

Weryfikacja ergonomii obiektów z użyciem biomechanicznego modelu dłoni z uszkodzeniami palców

Ergonomic verification of utensils by means of a biomechanical model of human hand with injured fingers

DOI: 10.17814/mechanik.2016.4.48

Artykuł z XIII Forum Inżynierskiego ProCAx 2015

MICHAŁ SZMAJDUCH*

Opisano proces przygotowania uniwersalnego narzędzia w postaci parametrycznego biomechanicznego modelu ludzkiej dłoni, które posłuży do weryfikacji ergonomii obiektów na etapie projektowania lub adaptacji do indywidualnego przypadku. Przedstawiono poszczególne fazy tworzenia tego modelu oraz weryfikowania ergonomii obiektów z jego użyciem. **SŁOWA KLUCZOWE:** projektowanie ergonomiczne, inżynieria odwrotna, biomechanika, modelowanie haptyczne

*This article describes the process of developing a biomechanical model of human hand performing as a universal tool to verify the ergonomics of the objects to be handled or to adapt these to an individual case at the design stage. The article describes consequent development stages of the parametric model and its application to the ergonomics verification process. **KEYWORDS:** ergonomic design, reverse engineering, biomechanics, haptic modeling*

W projektowaniu obiektów znajdujących się w bliskim otoczeniu człowieka istotne jest kryterium ergonomiczności. Projektowanie ergonomiczne jest bardzo wymagające i wiąże się z dopasowaniem tworzonego obiektu do cech fizycznych człowieka [1]. Informacje na temat człowieka projektant może pozyskać z atlasów antropometrycznych, od specjalistów (np. fizjologów antropologów, lekarzy) oraz bezpośrednio z pomiarów ludzkiego ciała [2].

Przedmiotem zainteresowań autora niniejszego artykułu są obiekty współpracujące z ludzką dłonią, które poprzez dobre dopasowanie kształtu powinny zapewniać pewny i wygodny chwyt. Ewentualne przyciski znajdujące się na tych obiektach muszą być rozmieszczone w taki sposób, aby ich użycie nie wymagało zmian ułożenia ręki. Ponadto ważna jest możliwość użytkowania tych obiektów przez różne osoby (o odmiennych cechach fizycznych), w tym osoby niepełnosprawne.

Zgodnie z konwencjonalnym podejściem do procesu projektowania najpierw wykonuje się prototyp, który następnie jest weryfikowany przez przyłożenie do niego dłoni – jednej lub wielu, co jednak wiąże się z koniecznością zaangażowania dużej grupy osób (weryfikatorów). Zaisiłała więc konieczność zmiany tradycyjnego podejścia. Aby usprawnić proces projektowania ergonomicznego, należało opracować nowe narzędzie (metodę szybkiego modelowania różnych ludzkich dłoni), które pozwoliłoby na ograniczenie liczby osób będących biernymi uczestnikami tego procesu lub przynajmniej na skrócenie czasu ich zaangażowania. To narzędzie powinno zapewniać wierne odwzorowywanie kształtu ludzkiej dłoni w pro-

jektowaniu nowych obiektów lub adaptacji istniejących obiektów do indywidualnych przypadków. Ostatecznie stworzono parametryczny model ludzkiej dłoni umożliwiający symulowanie dowolnej kombinacji proporcji, gabarytów i ułożenia ręki.

Opracowanie parametrycznego modelu ludzkiej dłoni

Przygotowanie modelu parametrycznego rozpoczęto od wybrania osoby o typowych proporcjach różnych części dłoni (wymiały charakterystyczne wynosiły ok. 50. centyla). Po przeprowadzeniu digitalizacji prawej dłoni tej osoby stworzono model wzorcowy, który w przyszłości będzie parametryzowany i dostosowywany do indywidualnych przypadków.

