

I Krajowa Konferencja Naukowa
Szybkie prototypowanie
Modelowanie - Wytwarzanie - Pomiary
 Rzeszów - Pstrągowa, 16 - 18 września 2015



Organizatorzy:



CENTRUM NAUKOWO TECHNICZNE

KLASTER SZYBKIEGO PROTOTYPOWANIA
RAPIDROM

Inżynieria odwrotna i szybkie prototypowanie w wytwarzaniu indywidualnych ortez

Patient specific orthoses using Reverse Engineering and Rapid Prototyping

PIOTR DUDEK
 HALINA NIECIAĞ
 KRZYSZTOF ZAGÓRSKI*

DOI:10.17814/mechanik.2015.12.555

Współczesne urządzenia protetyczne projektowane są w taki sposób, aby w szeregu kilku typów rozmiarów były dopasowane do wszystkich możliwych pacjentów, a tym samym niestety nie zapewniają odpowiedniego indywidualnego komfortu i funkcjonalności. Dzięki wykorzystaniu metod inżynierii odwrotnej i szybkiego prototypowania możliwe jest aby poszczególne ortozy dostosować do indywidualnego pacjenta i jego choroby, zapewniając jednocześnie odpowiednie nowoczesne wzornictwo. Współczesne skomputeryzowane techniki wytwarzania ortez dla indywidualnego pacjenta mogą zapewnić odpowiedni komfort użytkownika jak również pozwolić na zmianę wzornictwa dla każdego pacjenta sposobnie do jego wymagań.

W artykule przedstawiono kluczowe punkty i narzędzia softwarowe w procesie projektowania indywidualnych ortez przy wykorzystaniu specyficznych technologii, takich jak skanowanie 3D, inżynieria odwrotna i drukowanie 3D.

SŁOWA KLUCZOWE: inżynieria odwrotna, szybkie prototypowanie, ortozy.

Orthotic devices are currently designed to fit a range of patients and therefore they do not provide individualized comfort and function. Using RP methods it is possible to make individual orthosis devices tailored to the individual patient and the disease also characterized by the modern design. A computerized technique for fabricating patient-specific orthotic devices has the potential to provide excellent comfort and allow for changes in the standard design to meet the specific needs of each patient. Reverse engineering methods are combined with rapid prototyping to create

patient-specific orthoses. A novel process was engineered to utilize patient-specific surface data of the patient anatomy as a digital input, manipulate the surface data to an optimal form using CAD software, processing also for modern looking and check strength and then processing in rapid prototyping machine for fabrication.

The article describes the utilization of rapid prototyping (RP), 3D scanning and software tools for the orthosis design process. This study shows the key points of the design and manufacturing methodology. The approach uses specific technologies, such as 3D digitizing, reverse engineering and polygonal-surface software, SLS RP and 3D printing

KEYWORDS: Reverse Engineering, Rapid prototyping, orthoses.

Wstęp

Inżynieria odwrotna (ang. ReverseEngineering, RE) to wg. definicji proces odkrywania technologicznych zasad działania urządzenia, obiektu lub systemu poprzez analizę jego struktury, funkcji oraz działania oraz stworzenie jego/ich reprezentacji w innej postaci (np. model cyfrowy, CAD) [1]. Technologia ta jest używana najczęściej w celu przeprojektowania systemu dla zapewnienia odpowiedniego działania czy prac konserwacyjnych lub też wykonania jego kopii bez dostępu do projektu, według którego był on wykonany. W obszarze biodelowania dane o kształcie i położeniu obiektów pozyskiwane są najczęściej za pomocą tomografii komputerowej (ang. Computer Tomography, CT)[2, 3]. Bazując na takich danych geometrycznych wyodrębnionych ze skanu CT możliwe jest zbudowanie modelu 3D odpowiednich struktur anatomicznych. Innymi metodami pozyskiwania danych geometrycznych są technologie skanowania 3D, czy to za pomocą skanerów laserowych, skanerów światła strukturalnego, fotogrametrii i innych. Pozwalają one na

*dr inż. Piotr Dudek (pdudek@agh.edu.pl),
 dr inż. Halina Nieciağ (hnieciag@agh.edu.pl),
 dr inż. Krzysztof Zagórski (zagkrzys@agh.edu.pl)

dokładne odtworzenie cyfrowej postaci badanego obiektu. Technologie te znajdują również coraz częstsze zastosowanie w obszarze medycyny (np. tworzenie indywidualnych implantów, stomatologii, itp.) jak również możliwe jest użycie ich w celu zaprojektowania indywidualnych ortez czy protez, które następnie mogą zostać wykonane za pomocą technologii szybkiego prototypowania (ang. Rapid Prototyping). W artykule przedstawiony jest proces przygotowywania takich ortez, umożliwiający zindywidualizowanie takich urządzeń.

