

Interfejs mechaniczny użytkownika robota kardiochirurgicznego

Zbigniew Nawrat
Paweł Kostka
Krzysztof Mianowski
Zbigniew Małota
Arkadiusz Kandora

W czasie realizacji polskiego projektu robota RobIn Heart zaprojektowano, wykonano i przetestowano szereg konstrukcji zadajników. Zespół badawczy prowadzi nadal prace nad udoskonalaniem zadajników i tworzeniem nowych innowacyjnych rozwiązań. Użytkownicy RobIn Hearta będą mogli zamówić najwygodniejszy dla siebie i najbardziej adekwatny do zadań interfejs mechaniczny użytkownika.

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

Rozwiązania konstrukcyjne

Układy zadajników do zdalnego wykonywania czynności są podzielone na kategorie, spośród których można wyróżnić:

- układy sterowane ruchami palców (*finger based systems*),
- układy sterowane ruchami całej dłoni (*hand based systems*),
- systemy exoszkieletalne – odwzorowujące strukturę i w różnym stopniu kinematykę ramienia człowieka (*exoskeletal systems*).

Tor przesyłania i przetwarzania informacji

Układ sterowania nadzorujący proces mapowania ruchów dłoni części operatora na ruch ramienia wykonawczego składa się z toru przesyłu i przetwarzania zadanej pozycji/prędkości oraz opcjonalnie toru siłowego sprzężenia zwrotnego (*force feedback*).

Efekt skalowania toru położenia oraz siłowego sprzężenia zwrotnego można przedstawić następującym wzorem:

$$x_S = K_P x_M$$

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).

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 do 5 Hz dla ruchów normalnych, do 10 Hz dla odruchów warunkowych. Na tej podstawie zaprojektowano schemat układu sterowania zawierający układy filtrujące, mające na celu eliminację niepożądanych składowych w torach przesyłania ruchu dłoni oraz efektów siłowych.

Układ uwzględnia również efekt przeskalowania zakresu ruchów przekazywanych do narzędzia wykonawczego (celem zwiększenia precyzji) oraz wzmacniania odczuwania wrażeń siłowych toru *force feedback*.

Zadajniki ruchu

Powstający polski robot kardiochirurgiczny, RobIn Heart (PAR 12/2003 s. 5–11) ma strukturę segmentową umożliwiającą zestawienie sprzętu dla różnych typów operacji. Samodzielny człon stanowi sterowana głosem lub za pomocą zadajnika kamera endowizyjna. W Pracowni Biocybernetyki Fundacji Rozwoju Kardiochirurgii opracowano kilka projektów urządzeń zadających

Dr Zbigniew Nawrat i mgr inż. Arkadiusz Kandora – Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii i Śląska Akademia Medyczna
Dr inż. Paweł Kostka – Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii i Politechnika Śląska

Dr inż. Krzysztof Mianowski – Politechnika Warszawska
Mgr Zbigniew Małota – Fundacja Rozwoju Kardiochirurgii

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].

Telemanipulator służący do wykonywania operacji chirurgicznych ma specyficzne cechy, które są związane z wymaganą dużą precyzją narzędzia (skalowanie, dokładność, powtarzalność), geometrią wiążącą obiekt operacji z zewnętrznym ramieniem robota (stałopunktowość) oraz wymaganiami medycznymi (sterylność części roboczych).



Fot. 1. Rozwiązanie złożone z przedprototypu ramienia robota RobIn Heart oraz kamery endowizyjnej umieszczonej w sferycznym modelu ramienia – przedstawione na Konferencji RoMoCo 2002 [2]

Opierając się na ww. 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.

Układ sterujący powinien wyeliminować efekt ruchów „lustrzanych” (kierunek ruchów narzędzia na zewnątrz ciała pacjenta jest odwrotny do kierunku ruchu końcówek wewnątrz ciała), zapewniając zgodność kierunku ruchów chirurga z ruchami końcówki narzędzia obserwowanymi przez chirurga na monitorze.