■ **Skanowanie ludzkiej dłoni.** W porównaniu ze skanowaniem obiektów technicznych skanowanie części ciała człowieka jest znacznie trudniejsze, zwłaszcza że trudno jest utrzymać rękę nieruchomo podczas całego procesu [3]. Aby rozwiązać ten problem, przygotowano przyrząd pomocniczy – specjalną podtrzymkę, która pozwoliła na znaczne ograniczenie przemieszczania się ręki w obszarze roboczym skanera i jej drgań podczas skanowania. Dzięki zastosowaniu podtrzymki możliwe było zeskanowanie dłoni w jednym położeniu ze wszystkich stron, co wyeliminowało konieczność składania modelu z kilku odrębnych skanów.

■ **Obróbka modelu w środowiskach CAx.** W wyniku skanowania otrzymano model w postaci chmury punktów. Poddano go obróbce w środowisku MicroScan Tools, a następnie wyeksportowano do systemu modelowania wokselowego ClayTools. To oprogramowanie jest obsługiwane głównie za pomocą haptycznego ramienia modelowego, co znacznie ułatwia i przyspiesza cały proces [4]. Na modelu wyznaczono krzywe, które posłużyły do utworzenia powierzchni jego podziału na poszczególne ruchome części ręki.

Modele części ruchomych zaimportowano do środowiska CATIA v5. W modelach tych zaznaczono środki obrotu stawów i określono cechy umożliwiające nadanie odpowiednich więzów złożeniowych. Po nałożeniu więzów nastąpiło przypisanie odpowiednich parametrów wszystkim wymiarom i kątom charakterystycznym. Stawy międzypalczkowe są stawami zawiasowymi, które mogą realizować ruch tylko w jednej płaszczyźnie [5]. Stawy śródrečno-palczkowe są co prawda kuliste, lecz przyjęto uproszczenie, że wykonują ruchy w dwóch płaszczyznach [6].

Zastosowanie parametrów skali umożliwiło dopasowywanie modelu do indywidualnych proporcji dłoni. Wszystkie istotne parametry zestawiono w tablicy projektowej

* Mgr inż. Michał Szmajduch (michal.szmajduch@polsl.pl) – Politechnika Śląska

zapisywanej do zewnętrznego pliku (np. *.x/sx), co przekłada się na większą uniwersalność opisywanego narzędzia. Do edytowania tablicy projektowej nie jest wymagane środowisko CATIA, zatem istnieje możliwość zebrania odpowiednich danych i przesłania ich – z dowolnego miejsca – projektantowi prowadzącemu symulację i korzystającemu z modelu parametrycznego.

Symulowanie indywidualnych przypadków

Przed rozpoczęciem modelowania wybranego przypadku należy zebrać niezbędne dane od osoby, której dłoń ma być przedmiotem symulacji. Jak już wspomniano, model obejmuje wiele edytowalnych parametrów opisujących cechy geometryczne i ruchomość dłoni. Wynika to z faktu, że ręce różnych ludzi mogą się znacząco różnić. W związku z tym podstawowym źródłem danych dotyczących konkretnego przypadku są zdjęcia dłoni (wykonane z góry i z dołu). Dostarczają one informacji o ogólnej postaci dłoni, w tym o widocznych uszkodzeniach (np. palców). Kolejne niezbędne dane to charakterystyczne wymiary (długości i szerokości palców, odległości punktów charakterystycznych itd.), a także kątowne zakresy ruchu poszczególnych stawów.

Komplet wymaganych danych wprowadza się do tablicy projektowej. Może ona zawierać zestawy danych dla różnych badanych przypadków. Kolejnym krokiem jest wczytanie do systemu CATIA v5 konkretnego przypadku z tablicy projektowej. Na tym etapie model nie wymaga żadnej dodatkowej obróbki i jest gotowy do zastosowania w procesie weryfikacji ergonomii obiektów. W celu poprawienia jakości powierzchni można ponownie zaimportować model do środowiska modelowania woksłowego i wygładzić go np. w okolicach zgięcia stawów. Tak przygotowany model pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Symulacja uszkodzenia ręki