Wykorzystanie w medycynie

Ortezy są urządzeniami medycznymi, stosowanymi na zewnątrz ciała ludzkiego, wykorzystywanymi do modyfikowania właściwości strukturalnych i funkcjonalnych układu szkieletowego i nerwowo-mięśniowego. Stabilizują staw, czyli unieruchamiają lub ograniczają jego ruchomość, odciążają mięśnie, więzadła i stawy, korygują ustawienie stawów, np. stopy czy kręgosłupa, a także zmniejszają obrzęki pourazowe. Mogą zapewnić utrzymanie odpowiedniej temperatury uszkodzonego miejsca, jak również działając profilaktycznie, mogą zabezpieczać fragmenty ciała przed ponownymi urazami

Należy zwrócić uwagę, że można je zastosować zamiast gipsu, co pozwala na rozpoczęcie wcześniej rehabilitacji, są lżejsze, wygodniejsze, dając większą swobodę funkcjonowania pacjentowi jak również pozwalają na utrzymanie higieny chorego miejsca.

Niestety urządzenia te projektowane są w kilku typowych rozmiarach, które muszą być użyte dla wszystkich przypadków, co może powodować problemy z dopasowaniem tych urządzeń do konkretnego przypadku.

Cel pracy

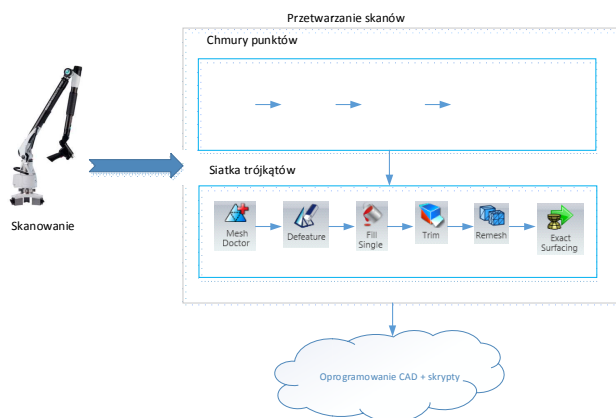
Celem, jaki postawiono pracy było opracowanie procesu projektowania fragmentów ortez, umożliwiające ich indywidualne dostosowanie do cech fizycznych pacjenta, zapewniających odpowiedni komfort, jak również posiadających odpowiednie walory wizualne i estetyczne. We współczesnych rozwiązaniach medycznych ortez, czy protez zwraca się coraz częściej uwagę nie tylko na ich odpowiednie działanie, ale również na ich nowoczesny, estetyczny wygląd. Dlatego też w ramach prac wstępnych zdecydowano się na wytworzenie prototypu ortozy wspomagającej leczenie zapalenia ścięgna dłoni.

Zbieranie danych i wstępne przetwarzanie danych

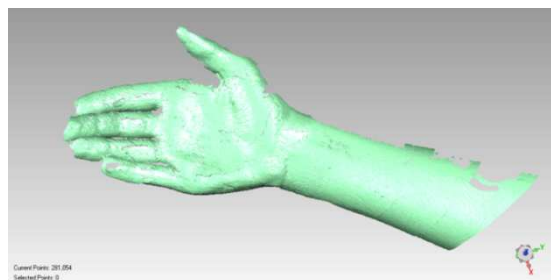
Do skanowania fragmentu ręki, służącej później do opracowania indywidualnej ortozy wykorzystano ramię pomiarowe Romer ze zintegrowaną głowicą laserową. Należy tu zwrócić uwagę, że dokładność takiego urządzenia wielokrotnie przewyższa wymagania i w powiązaniu z dość wolnym procesem skanowania powoduje liczne problemy. W tym przypadku lepszym rozwiązaniem byłoby wykorzystanie np. wielokrotnie tańszych urządzeń zapewniających rozdzielczość i dokładność na poziomie ok. 1mm, np. opartych na Microsoft Kinect czy Cubify Sense, jednakże wykorzystane urządzenie umożliwia w przyszłości zapewnienie większej dokładności, jeżeli będzie to wymagane.

Przy użyciu ramienia pomiarowego do skanowania należało w odpowiednim oprogramowaniu oczyścić chmury z szumów, następnie fragmenty skanów odpowiednio połączyć ze sobą, a później kolejny raz przeprowadzić odszumianie (rys. 1, rys. 2). Proces czyszczenia,

wygładzania oraz uzupełniania ubytków powierzchni należy powtórzyć po wygenerowaniu siatki trójkątów opisujących tą chmurę punktów. Tak przygotowana powierzchnia oczywiście nie jest dokładnym odwzwierciedleniem zebranych danych, jednakże drobne odchyłki w większości przypadków nie mają żadnego wpływu na komfort i właściwości lecznicze wytworzonej ortozy, natomiast zmniejszone krzywizny powierzchni znacząco wpływają na zmniejszenie złożoności procesu dalszego przetwarzania danych.