Ogólny schemat dwukierunkowej interakcji między chirurgiem a układem telemanipulatora zawiera dwie

pętle sterowania, kontrolowane przez chirurga. Pierwsza część – zadajnik i przetwarzanie, w której ruchy dłoni i inne formy przekazu informacji chirurga są przetwarzane i sterują pozycją ramienia manipulatora. Druga część – dyrygowanie zespołem towarzyszącym, w którym bezpośrednio operator przekazuje asystentom polecenia dotyczące realizacji może mieć elementy wykonawcze oraz tor sprzężenia i oddziaływania zwrotnego.

Obecnie prowadzone są prace równoległe nad trzema typami rozwiązania zagadnienia:

- 1) oparte na komputerze przemysłowym PEP pracującym w systemie czasu rzeczywistego OS9;
- 2) oparte na systemie mikroprocesorów jednoukładowych i sygnałowych (DSP) specjalizowanych do sterowania napędami;
- 3) wykorzystujące układy peryferyjne komputerów 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.

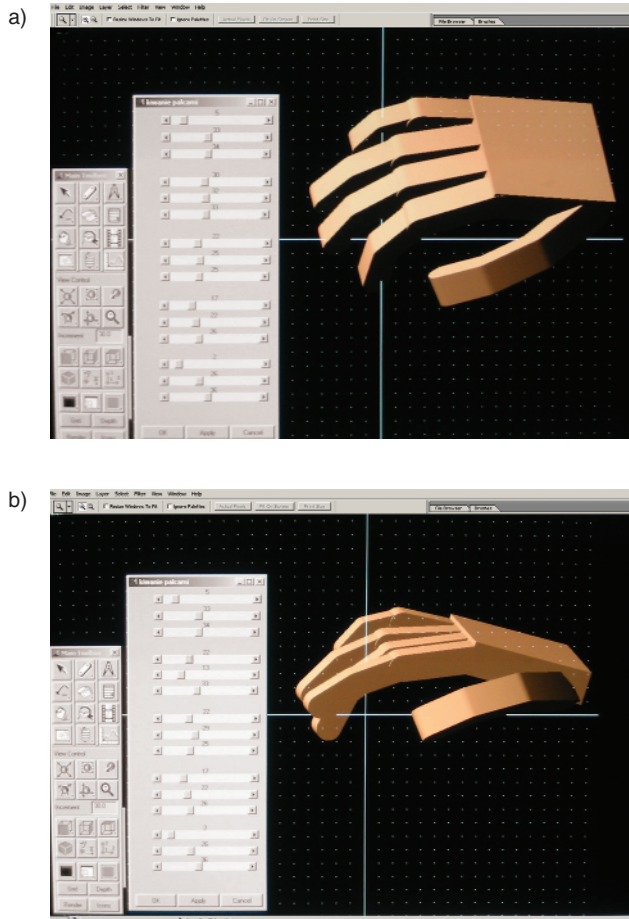
Mechanizmy zadawania ruchu dla telemanipulatorów medycznych

Robot nie musi odzwierciedlać ruchów naturalnych człowieka, ale 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 można wyróżnić dziewięć funkcji chwytanych wytrzymujących różne obciążenia dłoni. 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 ma określony zakres ruchu. Np. z analizy anatomii wynika, że ruchy nadgarstka są możliwe w zakresie od -80° (zgięcie dloniowe) do $+70^\circ$ (uniesienie grzbietowe), zaś w osi prostopadłej od $+20^\circ$ do -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 postawionych przed zespołem badawczym jest optymalne rozwiązanie problemu „dopasowania” RobIn Hearta do możliwości operatora.

Modelowanie dłoni

W ramach projektu podjęto prace studialne mające na celu opracowanie 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 właściwości funkcjonalne urządzenia na styku ręka-zadajnik, opracowano wirtualny model ręki ludzkiej. Model ten pokazano na fot. 2.



Fot. 2. Model wirtualny: widok ogólny i zadawanie zmiany położenia palców suwakami operacyjnymi

Model został 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 paliczków wszystkich palców. Suwaków jest 15. Model pozwala na zadawanie 15 współrzędnych kątowych pozycji w przegubach będących odpowiednikami stawów palców. Na fot. 2b pokazano w jaki sposób zmiana liczby odpowiadającej współrzędnym paliczków 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 właściwości funkcjonalne opracowywanego urządzenia. W ten sposób zostanie opracowany mechanizm o właściwościach 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 będzie można wprowadzić do systemu komputerowego i zweryfikować model z wykorzystaniem danych rzeczywistych. W dalszej kolejności planuje się opracowanie systemu pozwalającego 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.

