

**Dagmara TEJSZERSKA,** Grzegorz ILEWICZ, Katedra Mechaniki Stosowanej,  
Politechnika Śląska, Gliwice

## STUDIUM CZYNNOŚCI RUCHOWYCH KOŃCÓWKI OPERACYJNEJ TELEMANIPULATORA KARDIOCHIRURGICZNEGO

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono analizę kinematyki torakoskopowej końcówki operacyjnej telemanipulatora kardiochirurgicznego. Zidentyfikowano optymalne wartości prędkości dla ruchów niezwiązanych z interakcją narzędzia i serca. Stosowano różniczkowanie numeryczne z wygładzaniem wielomianowym Savitzkiego-Golaya w celu eliminacji negatywnego wpływu zakłócenia na jego efekt.

### 1. WSTĘP

Dynamiczny rozwój nowoczesnych technik prowadzenia operacji na sercu człowieka odbywa się dzięki synergistycznej współpracy m.in.: lekarzy, biomechaników i mechatroników. Obszar minimalnie inwazyjnej kardiochirurgii jest od wielu lat miejscem wykorzystywania najnowszych osiągnięć szeroko pojmowanej inżynierii w biomedycynie. Istotną rolę w torakoskopowym procesie operacyjnym układu sercowo naczyniowego pełnią zrobotyzowane struktury o budowie teleoperatora. Z ich zastosowaniem przeprowadza się precyzyjne i bezpieczne zabiegi operacyjne o cechach minimalnej urazowości bez stosowania układu sztucznie wspomagającego krążenie ustrojowe. Można tu wspomnieć o przeprowadzanej przy użyciu endoskopowych narzędzi anastomozie aortalno-wieńcowej przeciwdziałającej zabójczym skutkom niedokrwienia mięśnia serca spowodowanego powszechną w Polsce arteriosklerozą.

#### 1.1 Końcówka operacyjna

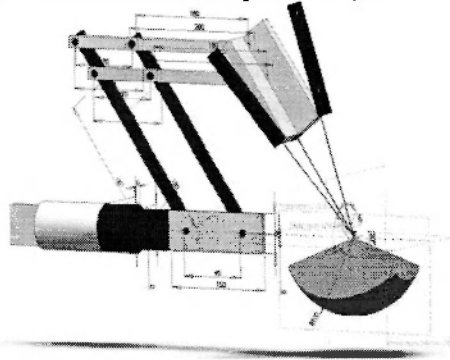
Minimalnie inwazyjna końcówka operacyjna telemanipulatora kardiochirurgicznego jest narzędziem (instrumentem chirurgicznym) o napędzie elektrycznym przeznaczonym do operowania tkanki ludzkiej w szczególności serca. Z uwagi na budowę, niezależnie od przeznaczonego jej zadania chirurgicznego, należy wskazać na charakterystyczną budowę prętową, z którą są związane dwa podstawowe wymiary: średnica i długość. W zależności od wykonywanej procedury torakoskopowej jej zadania można określić jako tożsame klasycznym instrumentom chirurgicznym takim jak: skalpel, igła, przyrząd elektrokoagulacyjny, nożyczki, szczypczyki i inne, z zastrzeżeniem ich działania po przejściu przez niewielki otwór ( $\leq 12$  mm) w klatce piersiowej pacjenta. Wykonywane przez końcówkę operacyjną ruchy sklasyfikowano jako operacyjne i ustawcze względem operowanego serca

### 2. OPIS RUCHU KOŃCÓWKI OPERACYJNEJ

Praktyczna metoda uzyskania stałopunktowości kinematycznej telemanipulatora kardiochirurgicznego polega na zastosowaniu, do pozycjonowania końcówki operacyjnej



względem pozostającego w spoczynku układu współrzędnych (układu bezwzględnego) przyjętego w punkcie stałym S. Takie postępowanie jest możliwe ze względu na występowanie trzech składowych chwilowej prędkości kątowej, znajdującej się w ruchu kulistym na osi 1 (rys.3). Dodatkowo wektor chwilowej prędkości kątowej w ruchu kulistym będzie zawsze znajdował się w płaszczyźnie obracającej się wokół linii działania wektora prędkości kątowej mechanizmu stałopunktowego.



