

Adrian GORAL

AGH AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA, KATEDRA METROLOGII I ELEKTRONIKI,
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Badanie dokładności pozycjonowania narzędzi w systemach komputerowego wspomaganie chirurgii

Mgr inż. Adrian GORAL

Absolwent kierunku inżynieria biomedyczna w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie (2011). Asystent w Katedrze Metrologii i Elektroniki AGH. Uczestnik studiów doktoranckich w dyscyplinie biocybernetyka i inżynieria biomedyczna na Wydziale Elektrotechniki, Informatyki, Automatyki i Inżynierii Biomedycznej AGH. Przedmiotem jego naukowych zainteresowań są systemy komputerowego wspomaganie chirurgii.



e-mail: adrian.goral@agh.edu.pl

Streszczenie

Jednym z elementów systemu komputerowego wspomaganie chirurgii jest lokalizator, którego zadaniem jest śledzenie położenia narzędzi i operowanych struktur. W badaniach opisanych w pracy po raz pierwszy porównano dwie metody oceny dokładności pozycjonowania końcówki narzędzia, z których pierwsza wykorzystuje obiekt o wzorcowej geometrii a druga maszynę współrzędnościową. Błędy wyznaczone z wykorzystaniem obiektu wzorcowego charakteryzują się znacznie mniejszymi odchyleniami w stosunku do wartości teoretycznych (do 27,8%) od tych uzyskanych na za pomocą maszyny współrzędnościowej (powyżej 36,3%).

Słowa kluczowe: komputerowe wspomaganie chirurgii, lokalizator, ocena dokładności.

Assessment of tool positioning accuracy in computer-assisted surgery systems

Abstract

The aim of this work is to compare two methods for determining the tool tip positioning error in computer-assisted surgery systems which use optically tracked tools. The concept of the first method is to acquire tool tip coordinates indicated by a localizer at 17 sockets of a reference plate (see Fig. 2). The idea of the second one is to measure coordinates of a tool tip while the tool is placed successively into 64 predefined positions by a coordinate measuring machine (CMM). In both methods there is compared the set of the acquired coordinates with the set of the reference coordinates. Since these two sets are expressed in different coordinate systems, there is used the best-fit algorithm to enable direct comparison and further error evaluation. The results obtained by the two methods for two different tool designs (see Fig. 1) were compared with theoretical values of the tip positioning error, calculated based on the arrangement of fiducials and the fiducial localization error (FLE). Using equation (2) there was computed the spatial distribution of the target registration error (TRE, see Fig. 3) and the theoretical tool tip positioning error, as a TRE value at the tip position. The errors determined by the reference plate method are generally closer to theoretical values than the equivalent error values computed in the CMM method (see Tab. 1). However, the plate method turns out to be less repeatable than the CMM method, possibly due to manual tool handling. The CMM method also yields nearly constant deviations from theoretical errors, which makes it possible to propose simple linear correction of the results.

Keywords: computer-assisted surgery, localizer, accuracy assessment.

1. Wstęp

Komputerowe wspomaganie chirurgii polega na odniesieniu bieżącej sytuacji w polu operacyjnym do pewnego wirtualnego modelu operacji. Model ten jest konstruowany w pamięci komputera po to, by system mógł na jego podstawie wygenerować dla lekarza wskazówki przydatne w warunkach ograniczonej widoczności. Model może być zbudowany jednorazowo przed zabiegiem, na przykład na podstawie zobrażeń tomograficznych, lub aktu-

alizowany na bieżąco w czasie jego trwania. Drugi z wymienionych wariantów jest bardziej praktyczny z punktu widzenia chirurga, ponieważ system jest wówczas w stanie uwzględnić zmiany kształtu i położenia operowanych struktur anatomicznych w czasie operacji. Wymaga on jednak zastosowania lokalizatora, czyli specjalnego układu pomiarowego, który może śledzić bieżące położenie najważniejszych struktur.

Niezależnie od konstrukcji i zasady działania, lokalizator powinien spełniać pewne wymagania dotyczące dokładności, ponieważ od niej zależy poprawność wykonania zabiegu. Przyjmuje się, że na potrzeby zastosowań medycznych błąd pozycjonowania obserwowany przez operatora nie powinien przekraczać 1 mm przy pomiarach położenia i 1° przy pomiarach orientacji [1].

