

Wybrane zagadnienia modelowania danych w postaci chmury punktów na przykładzie nadwozia samochodu Mikrus MR-300

Some issues of the point clouds modeling by the exemplary Mikrus MR-300 car body

SŁAWOMIR MIECHOWICZ
MIECZYŚLAW PŁOCICA*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.2.13

Artykuł z XIII Forum Inżynierskiego ProCAx 2015

Omówiono wybrane zagadnienia i problemy związane z modelowaniem powierzchni swobodnych na podstawie chmury punktów uzyskanej ze skanowania przestrzennego. Wskazano, jakie warunki powinny spełniać dane wejściowe, aby uzyskać pożądany efekt.

SŁOWA KLUCZOWE: inżynieria odwrotna, skanowanie 3D, chmura punktów

The article discusses some problems associated with modeling of the free access surfaces with reference to the point clouds obtained by 3D scanning. Pointed out are the conditions to be met by the input data to achieve the desired result.

KEYWORDS: reverse engineering, 3D scanning, point clouds

Techniki inżynierii odwrotnej są coraz powszechniej stosowane do pozyskiwania danych geometrycznych o obiektach fizycznych, zarówno w branży mechanicznej, jak i medycynie, archeologii czy muzealnictwie [2, 5, 6]. Dokładna znajomość topografii powierzchni jest podstawą m.in. do oceny zużycia elementów maszyn [4], rekonstrukcji ubytków tkanek [2, 6], a także do tworzenia wirtualnych paszportów zabytków czy monitorowania stabilności budowli. Każdy obiekt fizyczny przeniesiony w postaci modelu do przestrzeni cyfrowej może być wykorzystany na wiele sposobów [3, 7].

Zbieranie informacji o geometrii w postaci chmury punktów wiąże się z koniecznością zapewnienia właściwych (ze względu na przeznaczenie obiektu) warunków pobierania i zapisu danych, ponieważ ich spójność i jakość warunkują przydatność tworzonego modelu. Wśród technik gromadzenia danych w postaci chmury punktów najbardziej powszechne jest skanowanie optyczne. Jego zastosowanie w miejsce klasycznych technik pomiarowych ma uzasadnienie zwłaszcza w przypadku złożonych geometrii zawierających powierzchnie swobodne.

Przedmiot prac – nadwozie pojazdu

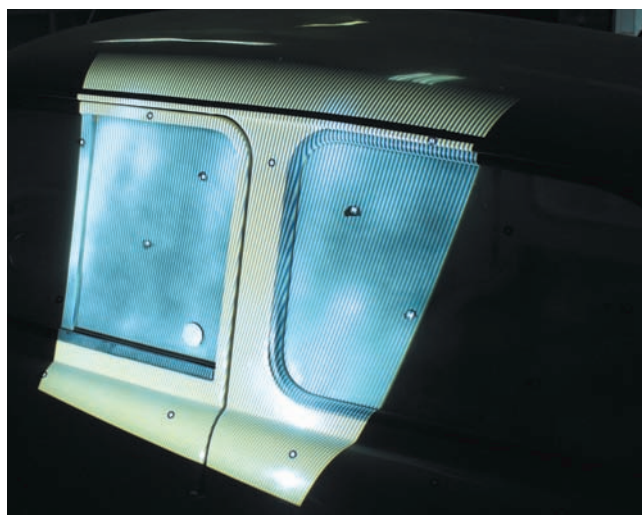
Nadwozie samochodu Mikrus MR-300 w oryginalnym procesie zostało ukształtowane na podstawie mastermodelu wykonanego ręcznie z drewna. Finalnie uzyskane powierzchnie nie mają standardowych krzywizn, łatwych do opisanego matematycznie, poza szczegółami pełniącymi funkcje techniczne, takimi jak: przetłoczenia do osadzenia szyb, ramki drzwi i zaokrąglenia słupków drzwiowych. Dokumentacja techniczna nadwozia powstała metodą lotniczą – z istniejącego mastermodelu zdjęto profile, na podstawie których opracowano dokumentację matryc i tłoczników [1]. Aby dokładnie odwzorować geometrię w sposób klasyczny, należałoby powtórzyć ten proces, opierając się na istniejącym nadwoziu, ze świadomością czasochłonności i znacznego skomplikowania tej metody. Zastosowanie skanowania przestrzennego upraszcza proces pobierania danych, dodatkowo umożliwiając ich swobodną obróbkę w środowisku programowym.

