

dr Zbigniew Nawrat
Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii, Zabrze

mgr inż. Wojciech Dybka
Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii, Zabrze

dr inż. Paweł Kostka
Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii, Zabrze
Politechnika Śląska w Gliwicach, Instytut Elektroniki

mgr inż. Kamil Rohr
Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii, Zabrze

KONSOLA STEROWANIA ROBOTEM CHIRURGICZNYM ROBIN HEART

Prezentowana praca przedstawia ideę, analizę funkcjonalną oraz konstrukcję nowatorskiego rozwiązania interfejsu człowiek-maszyna opracowanego dla systemu polskiego telemanipulatora chirurgicznego Robin Heart. Główna idea towarzysząca powstaniu stanowiska operatora-chirurga opiera się na założeniu, że całość konstrukcji odpowiada naturalnej sytuacji pracy chirurga „we wnętrzu pacjenta”. Konsola sterownicza Robin Heart Shell[®] wyposażona jest w zadajniki Master dla pozycjonowania dwóch ramion narzędziowych oraz pedały nożne dla sterowania ruchami trzeciego ramienia kamery toru wizyjnego. Dwa monitory umieszczone w centralnej części konsoli przekazują rzeczywisty obraz z pola operacyjnego oraz poprzez panel dotykowy pozwalają na monitoring stanu pacjenta i systemu.

THE CONTROL CONSOLE OF SURGICAL ROBOT ROBIN HEART

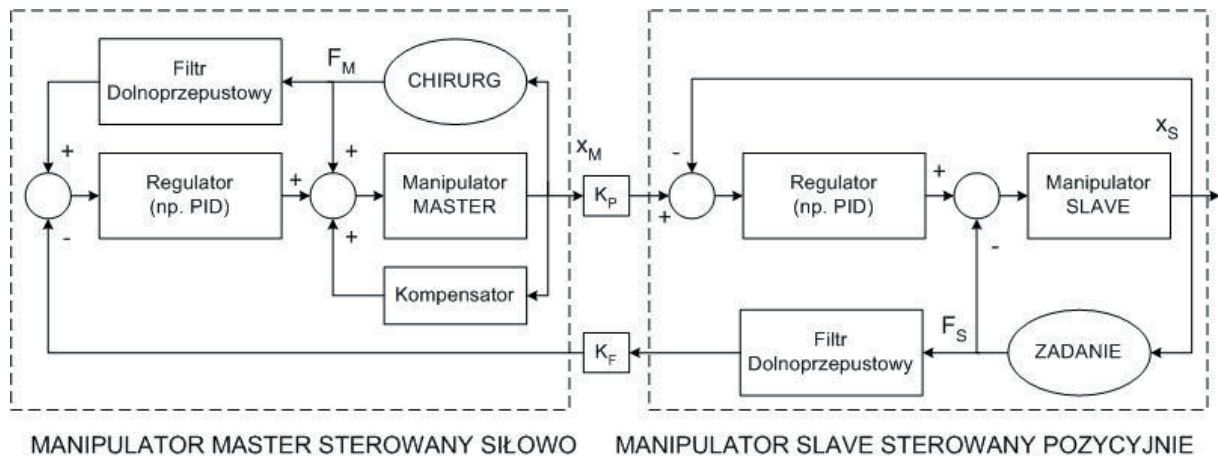
Idea, functional analysis and innovative construction of Man-machine interface designer for polish Tele-manipulator Robin Heart is presented. Main idea is based on the assumptions, that the whole construction corresponds to natural surgeon environment “in the inner of patient body” during operation. Master tools as well as foot pedals are used to control the movements of two surgery tool arms and one robot for vision channel positioning. Real operation view and technical system information with on-line patient’s diagnostic and advisory system are easy and intuitive accessible for surgeon during procedure.