Dokładność lokalizatora może być definiowana na różne sposoby a jej prawidłowa ocena jest trudnym zadaniem, ponieważ pomiar położenia i orientacji śledzonego obiektu jest wykonywany w sposób pośredni. Z punktu widzenia zastosowań systemu szczególnie istotna jest dokładność użytkowa. W niniejszej pracy przez dokładność użytkową będziemy rozumieć dokładność pozycjonowania końcówki prowadzonego przez chirurga narzędzia.

Większość metod oceny dokładności użytkowej opisanych w literaturze wykorzystuje wzorcowe obiekty o znanej geometrii [2, 3]. Badanie dokładności polega na pomiarze wzorca za pomocą lokalizatora z wykorzystaniem odpowiednio przystosowanych narzędzi. Wyniki pomiaru są następnie porównywane z wartościami wzorcowymi, wyznaczonymi za pomocą dużo dokładniejszej aparatury.

Celem badań opisanych w dalszej części tej pracy była ocena dwóch metod wyznaczania dokładności użytkowej polegających na porównaniu z wzorcem. Pierwsza z nich wykorzystuje obiekt wzorcowy, natomiast druga polega na pomiarach narzędzia przemieszczanego w uporządkowany sposób za pomocą maszyny współrzędnościowej.

Obydwie metody zastosowano do wyznaczenia dokładności użytkowej prototypowego lokalizatora w dwóch wariantach tej samej konfiguracji pomiarowej. Otrzymane wyniki porównano z teoretyczną dokładnością użytkową wyznaczoną dla badanego systemu. Metoda wykorzystująca obiekt wzorcowy daje rezultaty bardziej zbliżone do teoretycznych (od 0 do 27% różnicy) w porównaniu z metodą w której zastosowano maszynę współrzędnościową (powyżej 38% różnicy)

Dalsza część pracy została podzielona na 5 sekcji. W sekcji 2. znajdują się szczegółowe wiadomości dotyczące sposobu działania lokalizatora i typów błędów pozycjonowania. W sekcji 3. zamieszczono opis porównywanych metod. W sekcji 4. przedstawiono teoretyczne wartości błędów pozycjonowania końcówki obliczone dla używanych narzędzi, które zestawiono z wynikami otrzymanymi eksperymentalnie za pomocą obydwu metod. W sekcji 5. przedyskutowano otrzymane wyniki. Całość została podsumowana w sekcji 6.

2. Działanie lokalizatora i jego błędy

Podstawową funkcją lokalizatora jest określenie współrzędnych pewnego charakterystycznego obiektu, tzw. markera. W czasie operacji markery są nieruchomo przytwierdzone do najważniejszych struktur i narzędzi. Dzięki temu znając położenia markerów system jest w stanie obliczyć położenie śledzonych obiektów.

Położenie markera jest określone przez lokalizator z pewnym błędem. Odległość pomiędzy rzeczywistym punktem położenia markera a punktem o współrzędnych wskazywanych przez lokalizator definiuje się jako błąd lokalizacji markera. (ang. *Fiducial Localization Error*, FLE).

Pojedynczy marker wystarcza do wyznaczenia współrzędnych liniowych śledzonego obiektu. W zastosowaniach, w których oprócz współrzędnych liniowych wymagana jest znajomość także współrzędnych kątowych stosuje się obiekt złożony z kilku nieruchomych względem siebie markerów. Położenia tych markerów są z jednej strony znane w pewnym lokalnym układzie współrzędnych związanym ze śledzonym obiektem, a z drugiej strony mogą być zmierzone w (globalnym) układzie współrzędnych lokalizatora. Dla pierwszego z tych zestawów współrzędnych można znaleźć liniową transformację, która minimalizuje odległości pomiędzy jego punktami a ich odpowiednikami z drugiego zestawu. Parametry tej transformacji jednoznacznie opisują położenie i orientację obiektu w układzie współrzędnych lokalizatora. Do jej znalezienia najczęściej wykorzystuje się algorytm najlepszego dopasowania (ang. *best-fit*) [4].

