

Grzegorz ILEWICZ, Koło Naukowe Biomechaniki przy Katedrze Mechaniki Stosowanej Politechniki Śląskiej

TECHNICZNO-MEDYCZNE SYSTEMY OPERACYJNE

Streszczenie: W pracy omówiono charakterystykę systemów chirurgicznych ujmując początki rozwoju – działania prekursorów, aż po osiągnięcia dnia dzisiejszego. Przedstawiono zagrożenia związane z ich użytkowaniem w polu operacyjnym oraz charakterystykę systemów typu master-slave wykorzystywanych w operacjach małoinwazyjnych.

1. WSTĘP

Chirurg jest zdolny do wykonywania na polu operacyjnym niezwykle skomplikowanych działań manualnych, obserwacyjnych, interakcyjnych z organizmem pacjenta. Istnieją jednak ograniczenia uniemożliwiające mu wykonywanie określonych procedur chirurgicznych z określoną dokładnością – wynika to z ograniczeń organizmu ludzkiego. Można tu wymienić problem drżenia ręki chirurga wykonującego cięcie tkanki pacjenta czy pogarszającą się kondycję psychofizyczną związaną z wielogodzinnym wysiłkiem często w niewygodnej – nienaturalnej pozycji w stanie wysokiego skupienia nad przebiegiem operacji. Wiele niedogodności udało się wyeliminować „wprowadzając” na salę operacyjną wysokospecjalizowane urządzenia jakimi są roboty chirurgiczne. Nie potrafią one w pełni zastąpić chirurga, sprawdzają się jednak znakomicie we wzajemnej interakcji prowadzącej do eliminacji wad człowieka przy zachowaniu pełnej jego kontroli nad działaniami operacyjnymi.

Tabela 1. Rozwój robotyki w zakresie zastosowań medycznych [1,2].

DATA	NAZWA ROBOTA	PREKURSOROWIE	KRÓTKI OPIS
1985	Puma 260	Kwoch, Young	Pierwszy robot stosowany w operacji neurochirurgicznej.
1989	Neuromate product	Lavallée, Benabid	Zmodyfikowany robot przemysłowy. Ciągłe w użyciu.
1991	PUMA 560	Davies	TURP Elektrosekcja przezcewkowa
1992	ROBODOC	ISS Inc.	Operacja biodra. Ciągłe w użyciu.
1994	Aesop	Computer Motion Inc.	Procedura laparoskopii.
1998	DaVinci	Intuitive Surgical Inc.	CABG - pomostowanie aortalno-wieńcowe
2001	ZEUS (CMI)	Lindberg operation	Tele-operacja New York/Strasbourg

Początkowe próby przeprowadzania operacji z wykorzystaniem robotów datuje się na rok 1985 kiedy to zespół w składzie Kwoch i inni dokonał operacji neurochirurgicznej w asyście robota Puma 260 w Memorial Hospital of Los Angeles. Po wykonaniu 22 operacji eksperyment został przerwany, a robot zakwalifikowany jako niespełniający wymagań medycznych [1,2]. Nie powstrzymało to jednak rozwoju robotyki chirurgicznej.

Obecnie prym na rynku robotyki chirurgicznej wiodą dwie firmy: Computer Motion – twórca robota Zeus oraz Inuitive Surgical twórca robota Da Vinci. Obydwa roboty wykonują procedury kardiochirurgiczne małoinwazyjne (MIS – Micro Invasive Surgery).

Chociaż rynek opanowany jest przez potentatów, badania w zakresie robotyki chirurgicznej prowadzone są w wielu ośrodkach na całym świecie. W wielu przypadkach są to działania zakończone sukcesem, czego przykładem może być polski robot kardiochirurgiczny RobinHeart wykonywany w Fundacji Rozwoju Kardiochirurgii w Zabrze przy współpracy z Politechniką Łódzką i Warszawską [3].

2. NIEZAWODNOŚĆ ROBOTÓW CHIRURGICZNYCH

Bardzo ważnym elementem, jeżeli nie najważniejszym w pracy robota na sali operacyjnej jest pełne bezpieczeństwo pacjenta. Operacja przy użyciu robota chirurgicznego jest obciążona ryzykiem błędu chirurga, bądź błędu powstałego w wyniku nieprawidłowej pracy robota chirurgicznego. Ryzyka nie da się wykluczyć w obu przypadkach. Istnieje ono, a głównym celem jest jego eliminacja lub przynajmniej ograniczenie.

Ryzyko występujące podczas działania robota chirurgicznego możemy sklasyfikować według jego typu na: mechaniczne, chemiczno/biologiczne, termiczne, elektryczne, magnetyczne [2].