1. WPROWADZENIE

1.1. Interfejs człowiek-maszyna

Przedstawiony w niniejszej pracy innowacyjny projekt konsoli sterowniczej systemu telemanipulatora chirurgicznego Robin Heart stanowi najistotniejszy z punktu widzenia akceptacji nowych rozwiązań robotycznego wspomaganie chirurgii przez środowisko medyczne element całego systemu pracującego w konfiguracji *Master-Slave*. Podstawowym zadaniem układu zadajnika położenia/prędkości/przyśpieszenia (lub innych wielkości fizycznych) w systemie telemanipulatora, 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 informacje o czynnościach operatora jak i sygnały zwrotne mogą podlegać skalowaniu co stanowi istotną zaletę układów telemanipulatorów (rys.1).



Rys. 1. Pełny dwutorowy schemat 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 wzmacniania odczucia siły)

1.2. Polski telemanipulator chirurgiczny Robin Heart – ogólna struktura systemu

W 2000 roku Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii w Zabrzu 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. Powstała rodzina ramion robota kardiochirurgicznego- RobIn Heart (rys. 2), ma strukturę segmentową umożliwiającą zestawienie sprzętu dla różnych typów operacji. Samodzielny człon stanowi, sterowana głosem lub za pomocą zadajnika, kamera endowizyjna – Robin Heart Vision (rys. 2.a).

Ergonomiczna konsola sterownicza powstaje przy ścisłym współdziałaniu z lekarzami i studentami. W latach 2000-2006 w Pracowni Biocybernetyki FRK opracowano kilka projek-

tów urządzeń typu *Master* zadających ruch robota (interfejsów lekarz-robot) wykorzystujących zarówno głos lekarza (komendy wydawane głosem) jak i zadania sprecyzowane ruchem dłoni za pomocą różnego rodzaju zadajników. Ostatnie, wydaje się docelowe rozwiązanie stanowi podsumowanie prac modelowych w kierunku optymalizacji ‘wejścia’ systemu (*Man-Machine Interface*).



Rys. 2a. Robin Heart 1 z narzędziem chirurgicznym



Rys. 2b. Robin Heart Vision kamerą endoskopową

1.3. Ogólne zadania optymalnego interfejsu człowiek-robot chirurgiczny

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.

1.4. 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 reali-

zowane przez ramię z przedramieniem. 22 człony kończyny górnej poruszane 60 mięśniami dają 30 stopni swobody. W tym samym funkcji chwytnych 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*). 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 śródrečno paliczkowym ok. 90° . Jednym z podstawowych zadań postawionym przed zespołem badawczym jest optymalne rozwiązanie problemu „dopasowania” systemu Robin Heart do możliwości operatora.

1.5. Przegląd rozwiązań interfejsu operatora w systemach robotycznego wspomagania chirurgii



Rys. 3. Interfejs użytkownika robota Zeus (a) oraz robota daVinci (b)

1.5.1. System ZEUS[®] (Computer Motion)

System ZEUS to pewnego rodzaju odpowiednik systemu daVinci, mający na celu sprostanie tym samym zadaniom, które zostały ustanowione przez koncepcje małoinwazyjnej chirurgii (MIS). System ten stanowi ergonomiczna konsola, oraz trzy zrobotyzowane ramiona przymocowane do stołu, a będące rękami i oczyma chirurga w trakcie operacji endoskopowej. Siedząc przed konsolą niedaleko stołu operacyjnego, chirurg kontroluje lewe i prawe ramie robota, które transformują realną w czasie manipulację rąk operatora, na ruch instrumentów chirurgicznych wewnątrz ciała pacjenta. Trzecie ramie stanowi zintegrowany AESOP, omówio-



Rys. 4. Robot chirurgiczny ZEUS (Computer Motion®)

drżenia ręki do indywidualnych potrzeb chirurga, pozwalają na jeszcze dokładniejsze sterowanie instrumentami i prowadzenie igły.

W przeciwieństwie do sztywnych ustawień systemu, indywidualna parametryzacja stanowiska pracy, podnosi komfort wykonywanego zadania, przyczyniając się do osiągnięcia wyższej jakości końcowego rezultatu.