Rys. 2. Parametryczny model wirtualny umożliwiający weryfikację kinematyki końcówki operacyjnej telemanipulatora kardiochirurgicznego

Wobec tego prędkość liniową punktu A końcówki operacyjnej można określić wzorem:

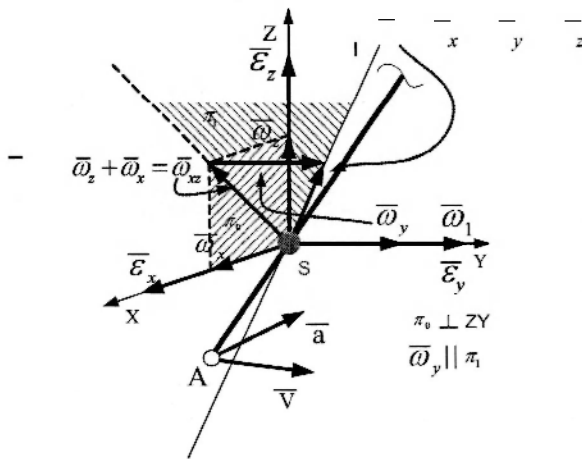
$$v_A = \omega \times r = \begin{vmatrix} i & j & k \\ \omega_x & \omega_y & \omega_z \\ r_x & r_y & r_z \end{vmatrix} \quad (3)$$

Wobec powyższego wartości składowych tego wektora wynoszą:

$$v_{Ax} = \omega_y z - \omega_z y, \quad (4)$$

$$v_{Ay} = \omega_z x - \omega_x z, \quad (5)$$

$$v_{Az} = \omega_x y - \omega_y x. \quad (6)$$



Przyspieszenie bezwzględne punktu A jest określone przez:

$$\begin{aligned} \bar{a}_{BA} &= \bar{\epsilon} \times \bar{r} + \bar{\omega} \times \dot{\bar{r}} = \\ &= \begin{vmatrix} i & j & k \\ \epsilon_x & \epsilon_y & \epsilon_z \\ r_x & r_y & r_z \end{vmatrix} + \\ &+ \begin{vmatrix} i & j & k \\ \omega_x & \omega_y & \omega_z \\ v_x & v_y & v_z \end{vmatrix}. \quad (7) \end{aligned}$$

Rys.3. Ruch kulisty końcówki operacyjnej

Wobec tego wektor posiada składowe o modułach równych:

$$a_{Ax} = \epsilon_y z - \epsilon_z y + \omega_y v_z - \omega_z v_y \quad (8)$$

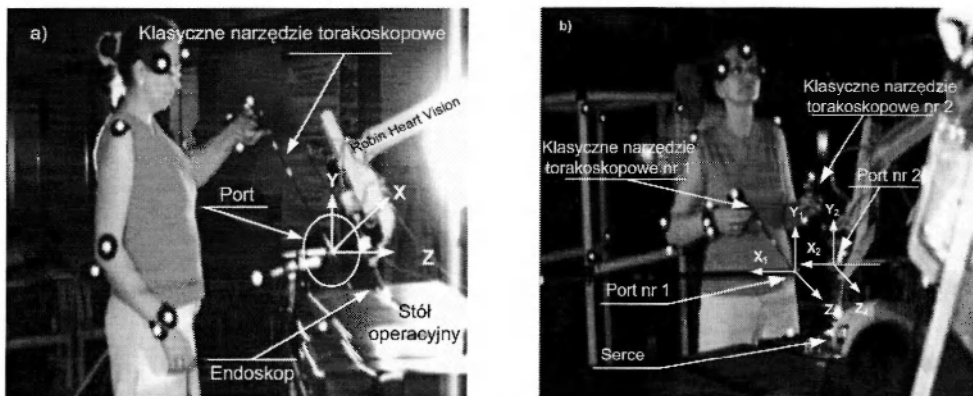
$$a_{Ay} = \varepsilon_z x - \varepsilon_x z + \omega_z v_x - \omega_x v_z \quad (9)$$

$$a_{Az} = \varepsilon_x y - \varepsilon_y x + \omega_x v_y - \omega_y v_x \quad (10)$$

W przypadku gdy ruch kulisty końcówki operacyjnej będzie regularny punkt A będzie wykreślał trajektorię, która będzie okręgiem. W każdym innym przypadku wykreślana trajektoria będzie apeksem.

### 3. IDENTYFIKACJA OPTIMALNYCH WARTOŚCI PRĘDKOŚCI DLA RUCHÓW USTAWCZYCH KOŃCÓWKI OPERACYJNEJ

W obszarze badań empirycznych przeprowadzono analizę czynności ruchowych torakoskopowego instrumentarium operacyjnego pozycjonowanego przez kardiochirurga Śląskiego Centrum Chorób Serca w Zabrze. Obiektem operacji było serce odzwierciedlone (Sus strofa F. Domestica). Otoczenie eksperymentu przygotowane przez ekspertów w dziedzinie medycyny minimalnie inwazyjnej wiernie odwzorowywało rzeczywistą sytuację operacji torakoskopowej. Sygnał pomiarowy przemieszczania się w czasie narzędzi torakoskopowych zarejestrowano przy użyciu systemu optoelektronicznego [2]. Z użyciem metod numerycznych uzyskano wartości bezwzględnych prędkości i przyspieszeń końcówek operacyjnych. W celu eliminacji szumu zakłócającego prawdziwy przebieg rejestrowanego sygnału stosowano procedury wygładzania Savitzkiego-Golaya z użyciem wielomianów ortogonalnych, których współczynniki wyznacza się metodą najmniejszych kwadratów [3].