Operowanie

Zadajniki ruchu są układami elektromechanicznymi, które mają na celu odwzorowanie ruchów wykonywanych przez chirurga w czasie operacji i przekształcenie 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 Śląskiej AM w Zabrze, studentów nauk medycznych, technicznych i fizyki – doświadczenia w celu określenia wpływu ruchomości określonych stawów na wykonanie zadanych czynności chirurgicznych różnymi narzędziami klasycznymi i laparoskopowymi. 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 powłóce 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 zrównoważona.



Fot. 3. Interfejsy użytkownika robota Zeus oraz robota da Vinci

Obecnie stosowane są dwa roboty kardiochirurgiczne Zeus i da Vinci (fot. 3), 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 są wykonywane w sposób naturalny. Po le operacji przedstawione jest na ekranie monitora.

Da Vinci – część ramienia zadajnika 7 DOF jest oparta na mechanizmie czworoboku, zaś sama 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 operację przez specjalny okular.

Wybrane typy 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 jak i efektywności i ergonomii sterowania.

Układy mechaniczne

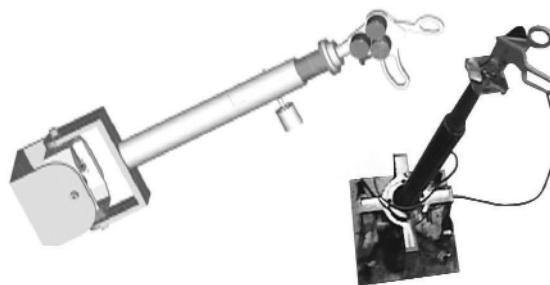
A) Model zadajnika odwzorowujący narzędzia stosowane w tradycyjnej endoskopii

Właściwości:

- odwzorowuje pracę ramienia stałopunktowego, w warunkach pracy po wprowadzeniu narzędzia do portu;
- ma 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;
- 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.

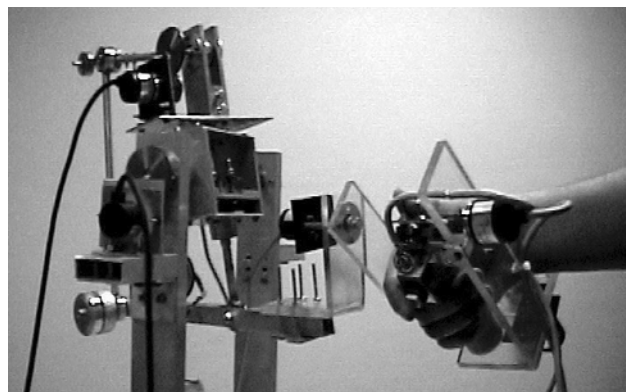
Ponieważ liczba stopni swobody zadajnika umożliwia pracę telemanipulatora w warunkach wprowadzenia narzędzia do portu, w celu naprowadzania całego ramienia do wyznaczonego miejsca portów, w układzie sterowania planowane jest wprowadzenie dodatkowego zadajnika o 3 stopniach swobody (przesuwu X, Y, Z) opartego na pilocie zdalnego sterowania, joysticku przemysłowym (3 stopnie swobody), klawiaturę, mysz z obsługą ruchu w 3 wymiarach (np. z wykorzystaniem rolki przewijającej)



Fot. 4. Zadajnik jako drążek sterowniczy z uchwytem laparoskopowym (patrz również na fot. 6)

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 jakiego ma miejsce przy zadajniku robota Zeus, z tą różnicą że ręka chirurga trzyma rękojeść, w której znajdują się dwa stopnie swobody: zadaniem pierwszego jest wykonywanie ruchu do tyłu narzędziem (dodatkowy stopień swobody), drugi jest odpowiedzialny za wykonanie ruchów uchwycenia i puszczenia (fot. 5). Przedprototyp robota



Fot. 5. Model zadajnika na bazie manipulatora równoległego zadajnik dla typowego laparoskopu

wyposażony w narzędzie z pięcioma DOF, ma dodatkowo 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 jest odpowiedzialny za zablokowanie uzyskanej pozycji w ruchu do tyłu narzędziem, gdy ruch wykonany jest za pomocą pokrętła znajdującego się w rękojeści. Układ ma 7 stopni swobody. Jego zaletą jest zrównoważony, stosunkowo duży zakres ruchu.