Do skanowania wybrano egzemplarz pojazdu znajdujący się w zbiorach Muzeum Techniki NOT, z uwagi na bardzo dobry stan jego zachowania i brak przeróbek nadwozia. Obiekt przygotowano w sposób standardowy – naklejono markery ułatwiające łączenie chmur punktów oraz pokryto proszkiem kredowym elementy odbijające światło i przezroczyste, które są nieczytelne dla skanera (rys. 1).



Rys. 1. Mikrus MR-300 (eksponat Muzeum Techniki NOT) przygotowany do skanowania

Aby zebrać kompletne informacje o bryle nadwozia, wykonano kilkanaście skanów, które połączono ze sobą w programie. Na rys. 2 pokazano obszar skanowany z jednego ustawienia. Należy zwrócić uwagę, że z miejsc zacienionych (obszar nad rynienką dachu oraz na granicy ramki drzwi i słupka B) informacje o geometrii nie zostały pobrane, w związku z czym przewidziano uzupełnienie powstałych nieciągłości w programie do obróbki chmury punktów (rys. 3).



Rys. 2. Obszar skanowany z jednego ustawienia

* Dr hab. inż. Sławomir Miechowicz (smiechow@prz.edu.pl), dr inż. Mieczysław Płocica (mplocica@prz.edu.pl) – Politechnika Rzeszowska

Analiza chmury punktów i obróbka danych

Środowisko programowe zawiera funkcję łączenia pozyskanych chmur punktów oraz możliwość uzupełniania brakujących powierzchni, przy czym wypełnianie nieciągłości jest realizowane według wybranego kryterium uwzględniającego brzegi istniejących powierzchni.

Zasadą jest nieingerowanie w strukturę chmury punktów z uwagi na znaczne prawdopodobieństwo błędnej subiektywnej interpretacji ewentualnych wad powierzchni. Wszelkie korekty prowadzi się po konwersji chmury na format *.stl, rozpinający siatkę trójkątów na zarejestrowanych punktach.

Model *.stl zeskanowanego samochodu przedstawiono na rys. 4. Zawiera on elementy, które nie należą do nadwozia (fragmenty kół oraz podłoża) i powinny zostać usunięte. Miejsca, z których skaner nie pobrał danych, uzupełnia się powierzchniami rozpinanymi stycznie do ścianek lub po najkrótszej linii albo innymi powierzchniami, jakie oferuje oprogramowanie.

Całościowy model nadwozia po korekcie ubytków przedstawiono na rys. 5. W tej postaci może być on zarchiwizowa-



Rys. 3. Połączone chmury punktów



Rys. 4. Chmura punktów zamieniona na siatkę trójkątów



Rys. 5. Model *.stl po uzupełnieniu nieciągłości

ny jako zbiór danych prawidłowo odtwarzających geometrię skanowanego obiektu, o ile nie ma możliwości powtórnego skanowania w celu zapisania informacji o oryginalnych powierzchniach, które nie zostały pobrane i musiały być zastąpione wypełnieniami.

Jeżeli model ma podlegać dalszej obróbce, np. z myślą o odtworzeniu pełnej, wzorcowej geometrii poszczególnych elementów nadwozia, to po wklejeniu brakujących powierzchni trzeba wyodrębnić samodzielne fragmenty nadwozia (drzwi, przednią maskę, tylną kłapę, zderzaki itp.) i pracować na tych mniejszych elementach. Kolejne kroki prowadzące do uzyskania modelu akceptowalnego przez systemy CAD zostały przedstawione na przykładzie drzwi.

Po wyodrębnieniu z nadwozia modelu drzwi konieczne jest nadanie mu powierzchni definiowalnych, które program CAD będzie poprawnie interpretował, pozwoli je edytować i zymiarować. Prawidłowe zdefiniowanie tych powierzchni ma bezpośrednie przełożenie na efekt końcowy.