W skład systemu ZEUS wchodzi następujące składniki:

- zrobotyzowane ramiona
- konsola video
- główny 23'' monitor
- płaski panel, jako dodatkowy monitor
- monitor dodatkowy
- ramiona wspomagające wraz joystickami
- gniazda wejściowe dla głośników, dodatkowych paneli, innych systemów



Rys. 5. Zadajnik Master systemu ZEUS

Wizualizacja całego procesu także została sparametryzowana do indywidualnych upodobań, zezwalając na wizualizację zarówno dwu, jak i trójwymiarową, zezwalając jednocześnie na wiele ustawień endoskopu i monitora. Płaski monitor wspomagający, zamontowany równoległe do głównego, wyświetla dodatkowe dane życiowe pacjenta.

System ZEUS został zaprojektowany rozważnie biorąc pod uwagę wykorzystanie przestrzeni typowej sali operacyjnej, z uwzględnieniem potrzeb operacji endoskopowej. Zajmuje mało miejsca na stole operacyjnym, dając łatwy dostęp do pacjenta i zezwalając na współdziałanie tradycyjnych procedur chirurgicznych. Celem łatwego przechowywania, transportu i instalacji, system posiada budowę modułową. Każde z ramion waży 16.25 kg i przystosowane jest do wykorzystania różnych portów, standardowych 5 mm instrumentów i 5–10 mm endoskopów. Wszystkie trzy ramiona są mocowane do stołu operacyjnego, bez

ny wcześniej. Ramiona manipulacyjne współdziałają na tej samej technologii co AESOP, posiadając sześć stopni swobody, z możliwością zachowania w pamięci i natychmiastowego odtworzenia trzech dowolnych położeń. ZEUS elastycznie dostosowuje się do indywidualnych potrzeb chirurga, a procedury MIS są wykonywane z wygodnej pozycji siedzącej z możliwością bezpośredniej komunikacji z resztą zespołu na sali, ponadto wszystkie monitory śledzące stan pacjenta, jak i pozostałe instrumenty są widoczne. Podobnie jak i w poprzednim systemie, ruch ludzkiej ręki jest odpowiednio skalowany i transformowany na ruch maszyny, z filtracją jej zmęczenia i drżenia.

Dostosowanie przeskalowania ruchu,

konieczności ich późniejszego przemieszczania, dając chirurgowi możliwość dynamicznej zmiany pozycji stołu w trakcie operacji, ich rozmieszczenie przedstawia poniższy rysunek.

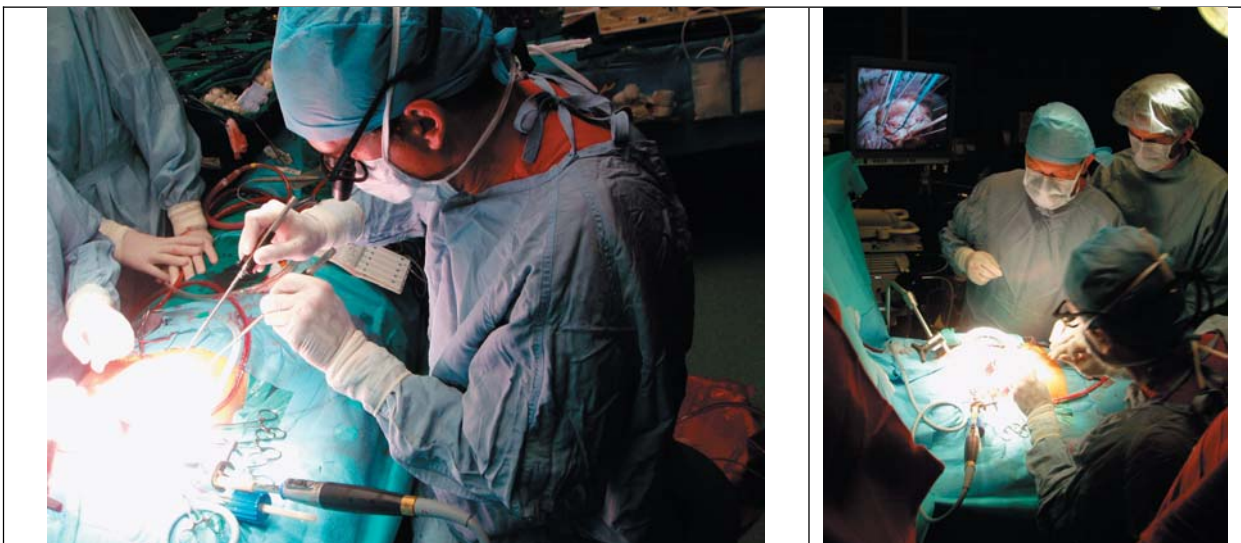
1.5.2. System daVinci[®] (Intuitive Surgery)

