Jednocześnie przeprowadzone zostaną testy, pozwalające ustalić i zweryfikować parametry narzucone na etapie definicji założeń dotyczące wymaganej dla płynnego działania systemu odpowiednio dużej wartości częstotliwości odświeżania pętli czasowej ustalania aktualnej pozycji zadajnika i wyliczania parametrów sterowania dla silników poszczególnych osi.

6. WNIOSKI

Dla odpowiedniego sterowania narzędziem laparoskopowym realizującym proces operacyjny, lekarz-operator powinien mieć do dyspozycji specjalne urządzenie pozwalające wiernie odtworzyć ruchy rąk, dłoni i palców na ruchy narzędzia. Stosując w operacji typowy endoskop lub laparoskop, lekarz bezpośrednio ruchami palców i rąk napędza dźwignie przekazujące ruch przez cięgła-popychacze lub wałki na końcówkę chwytnej narzędzia. W wypadku narzędzia laparoskopowego o napędzie elektrycznym zadajnik może być wyposażony w czujniki pomiarowe służące do przetwarzania ruchów palców, dłoni i rąk lekarza na sygnały zazwyczaj elektryczne wykorzystywane jako sygnały zadane dla systemu sterowania narzędziem. W wypadku zastosowania w układzie sterującym systemu komputerowego, sygnały te mogą być odpowiednio przetwarzane i formowane oraz rejestrowane w trakcie operacji np. dla prowadzenia niezbędnych analiz lub innego wykorzystania.

Opracowanie koncepcji uniwersalnego zadajnika typu haptic-devices jest zadaniem bardzo trudnym, gdyż musi być to urządzenie o wysokiej funkcjonalności, wygodne w użyciu, niekrępujące ruchów operatora, wiernie nadążające za ruchami rąk i przede wszystkim akceptowane przez lekarza. Wymaga to uwzględnienia bardzo wielu parametrów osobniczych i opracowania często nowych nietypowych układów mechanicznych, np. wzorowanych na wzorach biologicznych.

Zespół badawczy zgromadzony w projekcie prowadzi nadal prace nad udoskonalaniem powstałych zadajników i powstaniem nowych innowacyjnych rozwiązań. Przyszli

użytkownicy RobIn Heart'a będą mieli możliwość zamówienia najwygodniejszego dla siebie i najbardziej adekwatnego do wykonywanych zadań interfejsu mechanicznego użytkownika. W Fundacji Rozwoju Kardiochirurgii w Zabrze przygotowywane są odpowiednie stanowiska treningowe dla lekarzy.

Podziękowania

Praca finansowana z projektu badawczego KBN 8 T11E 001 18 oraz przez Fundację Rozwoju Kardiochirurgii. Autorzy pracy dziękują wszystkim uczestnikom grantu, naukowcom i studentom, za wkład w realizację opisanego zadania.

LITERATURA

- [1] Zbigniew Nawrat „Polski robot kardiochirurgiczny; strategia rozwoju prac badawczo-konstrukcyjnych” Sympozjum „Roboty Kardiochirurgiczne 2000” Zabrze, 12 grudnia 2000 r.
- [2] Z. Nawrat, L. Podsędkowski, K. Mianowski, P. Wróblewski, P. Kostka, M. Baczyński, Z. Małota, G. Granosik, E. Jezierski, A. Wróblewska, Z. Religa: RobIn Heart in 2002 – actual state of polish cardio-robot project. Międzynarodowa Konferencja Robotyków RoMoCo, Konferencja IEEE. październik 2002
- [3] Morecki A, Jaworek k, Zielińska T. W Tom 5. Biomechanika, Problemy Biocybernetyki i inżynierii biomedycznej.