Zależnie od zadanych parametrów generowania plastrów z konturami oraz linii brzegowych można uzyskać podział na większe lub mniejsze obszary. W modelach ze skomplikowaną geometrią oraz licznymi otworami stosuje się zagęszczone podział. W przypadku drzwi pojazdu wystarczy podział na duże obszary, z uporządkowaniem plastrów i krawędzi polegającym na optymalnym ułożeniu konturów, tak aby kolejne powierzchnie były proste do zdefiniowania przez program, a następnie bez zniekształceń mogły być przeniesione do dowolnego programu CAD. Istnieje także możliwość usunięcia konturów, a co za tym idzie – powiększenia plastrów.

Rekonstrukcja wybranego fragmentu karoserii w programie do obróbki chmury punktów kończy się utworzeniem na modelu uporządkowanej siatki. Jest to ostatni etap, w którym na detal można nanieść poprawki. Im większa rozdzielczość, tym dokładniej przybliża geometrię, ale trudniejsza jest wówczas modyfikacja elementu na większych obszarach. Aby wygenerować model akceptowany przez systemy CAD, należy plastery i kontury przetworzyć na powierzchnie. Odbywa się to automatycznie za pomocą jednej z funkcji programowych.



Rys. 6. Model drzwi. Od lewej: z liniami konturów, podzielony na plastery, po uporządkowaniu konturów i plastrów

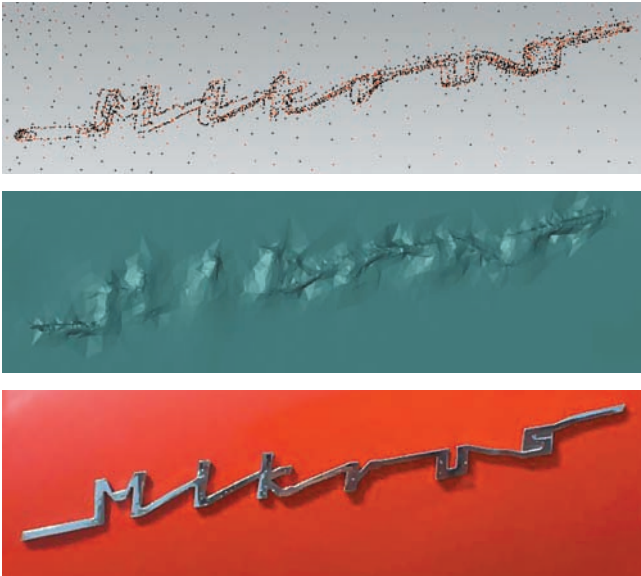


Rys. 7. Model drzwi po naniesieniu uporządkowanej siatki oraz po wygenerowaniu powierzchni dla systemu CAD

Analiza poprawności modelu

Przygotowując proces skanowania w celu pozyskania chmur punktów, trzeba zwrócić uwagę na dobór właściwej rozdzielczości skanera, przy czym rozdzielczość nie jest

tożsamy z dokładnością. Dokładność określa maksymalną odchyłkę w zapisie położenia punktu względem jego położenia fizycznego. Rozdzielczość natomiast określa, ile punktów jest zapisywanych na jednostkę powierzchni. Jeśli dokładność jest wysoka, ale rozdzielczość niewystarczająca, informacja o szczegółach geometrii może być niekompletna, co pokazano na rys. 8.



Rys. 8. Przykład niewystarczającej rozdzielczości skanowania. Od góry: zarejestrowane punkty chmury, utworzony na ich podstawie model *.stl oraz fotografia porównawcza, przedstawiająca rzeczywisty napis

Dodatkowe zakłócenia mogą pojawić się podczas odwzorowywania cech geometrycznych o promieniu mniejszym od rozdzielczości geometrycznej skanera. Gdy na dużych powierzchniach występują drobne szczegóły, najbardziej korzystne jest użycie dwóch rozdzielczości – mniejszej dla skanowania całego obiektu i większej dla szczegółu, z różnymi objętościami pomiarowymi.

W omawianym przypadku (rys. 8) ograniczone możliwości urządzenia nie pozwoliły na uzyskanie dokładnej geometrii skanowanego obiektu, przez co otrzymany obraz (chmura punktów) zawiera obszary o znacznym deficycie informacji.