Chirurg operujący przy konsoli używa specjalnych joysticków symulujących ruchy nadgarstka i wysokiej klasy systemu wizyjnego, kontrolowanego za pomocą nożnych pedałów i zapewniającego te same pole widzenia, oraz głębię obrazu, co operacja otwarta. Używając konsoli operator siedzi w wygodnej pozycji mając przed oczyma pole operacyjne wyświetlone w systemie trójwymiarowym z dopuszczalnym dziesięciokrotnym powiększeniem. Odpowiednie zobrazowanie przestrzeni roboczej chirurga, jest regulowane za pomocą pedałów, a przejście z zakresu mikro do makro odbywa się na tyle płynnie, że nie ma to wpływu na przebieg operacji. Kamera kontrolowana za pośrednictwem joysticków i pedałów wykonuje następujące komendy: zbliżenie – oddalenie, ruch w górę - w dół, w prawo – w lewo, a nawet obrót.

2. ROBIN HEART SHELL[®] - FUNKCJONALNOŚĆ I KONSTRUKCJA KONSOLI STEROWNICZEJ CHIRURGA OPERATORA

2.1. Od Inspiracji do kreacji

Inspiracją dla powstania konsoli, której nadaliśmy nazwę Robin Heart Shell była jedna z operacji którą obserwowałem w Śląskim Centrum Chorób Serca (rys. 6). Chirurgowie podczas operacji mniej inwazyjnej wykonywanej przez małe otwory w ciele mają do dyspozycji specjalne narzędzia z długą tuleją prowadzącą napęd od uchwytu do końcówki narzędziowej we wnętrzu pacjenta. Na sposób prowadzenia operacji i sprawność wykonywania różnych czynności ma wpływ kształt uchwytu. Generalnie najbardziej popularne są dwa rozwiązania: uchwyt pistoletowy lub uchwyt typu pęseta (więcej rozważań na ten temat może czytelnik znaleźć w drugiej pracy naszego zespołu w tym zbiorze poświęconej nowego typu narzędziom chirurgicznym).



Rys. 6. Chirurg podczas operacji, który stał się inspiracją nowej konsoli. Chirurg operuje przez nieduże nacięcie w powłokach ciała pacjenta, wspomaga obraz pola operacji pokazany na monitorze z pomocą toru endowizyjnego

Obserwowany podczas pracy chirurg trzyma narzędzia uchwycone w dłoni „od góry” dzięki czemu niewielkie przesunięcie palców kieruje precyzyjnie położeniem końcówki narzędzia, zaciśnięcie uchwytu powoduje zaciśnięcie imadełka trzymającego igłę podczas szycia. Ułożenie chirurga jest bardziej podobne do dyrygenta z batutą niż elektronika z lutownicą pistoletową. Łatwiej jest obracać narzędzie w palcach niż obrót wykonywać całą dłonią zaciśniętą na uchwycie. W omawianej pozycji chirurg pracował kilka godzin precyzyjnie wykonując różne elementy operacji: cięcie, przenoszenie, uchwycenie, szycie.