Miarą niedokładności dopasowania jest tzw. błąd rejestracji markerów (ang. *Fiducial Registration Error*, FRE), definiowany jako odległość pomiędzy odpowiadającymi sobie punktami po dopasowaniu. Do opisu dokładności dopasowania dwóch zbiorów punktów często używa się odległości średniokwadratowej,

$$\langle \text{FRE} \rangle = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2 + \Delta z_i^2)}, \quad (1)$$

gdzie N jest liczbą punktów a Δx_i , Δy_i , Δz_i – różnicami odpowiednich współrzędnych i -tej pary odpowiadających sobie punktów.

Idealne dopasowanie dwóch zestawów współrzędnych za pomocą algorytmu *best-fit* jest nieosiągalne głównie z powodu błędów lokalizatora, dlatego wartość $\langle \text{FRE} \rangle$ można wykorzystać do opisu dokładności badanego systemu. Jeśli jeden z zestawów współrzędnych został zmierzony za pomocą dokładnego narzędzia referencyjnego, a drugi za pomocą testowanego lokalizatora, to wartość $\langle \text{FRE} \rangle$ można potraktować jako błąd lokalizatora.

Obiekty złożone z kilku markerów wykorzystuje się w systemach komputerowego wspomaganie chirurgii do pozycjonowania końcówki narzędzia. Znając położenie i orientację obiektu w globalnym układzie współrzędnych system może obliczyć globalną pozycję dowolnego punktu, którego współrzędne wyrażone są w lokalnym układzie współrzędnych związanym z narzędziem. Obliczenia te zawsze będą obarczone pewnym błędem, tym większym im większy jest błąd rejestracji FRE. Niedokładność tych obliczeń opisuje tzw. błąd rejestracji celu (ang. *Target Registration Error*, TRE). Wartość błędu TRE jest określona w każdym punkcie określonym względem zbioru markerów. W szczególności w położeniach markerów jest ona tożsama z błędem FRE.

Przestrzenny rozkład błędu TRE może być wyznaczony poprzez interpretację zbioru markerów, z których składa się śledzony obiekt jako dyskretnego rozkładu masy o znanych głównych osiach bezwładności [5]. Kwadrat wartości $\langle \text{TRE} \rangle$ w wybranym punkcie $\mathbf{r} = (x_r, y_r, z_r)$ określonym względem markerów wynosi

$$\langle \text{TRE}^2(\mathbf{r}) \rangle = \frac{\langle \text{FLE}^2 \rangle}{N} \left(1 + \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 \frac{d_k^2}{f_k^2} \right), \quad (2)$$

gdzie d_k jest odległością punktu \mathbf{r} od k -tej osi bezwładności a f_k – odległością średniokwadratową markerów od tej osi. Z przedstawionej zależności wynikają pewne wnioski dotyczące projektowania odpowiednio dokładnych narzędzi. W celu osiągnięcia dużej dokładności należy dążyć do minimalizacji składników sumy z wyrażenia (2). Należy więc zachować jak największy rozstaw markerów, w celu maksymalizacji wartości f_k oraz umieścić końcówkę narzędzia blisko centroidu grupy markerów, by zminimalizować odległości d_k . Dokładność narzędzia wzrasta a także wraz ze zwiększaniem liczby markerów wchodzących w skład obiektu. Z praktycznego punktu widzenia zwiększanie

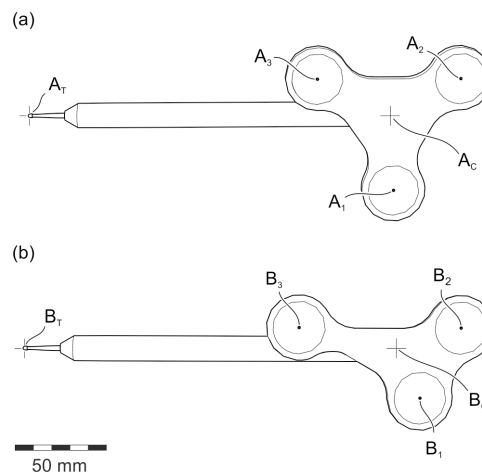
dokładności jest ograniczone przez ergonomię narzędzia. Narzędzie o dużej dokładności nie zawsze może być poręczne.