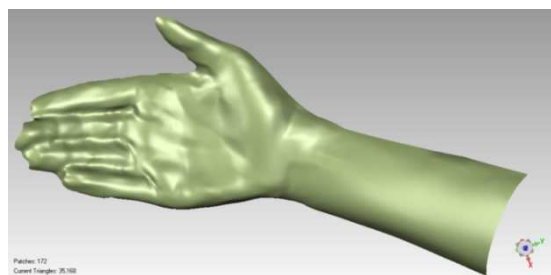


Rys.1. Proces wstępnego przetwarzania danych



Rys.2. Skan ręki po wstępnym oczyszczeniu chmury punktów

Część tej pracy jest wykonywana ręcznie, użytkownik musi w interakcji z oprogramowaniem przeprowadzić odpowiednie prace związane z przetwarzaniem chmur punktów, jednakże możliwe jest opracowanie skryptów, które pozwolą znacząco odciążyć od tych prac. W tym przypadku tylko wstępne usunięcie artefaktów, niepożądanych fragmentów chmur i złożenie ich razem wymagać będzie interakcji z użytkownikiem, natomiast pozostałe prace mogą zostać wykonane automatycznie. Końcowym etapem wstępnego przetwarzania danych jest wygenerowanie powierzchni typu NURBS, która następnie może zostać użyta przez oprogramowanie typu CAD do zaprojektowania odpowiedniej ortozy (rys. 3).



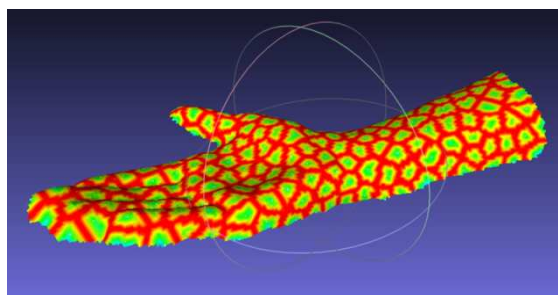
Rys.3. Model powierzchniowy zeskanowanej ręki

Przetwarzanie danych

Tak pozyskana powierzchnia może zostać użyta do zaprojektowania dedykowanego dla konkretnego pacjenta

urządzenia. Dodatkowo możliwe jest dostosowanie wyglądu danej ortozy do wymagań użytkownika końcowego.

W tym celu zostało wykorzystane oprogramowanie CAD (CATIA) do opracowania odpowiedniego projektu ortozy. Natomiast oprogramowanie Rhinoceros 3D jest wykorzystane do modyfikacji powierzchni NURBS lub chmur punktów, aby odpowiedni je dostosować do wymagań końcowych klienta. W tym celu zastosowano odpowiednie przetwarzanie algorytmiczne (AAD – ang. Algorithms-Aided Design), służące do panelizacji, nakładania wzorów czy też skomplikowanej modyfikacji zeskanowanej powierzchni w celu odpowiedniej zmiany struktury powierzchni. Oprogramowanie Grasshopper pozwala na zmianę kształtu powierzchni w zależności od wprowadzonego algorytmu przetwarzania danych[5, 6]. W tym przypadku zeskanowane dane były kolejno przetwarzane w oprogramowaniu CAD, następnie w Meshlab i Rhino/Grasshopper(Rys. 4).



Rys.4. Utworzenie powierzchni z siatką typu Voronoi w oprogramowaniu Meshlab

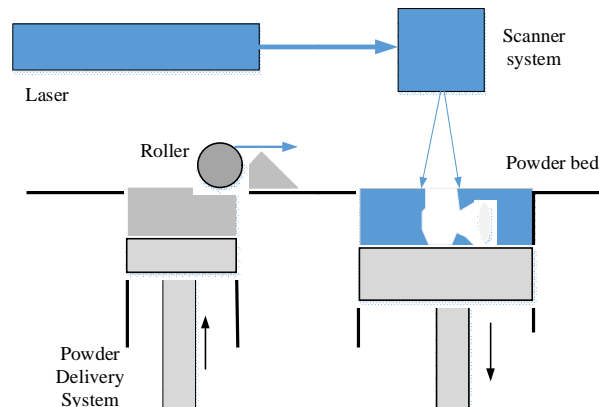
Wytwarzanie ortez

Fragment urządzenia medycznego został wykonany na drukarce 3D Formiga P100 firmy EOS GmbH przy wykorzystaniu materiału P2200 (poliamid PA12). Ta technologia druku pozwala w jednym cyklu produkcyjnym na wyprodukowanie szeregu elementów dostosowanych do wymagań użytkowników końcowych. Technologia selektywnego spiekania laserowego polega na wytwarzaniu wyrobów poprzez zestalanie materiałów w postaci proszku, warstwa po warstwie, które następuje dzięki oddziaływaniu wiązki laserowej na powierzchnię proszku.