By dojrzeć dokładnie operowany organ (była to operacja naprawcza zastawki mitralnej serca) chirurg posiada okulary z soczewkami (powiększenie 3 razy), dodatkowo obraz powiększony dowolnie znajduje się na ekranie dostarczony za pomocą endoskopowego systemu wizyjnego wprowadzonego w otwór ciała pacjenta. Zadaliśmy sobie zadanie aby skonstruować konsolę robota, który przecież operuje również metodami mniej inwazyjnymi, w sposób zwiększającą ergonomię pracy chirurga ale tak aby uwzględnić doświadczenie oraz pewne naturalne cechy układu chirurg – pacjent.

Pierwsze nasze rozwiązania problemu kontakt człowiek-maszyna, chirurg – robot Robin Heart oparliśmy na spostrzeżeniu, iż główną grupą docelową są chirurdzy operujący popularnymi narzędziami laparoskopowymi z uchwytem pistoletowym. Opracowaliśmy również system doradczy oraz panel sterowania różnymi funkcjami dodatkowymi układu sterowania robotem (rys. 8). System z powodzeniem był stosowany podczas wielu testów laboratoryjnych robota oraz podczas warsztatów chirurgicznych.

Głównym problemem, który w omawianym rozwiązaniu nie był rozwiązany optymalnie było sterowanie położeniem dodatkowych stopni swobody końcówki narzędzia (sama końcówka narzędzia ma 4 stopnie swobody) . Aby uruchomić, w szczególności nienaturalny dla dłoni zakres ruchu narzędzia zastosowaliśmy krążki obrotowe które można było ustawiać wolnymi placami dłoni opartej o uchwyt.



Robin Heart Shell



Rys. 7. Model komputerowy CAD (a) oraz rzeczywisty widok w czasie pracy laboratoryjnej (b) konsoli sterowniczej Robin Heart Shell[®]

Konsola Robin Heart Shell (rys. 7) rozwiązuje zarówno problem ergonomii operowania jaki i optymalizuje położenie wszystkich elementów wpływających na skuteczność pracy chirurga stanowiąc wygodne miejsce pracy. Jej funkcjonalność można ująć następująco:

1. Całość konstrukcji odpowiada naturalnej sytuacji pracy chirurga „we wnętrzu pacjenta” (pamiętajmy że chirurg pracuje „na powiększonym obrazie pola operacyjnego”). Uchwyt sterujący położeniem narzędzia (rys. 7. - (1)) można wygodnie ustawić względem operatora. Chirurg trzyma jakby za końcówkę narzędzia. Punkt stały, przegub obrotowy znajduje się na wysokości głowy operatora.
2. Monitor obserwacyjny (Rys. 7. - (2)) znajduje poniżej, pod niewielkim kątem do poziomu – podobnie jak pole operacyjne podczas operacji chirurgicznej.
3. Chirurg operuje uchwytami nad monitorem równocześnie obserwując efekt – ruch narzędzi.
4. Podnosząc wzrok o niewielki kąt ma przed oczami monitor (Rys. 7. - (3)) umożliwiający obserwację informacji diagnostycznych wykonanych przed operacją, bazy poradczej oraz sygnałów monitorujących stan pacjenta podczas operacji. Konfiguracja monitora dotykowego może być zmieniona bezpośrednio palcem, głosem, pedałem lub innym zadajnikiem ruchu.
5. Pedały (Rys. 7. - (4)) są umieszczone w wygodnej pozycji umożliwiając sterowanie kamery endoskopowej lub odsprzęglając cały układ mechaniczny.