3. Materiały i metody

Na potrzeby pomiarów błędu pozycjonowania końcówki zaprojektowano i wykonano dwa narzędzia różniące się między sobą rozmieszczeniem markerów (rys. 1). Geometria narzędzi została dobrana w taki sposób, aby odpowiadała wymiarom narzędzi stosowanych w systemach komputerowego wspomaganie chirurgii. Położenie końcówki w lokalnym układzie współrzędnych związanym z narzędziem zostało precyzyjnie zmierzone za pomocą maszyny współrzędnościowej i wprowadzone do ustawień lokalizatora. Dzięki temu system mógł przeliczać położenie i orientację obiektu przytwierdzonego do narzędzia na położenie końcówki w globalnym układzie współrzędnych.

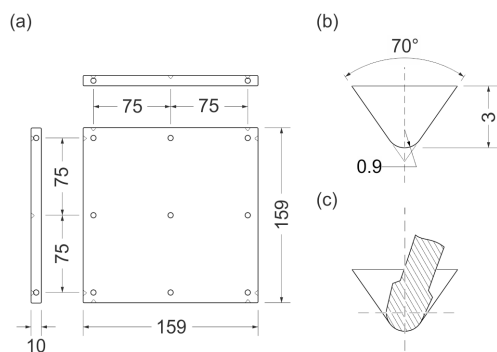
Błąd pozycjonowania końcówki narzędzia zbadano eksperymentalnie dwiema metodami. Pierwsza z nich polegała na zarejestrowaniu zestawu globalnych współrzędnych końcówki narzędzia wskazywanych przez lokalizator w kolejnych zagłębieniach płytki wzorcowej (rys. 2). Dzięki znajomości geometrii płytki ustalono precyzyjnie zestaw współrzędnych referencyjnych. W drugim z testów za pomocą maszyny współrzędnościowej przemieszczano narzędzie do kolejnych punktów położonych w węzłach prostokątnej siatki. W charakterze danych referencyjnych wykorzystano tu współrzędne za pomocą których sterowano położeniem ramienia maszyny.

W obydwu przypadkach błąd pozycjonowania końcówki narzędzi obliczono jako wartość średniokwadratową błędu dopasowania zestawów współrzędnych zmierzonych i referencyjnych. Dopasowanie pomiędzy odpowiednimi zestawami punktów obliczono według algorytmu *best-fit*.



Rys. 1. Narzędzia wykorzystywane w testach dokładności pozycjonowania końcówki: (a) narzędzie A, (b) narzędzie B. Indeksy: 1:3 – markery, T – końcówka narzędzia, C – początek układu współrzędnych narzędzia
Fig. 1. Tools used in procedures of tip positioning accuracy assessment: (a) tool A, (b) tool B. Indexes: 1:3 – markers, T – tool tip, C – origin of tool coordinate system

Aby było możliwe obliczenie teoretycznego rozkładu błędu TRE dla obydwu narzędzi, należało wyznaczyć błąd pozycjonowania pojedynczego markera. Zastosowano w tym celu standardową procedurę wykorzystującą maszynę współrzędnościową, podobną do drugiej z opisanych metod wyznaczenia błędu pozycjonowania końcówki, z tą różnicą, że rejestrowano położenie pojedynczego markera. Błąd pozycjonowania markera obliczono również jako błąd średniokwadratowy dopasowania zmierzonych punktów do danych referencyjnych. Jako dane referencyjne wykorzystano współrzędne, za pomocą których sterowano położeniem markera.



Rys. 2. Płytkę referencyjną wykorzystaną w pierwszym z testów dla narzędzi: (a) wymiary i sposób rozmieszczenia zagłębień, (b) przekrój zagłębienia, (c) ułożenie końcówki narzędzia w zagłębieniu – punkt obrotu narzędzia znajduje się zawsze we wspólnym środku krzywizny końcówki i zagłębienia. Wymiary liniowe podano w milimetrach

Fig. 2. Reference plate used in the first test for tools: (a) dimensions of the plate and arrangement of sockets, (b) profile of the socket, (c) coupling of the tip and socket allowing only for rotation around a fixed point placed in their common center of curvature. All linear dimensions are given in millimeters

4. Wyniki

Wartość średniokwadratowa błędu pozycjonowania pojedynczego markera obliczona na podstawie wyników pomiarów opisanych w poprzedniej sekcji wynosi 1,08 mm. Podstawiając tę wartość do wyrażenia (2) wyznaczono przestrzenny rozkład błędu TRE dla obydwu zaprojektowanych narzędzi. W szczególności obliczono wartość błędu TRE w punkcie położenia końcówki narzędzia, tożsamą z teoretycznym błędem pozycjonowania końcówki. Otrzymane teoretyczne wartości błędu użytkowego dla badanych konfiguracji markerów to 2,95 mm i 2,85 mm, odpowiednio dla narzędzi A i B. Teoretyczny rozkład błędu TRE w płaszczyźnie, w której znajduje się końcówka narzędzia przedstawiono na Rys. 3 w postaci izolinii odpowiadających wybranym wartościom błędu pozycjonowania.