W tej technologii model przestrzenny przedmiotu zostaje wczytany przez odpowiednie oprogramowanie komputerowe, po czym następuje podział modelu na warstwy i wygenerowanie programu sterującego pracą urządzenia. Na warstwę proszku o grubości 0,1mm rozprowadzoną na powierzchni bazowej, kierowany jest promień laserowy zgodnie z przekrojem danej warstwy. Energia promienia lasera powoduje, że pojedyncze ziarna proszku spiekają się ze sobą tworząc warstwę litego materiału.

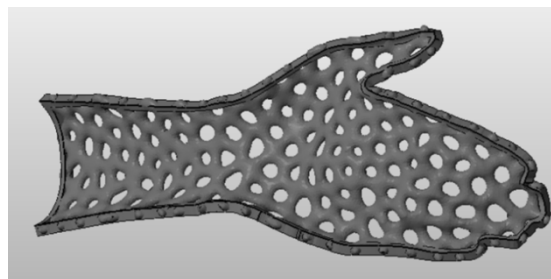
Przy budowie kolejnych przekrojów przedmiotu energia promienia laserowego doprowadza do połączenia się ziaren tej warstwy ze sobą oraz z warstwą poprzednią, spełniającą dla niej rolę podłoża. Proces ten jest powtarzany do momentu zbudowania całego przedmiotu, przy czym po spieczeniu każdej warstwy następuje obniżenie platformy roboczej o grubość budowanego przekroju i rozprowadzenie na niej nowej warstwy proszku budulcowego (Rys. 5). Dla tej metody czas budowy elementów zależy od powierzchni wytwarzanych elementów oraz wysokości platformy, do jakiej będzie przebiegał proces drukowania. Dodatkowo do czasu wytwarzania elementów należy doliczyć czas schładzania komory roboczej, zwykle równy czasowi spiekania. Dlatego też, z ekonomicznego punktu widzenia,

ważne jest odpowiednie planowanie wydruków dla tej metody.



Rys.5. Druk przestrzenny metodą SLS

Otrzymane przedmioty(Rys. 6) poddaje się obróbkę wykończeniową, głównie w celu usunięcia niespieczonych resztek proszku. Elementy spiekane mogą być także obrabiane elektroerozyjnie, skrawaniem, szlifowaniem, pokrywane powłoką galwanizacyjną.



Rys.6. Wstępny projekt fragmentu ortozy zmodyfikowanej przez Rhino 3D + Grasshopper+ CATIA.

Podsumowanie

W artykule został przedstawiony wstępnie proces przetwarzania zeskanowanych 3D danych w celu wytworzenia elementów ortozy. Zastosowanie inżynierii odwrotnej w połączeniu z technologiami szybkiego prototypowania pozwala na opracowanie i szybkie wytworzenie indywidualnej ortozy, dostosowanej do cech anatomicznych konkretnego pacjenta. Dodatkowo możliwe jest również dostosowanie ortozy pod względem estetycznym do wymagań pacjenta.

LITERATURA

1. Pham D.T., Hieu L. C. , Reverse Engineering Application and Methods. In: Reverse Engineering: An Industrial Perspective by Vinesh Raja. Springer-Verlag, London Ltd
2. Tadeusiewicz R., Śmietański J., Pozyskiwanie obrazów medycznych oraz ich przetwarzanie, analiza, automatyczne rozpoznawanie i diagnostyczna interpretacja. Wydawnictwo – Drukarnia Ekodruk S.C. 2011
3. DICOM standard: <http://medical.nema.org>
4. Toshew Y.E., Hieu L.C., Stefanova L.P., Tosheva E.Y., Zlatov N.B., Dimov St., Reverse Engineering and Rapid Prototyping for New Orthotic Devices. Intelligent Production Machines and Systems. Elsevier 2005.
5. Khabazi Z., Generative Algorithms with Grasshopper version 2.0, <http://www.grasshopper3d.com/page/tutorials-1>
6. Tedeschi A., AAD- Algorithms-Aided Design. Parametric Strategies Using Grasshopper. Le Penseur Publisher, 2014