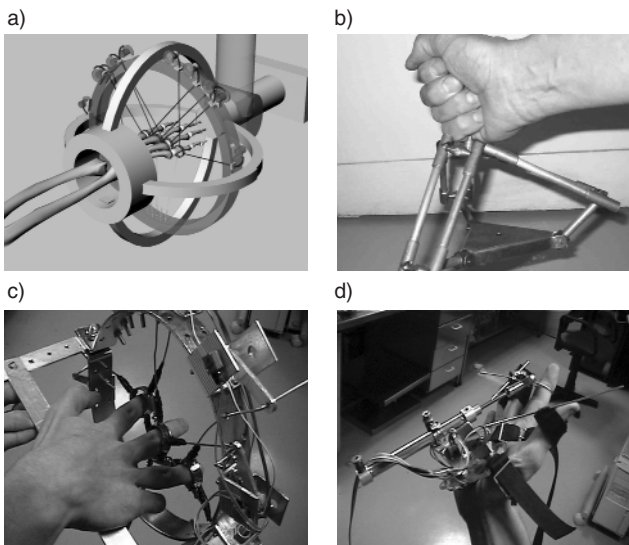
C) Układ zadajnika na bazie manipulatora równoległego

Właściwości:

- 6 podstawowych stopni swobody zapewnia pełne odzwierciedlenie położenia i orientacji w przestrzeni oraz dodane stopnie swobody wprowadzonego uchwyty (fot. 6);
- dodatkowe stopnie swobody w uchwycie rękojeści manipulatorów endoskopii tradycyjnej;
- relatywnie duża przestrzeń robocza, zwartość konstrukcji duża szybkość działania, charakterystyczna dla manipulatorów równoległych;
- czujnik siły + czujniki położenia kąтового do detekcji ruchów manipulatora;
- opcjonalnie system sprzężenia odzwierciedlającego siłę dotyku *force feedback* zbudowany na serwomechanizmach DC.

D) Model linkowy

- palec zawieszony na 2 linkach, przetwarzający ruchy palca na ruch obrotowy potencjometrów (enkodów) (fot. 6);



Rys. 6. 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 siłowym

- nadgarstek umiejscowiony w koszu zawieszonym na ramieniu, umożliwiającym przesuwanie i obrót całej dłoni;
- elektroniczne układy zbierania i przetwarzania informacji;

E) Model: ramię + dłoń

Opracowano konstrukcję naramienną z platformą na dłoń (fot. 5). Zdjęcie prezentuje model – element jednego palca z dwoma enkoderami do detekcji położenia oraz siłownikiem pneumatycznym pracującym jako element wykonawczy sprzężenia siłowego *force feedback*.

Sterowanie

W realizowanym układzie sterowania systemu telemanipulatora kardiochirurgicznego, po przeprowadzonej analizie efektywności różnych rozwiązań, przyjęto sposób sterowania przyrostowy z możliwością odsprzęglania zadajnika od części mechanicznej całego systemu. Właściwość ta umożliwia 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 są prowadzone prace, nad kolejnym etapem realizacji układu sterowania, w którym zostanie zaimplementowany 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.

Wnioski

Do 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 ciągną-popychacze lub wałki na końcówkę chwytłą narzędzia. W wypadku narzędzia laparoskopowego o napędzie elektrycznym zadajnik może być wyposażony w czujniki pomiarowe do przetwarzania ruchów palców, dłoni i rąk lekarza na sygnały zwykle 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. do prowadzenia niezbędnych analiz lub innego wykorzystania.