Otrzymane teoretyczne wartości błędów zestawiono z odpowiadającymi im wartościami otrzymanymi eksperymentalnie za pomocą dwóch opisanych metod dla dwóch konfiguracji markerów. Wyniki tego zestawienia zawiera tabela 1.

Tab. 1. Wartość błędu pozycjonowania końcówki dla narzędzi A i B wyznaczona w dwóch eksperymentach: za pomocą płytki referencyjnej ($\langle \varepsilon_P \rangle$) i pomiarów na maszynie współrzędnościowej ($\langle \varepsilon_{CMM} \rangle$). Wartość teoretyczna błędu ($\langle \varepsilon_T \rangle$) została obliczona na podstawie rozmieszczenia markerów i błędu pozycjonowania pojedynczego markera. Bezzględne wartości błędów podano w milimetrach. Procentowe odchylenia zmierzonych wartości podane w nawiasach obliczono względem wartości teoretycznych

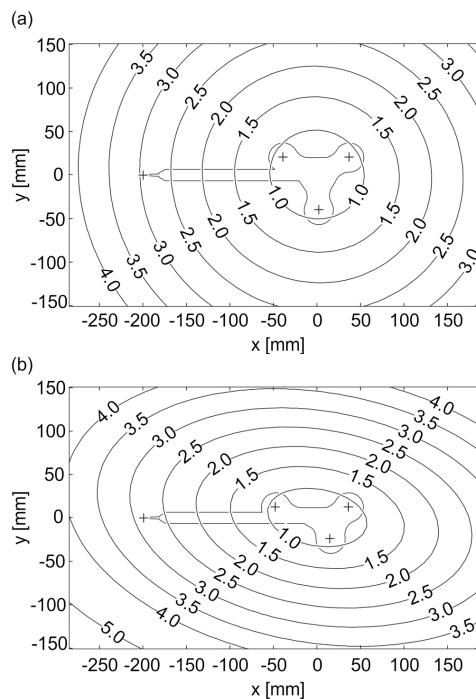
Tab. 1. The tip positioning error determined for tools A and B in two experiments: using reference plate ($\langle \varepsilon_P \rangle$) and coordinate measuring machine ($\langle \varepsilon_{CMM} \rangle$). The theoretical error ($\langle \varepsilon_T \rangle$) was determined based on marker distribution and marker positioning error. The absolute values of errors are given in millimeters. The percentage deviations given in brackets are calculated relative to theoretical values

	Seria	Narzędzie A	Narzędzie B
$\langle \varepsilon_P \rangle$	1	3,77 (+27,8%)	2,85 (0,0%)
	2	3,26 (+10,5%)	2,76 (-3,2%)
	3	3,09 (+4,8%)	2,50 (-12,3%)
$\langle \varepsilon_{CMM} \rangle$	1	1,82 (-38,3%)	1,76 (-38,3%)
	2	1,88 (-36,3%)	1,73 (-39,3%)
	3	1,85 (-37,3%)	1,64 (-42,4%)
$\langle \varepsilon_T \rangle$		2,95	2,85

5. Dyskusja wyników

Otrzymane wyniki pokazują, że niezależnie od zastosowanej metody oceny dokładności, wartości błędów obserwowane w przypadku narzędzia A są zawsze wyższe niż w przypadku narzędzia B.

Zatem, jeśli chodzi o rozróżnienie pomiędzy bardziej i mniej dokładnym narzędziem, wyniki eksperymentu są zgodne z przewidywaniami na podstawie teoretycznego rozkładu błędu TRE.