Tam, gdzie łączą się obiekty o niewielkich promieniach, może występować problem z identyfikacją i przypisaniem kształtów do poszczególnych elementów karoserii. Do takich obiektów zalicza się np.:

- wszelkiego rodzaju napisy, emblematy (niewystarczająca rozdzielczość skanera),
- połączenie elementów nieruchomych, ściśle przylegających, np. gumowych uszczelek szyb z karoserią,
- połączenie elementów ruchomych, np. karoseria – drzwi, drzwi – uszczelka – szyba (zacienienie obszaru – brak danych geometrycznych).

Przykłady nieprawidłowo zarejestrowanych geometrii pokazano na rys. 9.

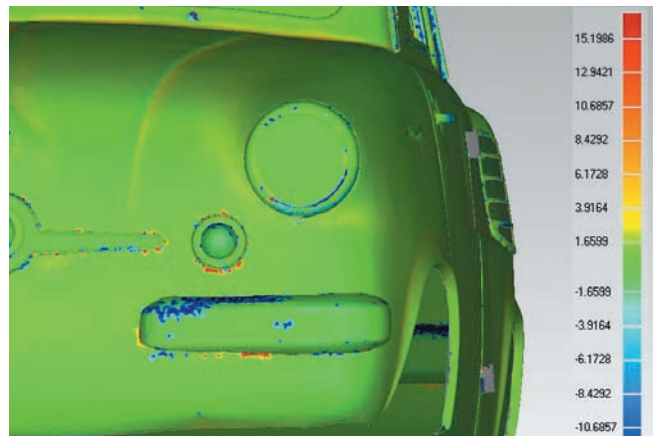
Przy braku możliwości zwiększenia rozdzielczości błędy implikują konieczność zastosowania dodatkowych technik pomiarowych wobec poszczególnych detali karoserii lub – w ostateczności – ręcznego zwymiarowania, wykonania modeli CAD elementów karoserii i dodania ich do gotowego modelu 3D.

To podejście jest bardzo efektywne, gdy geometria elementów jest łatwa do pomiaru tradycyjnymi metodami. W omawianym przypadku dotyczy ono takich szczegółów, jak ramka szyby drzwiowej, wloty powietrza, profile uszczelek, ramki reflektorów, rynienki i przetłoczenia karoserii o stałych promieniach. Obszary, którym łatwo przypisać cechy geometryczne, można ponadto aproksymować za pomocą obiektów podstawowych (np. szyby boczne – powierzchniami płaskimi).

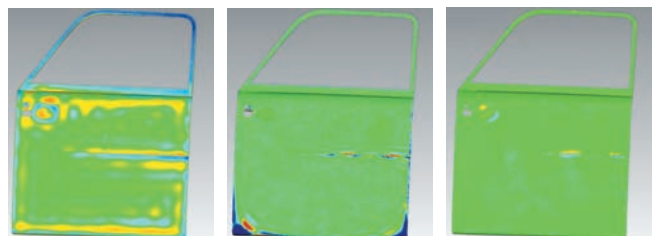


Rys. 9. Zniekształcenia powierzchni oraz braki rejestracji geometrii

W zależności od przeznaczenia modelu powierzchniowego 3D CAD stopień dopasowania ostatecznie utworzonych powierzchni do chmury punktów jako zbioru danych początkowych może być dobierany w dowolny sposób. Dopasowanie jest wykonywane z użyciem prostej normalnej poprowadzonej między elementarnymi powierzchniami złożonymi z trójkątów a rozpiętą powierzchnią finalną. W zależności od parametrów przyjętych do przejścia z chmury punktów do modelu CAD można uzyskać lepsze lub gorsze dopasowanie i odchyłki w odniesieniu do chmury, będącej obiektem odniesienia dla modelu *.stl. Zaletą modelu mniej dokładnie odwzorowującego chmurę (z większymi odchyłkami) jest często uzyskanie wyższej klasy ciągłości powierzchni.