Opracowanie koncepcji uniwersalnego zadajnika typu *haptic-devices* jest zadaniem bardzo trudnym, gdyż musi być to urządzenie o dużej funkcjonalności, wygodne w użyciu, niekrepujące ruchów operatora, wierne 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 do realizacji projektu prowadzi nadal prace nad udoskonalaniem powstałych zadajników i powstaniem nowych innowacyjnych rozwiązań. Przyszli użytkownicy RobIn Hearta będą mieli możliwość zamówienia najwygodniejszego dla siebie i najbardziej adekwatnego do wykonywanych zadań interfejsu mechanicznego użytkownika. W Fundacji Rozwoju Kardiochirurgii w Zabrze są przygotowywane 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.

Bibliografia

1. Nawrat Z.: Polski robot kardiochirurgiczny; strategia rozwoju prac badawczo-konstrukcyjnych. Sympozjum „Roboty Kardiochirurgiczne 2000” Zabrze, 12 grudnia 2000 r.
2. Nawrat Z., Podsędkowski L., Mianowski K., Wróblewski P., Kostka P., Baczyński M., Małota Z., Granosik G., Jezierski E., Wróblewska A., Religa Z.: 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.: Problemy Biocybernetyki i Inżynierii Biomedycznej, tom 5. Biomechanika. ■

W szeroko pojętej automatyce przemysłowej oraz w systemach pomiarowych urządzenia z interfejsem Ethernet w ciągu ostatnich lat stały się bardzo popularne. Za stosowaniem Ethernetu przemawia popularność jaką cieszy się ten interfejs oraz jego korzystny współczynnik ceny do możliwości. Ethernet zapewnia szerokie pasmo (do 1 GB/s) oraz daje duże możliwości, jeśli chodzi o okablowanie systemu, np. może to być skrętka, światłowód lub sieć bezprzewodowa. Stanowi zatem bardzo wygodny szkielet dla systemów automatyki przemysłowej.

Dużą zaletą systemów pomiarowych z interfejsem Ethernet jest to, że nie narzuca on praktycznie żadnych ograniczeń co do maksymalnej odległości między komputerem a modułem pomiarowym, ponieważ można się z nim skomunikować również przez sieć rozległą. Firma Iotech specjalizująca się w produkcji wysokiej klasy sprzętu pomiarowego również ma w swej ofercie całą gamę urządzeń pomiarowych z interfejsem Ethernet. Są to zarówno systemy do pomiarów rozproszonych i wolnozmiennych oraz szybkie stacje pomiarowe próbujące z szybkością do 1 MHz. Urządzenia pomiarowe z serii PointScan, jak nazwa wskazuje, służą do pomiarów rozproszonych. Moduły wyposażone są w 4, 8 lub 16 wejść analogowych oraz interfejs 10BaseT. Współpracują z szeroką gamą sensorów, takich jak tensometry, czujniki indukcyjne, termorezystory, termoelementy itd. Oferta zawiera ponad 40 modułów pomiarowych o różnej kombinacji wejść/wyjść. Moduły PointScan są przeznaczone do pracy w trudnych warunkach przemysłowych. Mogą pracować w temperaturze od -30 °C do +70 °C, ponadto mają certyfikaty Class I, Div 2 gwarantujące niezawodną pracę na obszarach niebezpiecznych. Dzięki możliwości bezpośredniego włączenia do sieci Ethernet, przetwornik A/C znajduje się blisko czujnika lub badanego procesu. Kable doprowadzające sygnał z czujnika są krótkie, dzięki czemu system nie jest tak podatny na zakłócenia, ponieważ próbkowany sygnał jest przesyłany do komputera w postaci cyfrowej. Ze względu na oczywiste zalety magistrali Ethernet jest ona już stosowana przez większość producentów sprzętu pomiarowego. Przy czym są to zazwyczaj urządzenia do pomiarów rozproszonych i wolnozmiennych. Firma IOtech zrobiła krok naprzód i postanowiła zaimplementować ten popularny interfejs w modułach do pomiarów szybkozmiennych. Komunikacja przez Ethernet z modułem, który próbkuje z częstotliwością 1 MHz wydaje się ryzykownym przedsięwzięciem, jednak przy chłodnej kalkulacji okazuje się, że przepustowość Ethernetu jest w zupełności wystarczająca. WaveBook/516E może