Rys. 3. Izolinie teoretycznego rozkładu błędu TRE wyznaczone dla danego rozmieszczenia markerów i błędu pozycjonowania pojedynczego markera FLE: (a) narzędzie A, (b) narzędzie B. Izolinie wykreślono dla płaszczyzny w której znajduje się końcówka narzędzia, równoległej do płaszczyzny, w której położone są markery. Na rysunkach zaznaczono obrys narzędzi oraz położenia markerów i końcówki (+). Wartości błędów podano w milimetrach

Fig. 3. Isocontours of the theoretical TRE distribution determined for given arrangement of markers and for given FLE: (a) tool A, (b) tool B. The isocontours are drawn for the plane containing the tool tip, parallel to the plane containing markers. The diagrams include contours of the tools and positions of their markers and tip (+). The error values are given in millimeters

Bezwzględne wartości błędów wyznaczone za pomocą porównywanych metod w większości przypadków odbiegają od wartości teoretycznych. Dla metody wykorzystującej płytkę wzorcową odchylenia są jednak znacznie mniejsze niż w przypadku testu wykonywanego na maszynie współrzędnościowej.

Z rezultatów otrzymanych w kolejnych próbach serii pomiarów metodą wykorzystującą płytkę wzorcową wynika także, że charakteryzuje się ona małą powtarzalnością. Dużą rozbieżność wyników otrzymanych metodą wykorzystującą płytkę można wytłumaczyć tym, że pomiary wykonywano ręcznie, więc wyznaczone błędy zależały w pewnym stopniu od wprawy w posługiwaniu się narzędziami.

Wyniki uzyskane za pomocą metody z maszyną współrzędnościową są znacznie bardziej powtarzalne niż w przypadku metody wykorzystującej płytkę wzorcową. Jest to możliwe dlatego, że w każdej serii testów narzędzie było przemieszczane dokładnie w ten sam sposób, bez zmiany orientacji. Charakterystyczne dla wyników otrzymanych za pomocą maszyny współrzędnościowej jest także to, że dla obydwu narzędzi procentowe odchylenia od wartości teoretycznej błędu są do siebie zbliżone (zawierają się w przedziale od -36,3% do -42,4%). Możliwe jest zatem zaproponowanie prostego sposobu wprowadzania korekty do wyników otrzymanyh tą metodą.

6. Podsumowanie

W pracy zaprezentowano porównanie dwóch metod oceny dokładności użytkowej prototypowego lokalizatora śledzącego poło-

zenie narzędzi o geometrii typowej dla systemów komputerowego wspomagania chirurgii. Obie metody polegały na wykonaniu za pomocą lokalizatora pomiarów położenia końcówki w dokładnie zdefiniowanych punktach przestrzeni a następnie porównaniu otrzymanych wyników z danymi referencyjnymi. Precyzyjne położenie końcówki w kolejnych punktach pomiarowych osiągnięto w pierwszym przypadku za pomocą płytki testowej z odpowiednio wyprofilowanymi zagłębieniami. W drugiej metodzie wykorzystano maszynę współrzędnościową, za pomocą której precyzyjnie przemieszczano badane narzędzia.

Otrzymane wyniki pokazują, że obie metody posiadają pewne cechy, które są pożądane w przypadku procedur do badania systemów pozycjonowania przestrzennego. Metoda wykorzystująca płytkę referencyjną daje wyniki zbliżone do teoretycznych i nie wymaga zastosowania specjalistycznych narzędzi pomiarowych. Metoda, w której narzędzie jest przemieszczane za pomocą maszyny współrzędnościowej daje natomiast bardzo powtarzalne wyniki.

Porównywane metody mają też jednak pewne wady. Wyniki otrzymane na podstawie pomiarów płytki charakteryzują się małą powtarzalnością, ponieważ pomiar jest za każdym razem wykonywany w nieco inny sposób, zależny od operatora. Wyniki uzyskane drugą metodą są natomiast znacznie zaniżone w stosunku do wartości teoretycznych.

Zaletą metody wykorzystującej płytkę referencyjną jest to, że nie wymaga ona zastosowania precyzyjnej aparatury takiej jak maszyna współrzędnościowa. Po opracowaniu odpowiednich procedur oceny wyników metoda ta może być przydatna w roli

prostego testu weryfikującego poprawność funkcjonowania lokalizatora, pozwalając na stwierdzenie, czy występują usterki wymagające dokładniejszego zbadania. Metoda ta może być też zastosowana do porównania dokładności dwóch narzędzi w przypadku, kiedy nie jest znane dokładne rozmieszczenie markerów lub dokładna wartość błędu FLE, a więc nie jest możliwe obliczenie błędu pozycjonowania końcówki z zależności (2).