Rys. 10. Mapa odchyłek od chmury punktów na gotowym modelu



Rys. 11. Przykłady różnego dopasowania powierzchni do chmury punktów drzwi

Podsumowanie

Akwizycja danych geometrycznych jest pierwszym etapem tworzenia modelu w procesie inżynierii odwrotnej. Otrzymana w wyniku skanowania 3D chmura punktów stanowi odzwierciedlenie geometrii zewnętrznej badanego obiektu. Błędy popełnione na tym etapie znacząco wpływają na jakość (dokładność) odwzorowania powierzchni modelu 3D.

Podstawowym kryterium podejmowania decyzji na etapie obróbki danych jest przeznaczenie tworzonego modelu. Przy rekonstrukcji geometrii zabytkowych pojazdów należy zadać pytanie o podstawowe cele projektu: czy model końcowy 3D ma oddawać rzeczywiste kształty pojazdu, zmienione z upływem lat, tj. uszkodzenia, wgniecenia, ubytki itp., czy też ma służyć do stworzenia projektu 3D CAD w celu np. odtworzenia dokumentacji technicznej dla nowego produktu, wzorowanego na obiekcie zabytkowym.

Jeżeli model ma być wiernym odwzorowaniem przedmiotu historycznego (w tym uszkodzeń mających walor dokumentu), należy ograniczyć ingerencję w zestaw pobranych danych do niezbędnych zabiegów związanych z łączeniem chmur punktów o właściwych parametrach (takich jak dokładność czy rozdzielczość). Gdy decydujemy się na wykonanie modelu powierzchniowego, to należy tak dobierać parametry powierzchni, aby odwzorować jak najwięcej historycznych cech geometrycznych, a przybliżanie geometrii powinno się realizować funkcjami anatomicznymi, które każdą powierzchnię traktują jako swobodną. Takie podejście jest powszechnie stosowane w medycynie, gdzie np. dla modelu kości nie przeprowadza się żadnej aproksymacji, wygładzania itp., przestając na najbardziej wiernym dopasowaniu powierzchni do modelu wejściowego (chmury).

Jeśli zestaw punktów ma służyć opracowaniu repliki obiektu, chmura punktów nie powinna być traktowana jako odniesienie. Wzorcowa, oryginalna geometria może być odtworzona w systemie CAD, gdzie przetworzona chmura pełni rolę pomocniczą, a jej korekta odbywa się na bazie z góry narzuconych punktów odniesienia, związanych z konstrukcją nośną pojazdu. Takie podejście wynika z faktu, że skanowane nadwozie może być zdeformowane i w tej postaci nieprzydatne do opracowania dokumentacji produkcyjnej. Warto zauważyć, że w prezentowanym przypadku, z uwagi na symetrię obiektu, można uzyskać idealny model na podstawie chmury punktów obejmującej tylko połowę pojazdu.

Autorzy dziękują dr. inż. Mirosławowi Karczewskiemu z Wojskowej Akademii Technicznej za udostępnienie materiałów ze skanowania.

LITERATURA

1. Płocica M., Winiarski B. „Mikrus MR-300. 3 lata produkcji, 50 lat historii”. Kraków: Wyd. PIWI, 2011.
2. Różyło-Kalinowska I., Isaryk S., Miechowicz S. „Wybrane aspekty wytwarzania modeli medycznych dla potrzeb implantoprotezy”. *Magazyn Stomatologiczny*. Nr 5 (2014): s. 32÷37.
3. Varady T., Martin R., Cox J. “Reverse engineering of geometric models – an introduction”. *Computer Aided Design*. Vol. 29, No. 4 (1997): pp. 255÷268.
4. Wróbel I. „Wykorzystanie inżynierii odwrotnej do budowy MES części maszyn”. *Mechanik*. Nr 2 (2014): CD 9.
5. Wyleżoł M. „Digitalizacja powierzchni z zastosowaniem skanera optoelektronicznego. Wybrane zagadnienia”. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2008.
6. Wyleżoł M. „Metodyka modelowania na potrzeby inżynierii rekonstrukcyjnej”. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2013.
7. Wyleżoł M. “Reverse Engineering in applications to modal analysis of virtual models”. *Diagnostyka*. Nr 1 (2007): s. 15÷18. ■