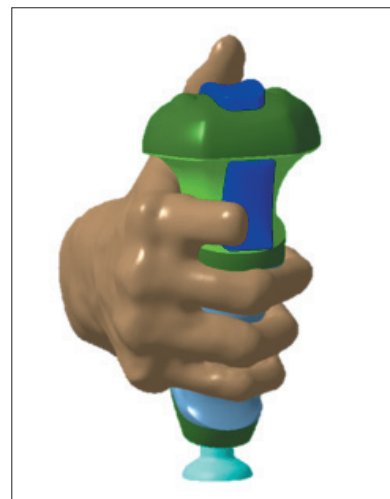
Weryfikacja ergonomii obiektów

Gdy dysponuje się narzędziem umożliwiającym symulowanie ułożenia dowolnej ludzkiej dłoni, ergonomię danego obiektu można zweryfikować w środowisku wirtualnym, a więc jeszcze na etapie projektu – bez konieczności wytworzenia fizycznego prototypu. Wymaga to jednak stworzenia modelu badanego obiektu. W zależności od przeznaczenia projektowanego przedmiotu do jego weryfikacji potrzeba jednego lub kilku modeli dłoni.

Jeśli projektuje się obiekt spersonalizowany, dopasowany do konkretnej osoby, wystarczy model jednej dłoni (rys. 2). Jeżeli natomiast weryfikuje się ergonomię obiektu ogólnego zastosowania lub przeznaczonego dla

określonej grupy ludzi, wtedy potrzebne są modele dłoni kilku przedstawicieli danej populacji. Wskazane jest wykorzystanie modeli o skrajnych wymiarach gabarytowych (największych i najmniejszych) oraz uwzględniających typowe ograniczenia ruchowe stawów osób z tej populacji.

Kolejnym etapem jest dopasowanie ułożenia modelu (lub wielu modeli) dłoni na modelu analizowanego przedmiotu przez dobór odpowiednich wartości parametrów kątowych opisujących położenia poszczególnych stawów. W celu uzyskania najlepszej powierzchni dopasowany model można zapisać jako całościowy (w formie siatki trójkątów) i wyeksportować do środowiska ClayTools. Poprzez modelowanie woksłowe wygładza się model i poprawia jego postaciowe niedokładności.



Rys. 2. Weryfikacja ergonomii obiektu z wykorzystaniem modelu uszkodzonej ręki (jako narzędzia)

Ostatnią fazą procesu weryfikacji jest ocena ergonomii badanego przedmiotu. Polega ona na wizualnym określeniu możliwości osiągnięcia poszczególnymi palcami do miejsc roboczych (np. przycisków, wyźłobień, przetłoczeń). Ponadto ocenie podlega dopasowanie kształtu obiektu do różnych części dłoni.

Podsumowanie

Podstawową zaletą opracowanego narzędzia służącego do wstępnej weryfikacji ergonomii obiektów na etapie projektowania jest możliwość przeprowadzenia tej weryfikacji bez fizycznej obecności osób, dla których te obiekty są projektowane. Model parametryczny pozwala zaoszczędzić czas w sytuacji, gdy zachodzi potrzeba wykorzystania modelu czyjejś ręki w procesie projektowania. W takim przypadku nie ma konieczności przeprowadzania całego procesu inżynierii odwrotnej.

LITERATURA

- McCormick E. „Antropotechnika”. Warszawa: Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 1964.
- Tytek E. „Projektowanie ergonomiczne”. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2001.
- Wyleżoł M. „Metodyka modelowania na potrzeby inżynierii rekonstrukcyjnej”. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2013.
- Wyleżoł M. „Zastosowanie metod haptycznych w modelowaniu i analizach inżynierskich – przykłady”. *Mechanik*. R. 82, nr 11 (2009): s. 948.
- Praca zbiorowa pod red. D. Tejszerskiej, E. Świtońskiego, M. Gzika. „Biomechanika narządu ruchu człowieka”. Gliwice: Wydawnictwo Naukowe Instytutu Technologii Eksploatacji Państwowego Instytutu Badawczego, 2011.
- Gilroy A., MacPherson B., Ross L. „Gilroy – Atlas anatomii człowieka”. Wrocław: Medpharm, 2010.