Rys. 4. Eksperyment wyznaczania parametrów kinematycznych narzędzia torakoskopowego a) przy wyznaczaniu parametrów kinematycznych dla czynności ustawczych końcówki operacyjnej b) podczas czynności manipulacyjnych z tkanką serca

Wielkością, której wartość jest potrzebna jako parametr metody jest „okno” pomiarowe, które stanowi wydzielony przedział pobierania danych pomiarowych w celu ich przetwarzania (przykładowo trzy wartości pomiarowe zarejestrowane w pewnym przedziale czasu). W celu optymalnego doboru „okna” obliczano wartość kryterium Durбина - Watsona (rys.9), które jest miarą korelacji reszt wygładzania.

Na rysunku 5 przedstawiono trajektorię narzędzia torakoskopowego dla czynności ruchowej końcówki operacyjnej określonej przez specjalistów w zakresie torakochirurgii jako ustawczą względem tkanki serca.



układu współrzędnych uzyskany drogą różniczkowania przemieszczenia w czasie obydwoma metodami. Nakładanie się wykresów prędkości świadczy o poprawności różniczkowania numerycznego. Uzyskano również zadowalający efekt redukcji negatywnego wpływu zakłócenia na pomiar. Na rysunkach, 6,8,10 pokazano składowe chwilowej prędkości kątowej końcówki operacyjnej w ruchu kulistym, które z wykorzystaniem formuł kinematyki mogą w prosty sposób posłużyć do określenia wartości zmiennych złączowych mechanizmu stałopunktowego i tym samym przekładają się na parametry ruchu torakoskopowej końcówki operacyjnej, która jest jednym z ogniw mechanizmu stałopunktowego struktury telemanipulatora kardiochirurgicznego.

#### 4. PODSUMOWANIE

W toku analizy sytuacji operacyjnych realizowanych podczas eksperymentu na sercu odzwierzcym uzyskano wartości parametrów kinematycznych dla ruchów ustawczych końcówki operacyjnej telemanipulatora kardiochirurgicznego. Wartości prędkości uzyskano stosując średnią arytmetyczną z wartości bezwzględnej wyników pomiarów podczas analizowanego ruchu dla przedziału czasu, w którym ruch narzędzia torakoskopowego został przez kardiochirurga uznany za unormowany i był kontrolowany przez jego percepcję.

Dla czynności ustawczych po przejściu narzędzia przez port dostępowy (prędkości końcówki przyjęto jak dla czynności operacyjnych związanych z interakcją narzędzia i tkanki - ze względu na bezpieczeństwo operowanego) uzyskano prędkości:  $\omega_1 = 1,3$  [deg/s],  $\omega_2 = 2,75$  [deg/s]. Dla czynności ustawczych, podczas których narzędzie znajduje się poza jamą ciała lub jest z ciała jednoznacznie wyprowadzane:  $\omega_1 = 14,78$  [deg/s],  $\omega_2 = 35,96$  [deg/s].

#### 5. WNIOSKI

Określenie optymalnych parametrów prędkości dla ruchów ustawczych końcówki operacyjnej skutkuje zwiększeniem efektywności i dokładności pozycjonowania narzędzia względem tkanki serca przez co czas operacji i pozostawiania pacjenta w stanie zawsze niekorzystnej dla zdrowia narkozy zostaje skrócony. Ponadto wzrasta bezpieczeństwo użytkowania struktury telemanipulatora podczas ruchów związanych z częstą wymianą końcówek operacyjnych w przebiegu kolejnych etapów zabiegu torakoskopowego.

#### LITERATURA

- [1] Documentation for MathWorks Products. R2010
- [2] Ilewicz G., Michnik R., Jurkojć J., Tejszerska D., Nawrat Z., Śliwka J.. Zastosowanie systemu optycznego do opisu kinematyki narzędzi torakoskopowych w trakcie operacji minimalnie inwazyjnych na sercu – badania pilotażowe. Materiały konferencyjne. IV Sympozjum „Analiza ruchu – teoria i praktyka w zastosowaniach klinicznych”. IPCZD. Warszawa 2009
- [3] Lohninger H. Teach/Me Data Analysis. Springer-Verlag, Berlin -New York - Tokyo, 1999

### **THE MOTIONS STUDY OF THORACOSCOPE TOOL OF CARDIOSURGICAL TELEMANNIPULATOR**

Summary: The analysis of kinematics of thoracoscope tool of cardiosurgical telemanipulator is presented in the paper. The optimal values of velocities for motion that aren't bound up with interaction tool and tissue were identified. The numerical differentiation with Savitzky-Golay smoothing was applied to elimination negative influence of noises for its effect.