Cechą charakterystyczną konstrukcji jest oparcie jej na naturalnej idei operatora umieszczonego wewnątrz przestrzeni operacji, która została uzyskana przez zawieszenie przegubu obrotowego zadajników ruchu nad głową operatora oraz monitora (2D lub 3D) w części dolnej – swobodnie operator patrzy w dół pod wybranym kątem. Operator przesuwa w wygodne położenie zadajniki ruchu o kształcie przypominającym narzędzie, operuje zadajnikami bezpośrednio nad monitorem co daje wygodną (szczególnie w fazie uczenia) możliwość równoczesnej obserwacji ruchu dłoni z zadajnikiem oraz efektu zadanego ruchu (ruchu narzędzi w polu operacyjnym zobrazowanym na monitorze). Wielu chirurgów wskazywało na kłopoty wynikające z braku możliwości obserwacji zadajnika i pedałów bez utraty kontaktu wzrokowego z polem operacyjnym. Pod monitorem, w dobranej przez chirurga lokalizacji znajdują się pedały do sterowania torem wizyjnym i odsprzęgania układu mechanicznego. Przez otwory naturalne lub dwa, trzy nacięcia (odpowiednio oprawione – troakar) w powłokach ciała pacjenta wprowadzone w pole operacyjne są narzędzia chirurgiczne (nożyczki, kleszczyki, itp.), przez kolejny – wizyjny tor endoskopowy za pomocą którego tworzony jest obraz pola operacyjnego. Można rozważyć też wprowadzenie kolejnej kamery pokazującej obraz z innego ujęcia lub obraz całkowity np. typu panoramicznego. W konsoli zamocowane są minimum dwa monitory: jeden obserwacyjny nad kolanami operatora, drugi wyżej na wprost – monitor techniczny.

Monitor techniczny jest może być podzielony wg uznania operatora na kilka obszarów. Wśród opcji są: panel ustawiania parametrów sterowania (szybkość działania, skala ruchu, poziom odcięcia drżenia itp.), monitoring stanu pacjenta (EKG, Ciśnienie, Pulsoksymetr, Saturacja itp.), program doradczy (inteligentna baza danych obejmująca informacje diagnostyczne pacjenta, historię choroby, plan operacji, modelowanie operacji, zadaną choreografię narzędzi i dobór narzędzi w różnych fazach operacji), okno widoku panoramicznego pola operacji, okno kontaktu z tutorem, ekspertem, doradcą, uczniami via satelita lub Internet. Komputer może być sterowany przez monitor dotykowy lub niektóre opcje sterowane głosem.



Rys. 8. Konsola sterownicza: zadajnik Master robota narzędziowego (po lewej), monitor pola operacyjnego (poniżej), monitor techniczny (powyżej) konfigurowany wg życzenia operatora

Zadajnik ruchu sterowany jest intuicyjnie: ruch w dół oznacza ruch w dół narzędzia w polu operacji itp. Trzymadło w kształcie długopisu lub wygodny, oryginalny uchwyt i podwieszenie dłoni (ze sprężyną równoważącą system mechaniczny zadajnika) pozwala na swobodne poruszanie palcami, które za pomocą zacisków (jak pęseta), przycisków, pokręteł, mikrodźwigni w wygodny, nie zakłócając stabilnemu sterowaniu orientacją narzędzia pozwala sterować znaczną liczbą dodatkowych stopni swobody (ruchów elementów z przegubami typu nadgarstek narzędzia lub funkcji narzędzi – np. automatycznej wybranej sekwencji ruchów dodatkowych funkcji np. automatycznego zszywania tkanek).

Cechami charakterystycznymi konsoli są:

1. naturalna idea „operator w polu operacyjnym”
2. naturalne sterowanie zadajnikami tuż nad monitorem
3. wygodna ażurowa konstrukcja umożliwiająca dopasowanie wszystkich elementów wpływających na ergonomię pracy oraz kontakt z otoczeniem (jeśli konsola znajduje się na sali operacyjnej)
4. układ przekazu informacji umożliwiający w wygodny sposób zarówno kontakt ze światem zewnętrznym, korzystanie on-line z systemu doradczego (efekt pracy bioinżynierów analizujących operację m.in. za pomocą modelowania)
5. specjalny, niespotykany w innych rozwiązaniach system elektro-mechaniczny zadajnika ruchu, który łączy zalety:
 - precyzji orientacji narzędzia,
 - sterowanie wygodnie znaczną liczbą funkcji dodatkowych,
 - wygody umożliwiającej długi czas pracy bez zmęczenia
 - naturalnej pozycji dla pracy chirurga endoskopowego.
6. przegub i cały mechanizm zadajnika zawieszony jest nad głową operatora (w „dachu” konsoli) dzięki czemu, zgodnie z obecnymi standardami cała przestrzeń jest wolna wokół operatora, może być modyfikowana, operator może swobodnie zaprojektować, ustawić zarówno monitory, zadajniki i pedały.