Zagrożeń jest bardzo wiele. Odpowiedzenie na pytanie: jakie one są, gdzie ich szukać, gdzie się ich spodziewać, pozwala na zastosowanie zabezpieczeń, przez co niebezpieczeństwo zostaje zminimalizowane.



Rys.1. Przyczyny niebezpiecznych awarii robotów chirurgicznych. Wg [2]

W zastosowaniu do systemów chirurgicznych można wyznaczyć 6 cech odnośnie ich niezawodności. Są to: zabezpieczenie przed nieszczęśliwymi wypadkami, pewność, niezawodność, dyspozycyjność, nienaruszalność, konserwowalność [4].

Waga powyższych stwierdzeń została zauważona nie tylko przez naukowców. Zostały opracowane przepisy prawne regulujące działanie urządzeń medycznych w Europie (Wspólnocie Europejskiej) są to: Certyfikat jakości **ISO 9000** – zmodyfikowany w europejskiej dyrektywie 93/42/CCE (określone przymusy dla urządzeń medycznych) oraz Certyfikat **EN 46000** [4].

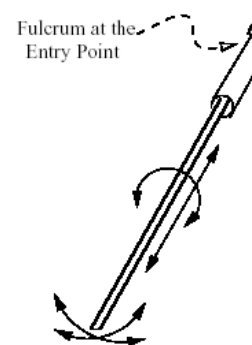
Elementarne reguły przy projektowaniu „bezpiecznego” robota chirurgicznego mają brzmienie: brak niekontrolowanych ruchów robota chirurgicznego, siła dostosowana do tkanki ludzkiej, utrzymywanie narzędzia chirurgicznego w zdefiniowanej przestrzeni roboczej, nadzór chirurga nad wykonywaniem jakichkolwiek ruchów [4].

Ogólnie bezpieczeństwo w pracy robota chirurgicznego może zostać określone przez następujące reguły: nadmierowe zastosowanie urządzeń sensorycznych, zastosowanie samoistnie bezpiecznych elementów; rzetelność w projektowaniu [4].

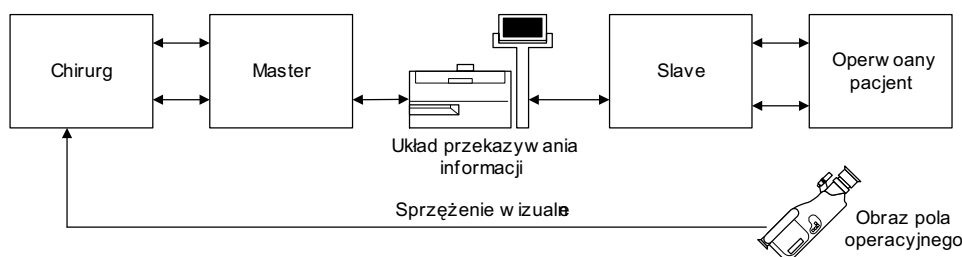
3. SYSTEMY STEROWANIA TYPU MASTER-SLAVE

Tradycyjna operacja chirurgiczna wiąże się z wykonaniem przez chirurga dużych nacięć, aby zapewnić maksymalny dostęp do operowanego organu w organizmie człowieka. Chirurgia MIS (Micro Invasive Surgery) w swej definicji zakłada wykonanie nacięć jak najmniejszych, o rozmiarach umożliwiających wprowadzenie do ciała instrumentarium medycznego i kamery w celu wykonania operacji wewnątrz organizmu człowieka [5]. Zastosowanie techniki MIS przynosi wiele korzyści dla pacjenta jak: zmniejszony uraz, szybszy czas rehabilitacji, mniejsze ryzyko infekcji z powodu ograniczonego nacięcia na ciele, lepszy efekt kosmetyczno-estetyczny (mniejsze blizny)[8]. Niestety technika MIS ma również wady. Z powodu endoskopowej „natury” operacji chirurg nie ma bezpośredniego widoku na pole operacyjne. Nie może również palpować tkanek i organów. Może to prowadzić do patologii, ponieważ wielokrotnie ocena grubości tkanki, jej koloru pozwala wykryć chirurgowi miejsce infekcji czy początki nowotworu. Ponadto ruchy ograniczone są do czterech stopni swobody, a kierunki ruchu są odwrócone, co utrudnia sterowanie narzędziem chirurgicznym [3].