7. Literatura

- [1] Philips R.: The accuracy of surgical navigation for orthopaedic surgery. *Current Orthopaedics*, vol. 21 pp. 180-192, 2007.
- [2] Frantz D.D., Wiles A.D., Leis S.E., Kirsch S.R.: Accuracy assessment protocols for electromagnetic tracking systems. *Physics in Medicine and Biology*, vol. 48, pp. 2241-2251, 2003.
- [3] Kazanides P., Chang J., Iordachita J., Li J., King C., Fichtinger G.: Development of an image-guided robot for small animal research. *Computer Aided Surgery*, vol. 12 pp. 357-365, 2007.
- [4] Horn B.K.: Closed-form solution of absolute orientation using unit quaternions. *Journal of the Optical Society of America A*, vol. 4 pp. 629-642, 1987.
- [5] Fitzpatrick J.M., West J.B., Maurer C.R.: Predicting Error in Rigid-Body Point Based Registration. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 17 pp. 694-702, 1998.

otrzymano / received: 20.12.2012

przyjęto do druku / accepted: 01.02.2013

artykuł recenzowany / revised paper

INFORMACJE

Informacje dla Autorów

Redakcja przyjmuje do publikacji tylko prace oryginalne, nie publikowane wcześniej w innych czasopismach. Redakcja nie zwraca materiałów nie zamówionych oraz zastrzega sobie prawo redagowania i skracania tekstów oraz streszczeń.

Artykuły naukowe publikowane w czasopiśmie PAK są formatowane jednolicie zgodnie z ustaloną formatką zamieszczoną na stronie redakcyjnej www.pak.info.pl. Dlatego artykuły przekazywane redakcji należy przygotowywać w edytorze Microsoft Word 2003 (w formacie DOC) z zachowaniem:

- wielkości czcionek,
- odstępów między wierszami tekstu,
- odstępów przed i po rysunkach, wzorach i tabelach,
- oznaczeń we wzorach, tabelach i na rysunkach zgodnych z oznaczeniami w tekście,
- układu poszczególnych elementów na stronie.

Osobno należy przygotować w pliku w formacie DOC notki biograficzne autorów o objętości nie przekraczającej 450 znaków, zawierające podstawowe dane charakteryzujące działalność naukową, tytuły naukowe i zawodowe, miejsce pracy i zajmowane stanowiska, informacje o uprawianej dziedzinie, adres e-mail oraz aktualne zdjęcie autora o rozmiarze 3,8 x 2,7 cm zapisane w skali odcieni szarości lub dołączone w osobnym pliku (w formacie TIF).

Wszystkie materiały:

- artykuł (w formacie DOC),
- notki biograficzne autorów (w formacie DOC),
- zdjęcia i rysunki (w formacie TIF lub CDR),

prosimy przysłać w formie plików oraz dodatkowo jako wydruki na białym papierze (lub w formacie PDF) na adres e-mail: wydawnictwo@pak.info.pl lub pocztą zwykłą, na adres: Redakcja Czasopisma Pomiar Automatyka Kontrola, Asystent Redaktora Naczelnego mgr Agnieszka Skórkowska, ul. Akademicka 10, p.21A, 44-100 Gliwice.

Wszystkie artykuły naukowe są dopuszczane do publikacji w czasopiśmie PAK po otrzymaniu pozytywnej recenzji. Autorzy materiałów nadesłanych do publikacji są odpowiedzialni za przestrzeganie prawa autorskiego. Zarówno treść pracy, jak i wykorzystane w niej ilustracje oraz tabele powinny stanowić dorobek własny Autora lub muszą być opisane zgodnie z zasadami cytowania, z powołaniem się na źródło cytatu.

Przedrukowywanie materiałów lub ich fragmentów wymaga pisemnej zgody redakcji. Redakcja ma prawo do korzystania z utworu, rozporządzania nim i udostępniania dowolną techniką, w tym też elektroniczną oraz ma prawo do rozpowszechniania go dowolnymi kanałami dystrybucyjnymi.