3.WNIOSKI

Konsola jest przeznaczona głównie do prowadzenia operacji chirurgicznych na narządach wewnętrznych miękkich i do asystowania przy prowadzeniu zabiegów wideoskopowych na narządach wewnętrznych. Jednakże można założyć jej zastosowań również do manipulatorów precyzyjnych stosowanych różnych gałęziach przemysłu i nauki.

- [1] Z. Nawrat: Sztuczne serce: Badania sztucznego serca w Polsce Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna 2000. Tom 3. Sztuczne narządy. Red. M. Darowski, T. Orłowski, A. Weryński, J.M. Wójcicki Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT Warszawa 2001 s. 99-128.
- [2] Z. Nawrat: Bioinżynieria i informatyka medyczna a postępy kardiologii – programy ekspertowe, symulacje, protezy i roboty. Biocyb. i Inż. Biomed. 2000. Tom 7 Systemy komputerowe i telemetryczne. EXIT Warszawa 2002 s. 524-542
- [3] Z. Nawrat: Perspectives of computer and robot assisted surgery for heart assist pump implantation. 64th ICB Seminar on Assessment and Mechanical Support of Heart & Lungs to be held in Warsaw, Poland, on November 6th-10th 2001 Wyd.Polska Akademia Nauk, Międzynarodowe Centrum Biocybernetyki, Warszawa 2003, s. 130-150
- [4] Z. Nawrat, Z. Małota, P. Kostka, Z. Religa The polish project of telemanipulator for cardiac minimal invasive surgery with preplanning and advisory system - assumptions and actual state of art of RobIn Heart, Artykuł – Międzynarodowy Zjazd Szczecin 2002 MMAR, Konferencja IEEE., s. 917-922
- [5] Z. Nawrat, L. Podsędkowski, K. Mianowski, P. Kostka, Z. Małota, P. Wróblewski, A. Wróblewska, M. Baczyński, E. Jezierski, Z. Religa, Robin Heart 2003 - aktualny stan realizacji prototypu, konferencja Automation 2003, 2-4.04 Warszawa, Wyd, PIAP ISBN 83-914151-6-3, s. 364-378
- [6] Z. Nawrat: Biomateriały w kardiologii. Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna 2000. Tom 4 Biomateriały. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT Warszawa 2003, s. 529- 583
- [7] Z. Nawrat: Perspectives of computer and robot assisted surgery for heart assist pump implantation. 64th ICB Seminar on Assessment and Mechanical Support of Heart & Lungs, Warsaw, Poland, on November 6th-10th 2001. Wyd.Polska Akademia Nauk, Międzynarodowe Centrum Biocybernetyki, Warszawa 2003, s. 130-150
- [8] Z. Nawrat; L. Podsędkowski; K. Mianowski; P. Kostka; P. Wróblewski; Z. Małota : Robin Heart - Actual project state of polish telemanipulator dedicated for cardiac surgery. - The Journal of Artificial Organs. Vol 26/no.12,2003/pp. 1115-1119

Podziękowania: Projekt robota Robin Heart był finansowany w ramach projektu badawczego KBN 8 T11E 001 18 oraz projektu zamawianego PW-004/ITE/02/2004 oraz przez Fundację Rozwoju Kardiologii i wielu sponsorów z których wymienię tylko Vattenfall i PKO BP SA. Autorzy dziękują wszystkim, którzy przyczynili się do powstania prototypu RH Vision.