Sposobem eliminacji kilku niedogodności związanych z zastosowaniem techniki MIS jest użycie robotów chirurgicznych. W systemach obecnie stosowanych głównymi elementami systemu są dwa składniki: master (nadrzędny) – pan i slave (podrzędny) – niewolnik. Chirurg siedzący przy konsoli obsługuje zespół dwóch joysticks – kontrolując ruchy „niewolniczego” robota, który wykonuje faktyczną operację.



Rys.2. Liczba stopni swobody Laparoskopu [7]



Rys. 3. Struktura sterowania typu master – slave

W systemach master-slave nie ma bezpośredniego kontaktu między chirurgiem, a pacjentem. Odpowiednie systemy (odległe od chirurga) potrafią wyśledzić powodowany przez niego ruch. Zastosowanie tych systemów pozwala wyeliminować kilka istotnych problemów związanych z tradycyjną operacją MIS. Są to: odpowiednie skalowanie ruchu i wartości sił, wygodna dla chirurga pozycja, eliminacja drżenia rąk, zdefiniowanie ruchu dla określonego regionu.

Projektowanie systemu master - slave polega na poszukiwaniu architektur zapewniających wysoko jakościową reakcję (sprzężenie) dotykową pomiędzy chirurgiem (master), a robotem

(slave). Pomimo, że systemy master-slave są obecnie stosowane z dużym sukcesem, to jednak nadal trwają prace nad ich udoskonaleniem. Chodzi tutaj o wyeliminowanie wady, jaką jest brak reakcji dotykowej między strukturą master, a strukturą slave. Chirurg, który steruje robotem nie jest w stanie wyczuć, co dzieje się wewnątrz pacjenta – opracowanie systemu, który umożliwiłoby mu tego typu odczuwanie byłoby wielkim sukcesem.

4. REAKCJA DOTYKOWA POMIĘDZY STRUKTURAMI MASTER I SLAVE

Stosowane obecnie systemy chirurgiczne oparte o idee master-slave tj Zeus, Da Vinci nie posiadają układu zapewniającego przeniesienie reakcji dotykowej z pola operacyjnego do dłoni chirurga. Wyczuwanie ludzkie jest bardzo złożonym procesem, dlatego wierne przeniesienie odczucia siły, sztywności, rodzaju palpowanej tkanki jest bardzo trudne. Sensowność wprowadzenia sprzężenia dotykowego jest oczywista i potwierdzona badaniami. Wprowadzenie sprzężenia dotykowego przynosi dwie korzyści: zmniejszenie siły działającej na operowaną tkankę – co wiąże się z mniejszym urazem oraz zmniejszenie liczby przypadkowych wtargnięć do wrażliwych struktur tkankowych [6].

LITERATURA

- [1] J. Troccaz, P. Cinquin, P. Berkelman, A. Vilchis-Gonzales, E. Boidard.: Surgical robots at TIMC: where we are and where we go?, Proceedings of the International Symposium of Robotics Research, Siena, 2003
- [2] J. Troccaz.: Introduction to medical robotics, Common problems. School material, Slides www.lirmm.fr/manifs/UEE/school.htm
- [3] Chuchnowska I.: Roboty kardiochirurgiczne – nadzieje i problemy, Zeszyty naukowe katedry mechaniki stosowanej. Zeszyt nr 22 Gliwice 2003
- [4] F. Pierrot.: A Few Guide lines for the Design of Surgical Robot Arms School material, Slides www.lirmm.fr/manifs/UEE/school.htm
- [5] M. Tavakoli, R.V. Patel, M. Moallem.: A Force Reflective Master-Slave System for Minimally Invasive, Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems Las Vegas, Nevada October 2003
- [6] C.Wagner, N. Stylopoulos, R. Howe: Force Feedback in Surgery: Analysis of Blunt Dissection, The Tenth Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, March 24-25, 2002, Orlando
- [7] M. Cavusoglu, I. Villanueva, F. Tendick.: Workspace Analysis of Robotic Manipulators for a Teleoperated Suturing Task, In Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2001), Maui, HI, October 29-November 3, 2001.
- [8] M. C. Cavusoglu, W. Williams, F. Tendick, S. Sastry.: Robotics for Telesurgery: Second Generation Berkeley/UCSF Laparoscopic Telesurgical Workstation and Looking towards the Future Applications, In industrial robot, Special Issue on Medical Robotic, vol 30, No.1, January 2003.

TECH-MEDICAL SURGICAL SYSTEMS

Abstract: In this paper discuss about surgical systems from precursors working to achievement of the present day. This paper discuss also threat connected with surgical systems working in operating area and profile of master-slave systems which are use in micro invasive surgery.