

Zastosowanie skanerów 3D w technice wojskowej

The use of 3D scanners in military technology

MIROSLAW KARCZEWSKI *

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.1.8>

Przedstawiono metodę identyfikacji deformacji struktury nośnej pojazdów wojskowych na przykładzie transportera KTO Rosomak z wykorzystaniem technologii skanowania 3D oraz procesów fotogrametrycznych. Zaprezentowano przykładowe wyniki pomiarów przeprowadzonych trzema sposobami: metodą pomiaru punktów bazowych, metodą skanowania 3D oraz metodą skanowania 3D w połączeniu z pomiarem geometrii punktów charakterystycznych.

SŁOWA KLUCZOWE: pojazd wojskowy, skanowanie 3D, identyfikacja uszkodzeń, fotogrametria

In the article is presented a method to identify geometry of military objects based on 3D scanning technology and photogrammetric processes. During the scanning process different types of markers and calibrated patterns of length, placed on the object are used. Results of measurements using three different methods: base points measurement method, 3D scanning method and 3D scanning in conjunction with the measurement geometry characteristic points method.

KEYWORDS: military vehicle, 3D scanning, strain identification, photogrammetry

Uszkodzenia obiektów technicznych, w tym wojskowych, powodują lokalne zmiany kształtu wyrobu, a ich rozmiar i charakter są bezpośrednio związane z oddziaływaniem, w wyniku którego nastąpiło uszkodzenie. Na ogół stan początkowy obiektu można określić na podstawie dokumentacji produkcyjnej lub pomiarów nowych obiektów. Jednak, aby ocenić zakres uszkodzeń, zakwalifikować obiekt do dalszej naprawy, dobrać odpowiednie metody i technologie naprawy, konieczna jest dokładna znajomość stanu obiektu po uszkodzeniu. Taką możliwość dają techniki skanowania 3D oraz metody fotogrametryczne [1, 3, 4].

Celem pracy było przedstawienie przydatności skanerów 3D do identyfikacji uszkodzeń pojazdów wojskowych z zastosowaniem różnych metod optycznych, takich jak: pomiar punktów bazowych techniką fotogrametryczną, skanowanie 3D z wykorzystaniem światła strukturalnego oraz metoda hybrydowa – skanowanie 3D w połączeniu z pomiarem geometrii punktów charakterystycznych obiektów (bazowych).

Metody odtwarzania kształtów

Uszkodzenia obiektów wojskowych w wielu przypadkach są związane z destrukcyjnym oddziaływaniem energii wybuchu, powodującym zmianę jego wymiarów geometrycznych. Jest kilka optycznych metod odwzorowywania kształtów obiektów wojskowych. Do najczęściej stosowanych należy zaliczyć:

- pomiar punktów charakterystycznych z wykorzystaniem techniki fotogrametrycznej,
- skanowanie 3D z wykorzystaniem światła strukturalnego,
- skanowanie 3D z wykorzystaniem lasera,
- metodę kombinowaną, która łączy skanowanie 3D z metodą fotogrametryczną.

Technika fotogrametryczna – punkty bazowe

W wielu sytuacjach podczas identyfikacji uszkodzeń pojazdów wojskowych nie zachodzi konieczność określenia geometrii całego obiektu; trzeba jedynie wyznaczyć geometrię punktów charakterystycznych – bazowych. W zależności od sytuacji ocenie może podlegać cały obiekt lub jego elementy, np. płyta podłogowa, punkty łączenia nadwozia z podwoziem.

W trakcie badań do pomiarów geometrii punktów bazowych wykorzystano system fotogrametryczny TRITOP firmy GOM.

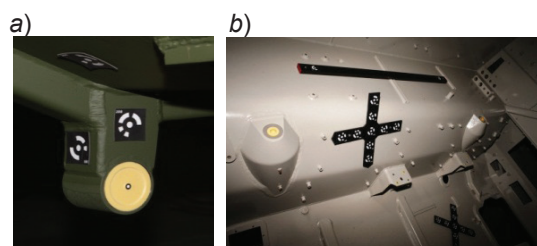
System ten może być wykorzystywany do oceny stopnia deformacji struktury mierzonego obiektu po uszkodzeniu, jak również do oceny dokładności montażu poszczególnych elementów. W przypadku większości punktów pomiarowych urządzenie pozwala na dość szybkie otrzymanie wyników pomiarów.

Po właściwym zdefiniowaniu punktów bazowych do pomiaru długości, szerokości oraz wysokości należy umieścić poszczególne adaptory (rys 1a) w punktach charakterystycznych obiektu w celu zdefiniowania punktów pomiarowych.

Wszystkie istotne punkty obiektu są oznaczane znacznikami, a następnie obiekt jest fotografowany pod różnymi kątami za pomocą aparatu fotograficznego. Obiekt wielkości samochodu ciężarowego wymaga wykonania dużej liczby zdjęć. W przypadku badanego obiektu wykonano 164 ujęcia, które zostały poddane analizie fotogrametrycznej.

Wyodrębniono zbiór punktów bazowych, który został przeskalowany na podstawie odległości zadeklarowanej przy użyciu wzorców długości. Z porównania wyników pomiarów z modelem CAD badanego obiektu otrzymano informację o położeniu poszczególnych punktów oraz odchyłce tych punktów od modelu CAD w płaszczyznach X, Y, Z. Po zdefiniowaniu maksymalnych dopuszczalnych różnic wymiarowych można określić w sposób automatyczny przydatność obiektu do dalszej eksploatacji poprzez zdefiniowanie maksymalnych różnic pomiędzy współrzędnymi punktu mierzonego oraz współrzędnymi wynikającymi z modelu CAD.

Na rys. 2 przedstawiono przykładowe wyniki pomiarów punktów bazowych ramy podwozia pojazdu wojskowego. Podano zmierzone położenie punktów bez porównywania ich z wartościami nominalnymi – taka sytuacja zachodzi bardzo często, gdy ważna jest znajomość poszczególnych wymiarów obiektu bez konieczności odnoszenia ich do konkretnych wartości, np. podczas pomiarów obiektów



Rys. 1. Pomiar punktów bazowych pojazdu wojskowego: a) przykład mocowania adaptera do wyznaczania punktów bazowych, b) wzorec długości i punkty kodowane

* Dr inż. Mirosław Karczewski (miroslaw.karczewski@wat.edu.pl) – Wydział Mechaniczny Wojskowej Akademii Technicznej

o nieznanymi wymiarach. Zależnie od wybranego trybu pracy wyniki pomiarów mogą mieć postać wymiarów rzeczywistych, odnoszonych od ustanowionych przez punkty bazowe płaszczyzn lub różnic między wymiarem rzeczywistym a wynikającym ze specyfikacji producenta.

Metoda skanowania z wykorzystaniem światła strukturalnego

W wielu wypadkach pomiar geometrii punktów bazowych nie jest wystarczający do poprawnej identyfikacji deformacji obiektu. W takim przypadku należy zastosować skanowanie 3D całej powierzchni obiektu.

Zespół przetwarzający obiekt składa się z projektora rzutującego na badany obiekt szereg prążków, których obraz na nierównej powierzchni ulega zniekształceniu odpowiednio do kształtu tej powierzchni. Współrzędne punktów na mierzonej powierzchni są wyznaczone na zasadzie triangulacji. Dokładność skanowania zależy od wymiarów powierzchni oraz zastosowanej konfiguracji skanera.

Ponieważ skanowanie obiektu polega na kilkukrotnym pomiarze powierzchni z różnych stron i pod różnymi kątami, na obiekt nanoszone są punkty referencyjne, które umożliwiają orientację powierzchni w przestrzeni oraz łączenie obrazów. Do pomiarów położenia punktów referencyjnych stosowany jest opisany wcześniej system fotogrametryczny TRITOP.

Ze względu na ograniczone pole pojedynczej powierzchni „widzianej” przez kamery, konieczne jest wielokrotne skanowanie powierzchni za pomocą przesuwanej kamery, a także skanowanie pod różnymi kątami, umożliwiające dotarcie do obszarów niewidocznych przy jednym ustawieniu kamery.

Efektorem wielokrotnego skanowania kolejnych powierzchni bryły jest szereg obrazów, które są następnie łączone ze sobą. Skanowanie powierzchni z przesuwaniem kamer i skanowaniem bryły pod różnymi kątami umożliwia likwidację obszarów pustych, które mogą być niewidoczne z powodu dużych odkształceń powierzchni (są one widoczne na zdjęciach jako puste, „przezroczyste” obszary). Następnie w procesie poligonizacji obrazy są łączone w całość. Obszary zachodzące na siebie są usuwane. Tak obrobiona chmura punktów może być przekształcona w siatkę trójkątów, która następnie może być importowana do programów zewnętrznych, np. MES. Przy porównywaniu obrazów obiektów między sobą lub z danymi w postaci modeli CAD, generowana jest kolorowa mapa odchyłek.

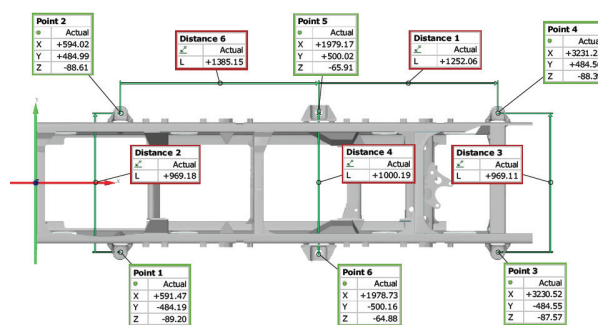
Skanowanie dużych powierzchni pozwala na odtworzenie pełnej bryły pojazdu. Odpowiednie rozmieszczenie znaczników wewnątrz obiektu umożliwia nawet określenie grubości blachy, z której wykonano obiekt. Grubość elementów może także być wprowadzona do programu oddzielnie.

Odkształcenie powierzchni blach spowodowane różnicami oddziaływaniami może być oceniane poprzez przyjęcie płaskości pojedynczej płyty i obliczenie odchyłek między zeskanowanym obiektem i „przyłożoną” do niego płaszczyzną (rys. 3). Możliwe jest także porównanie odchyłek całej zeskanowanej powierzchni pojazdu z modelem CAD obiektu lub obrazem zeskanowanej powierzchni innego pojazdu, przyjętego jako obiekt wzorcowy.

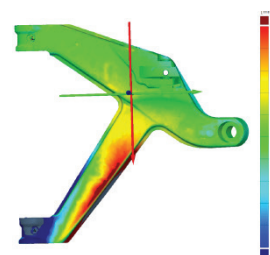
Metoda kombinowana – połączenie skanowania 3D z metodą fotogrametryczną

Gdy nie ma możliwości lub konieczności skanowania całego obiektu w celu pomiaru jego geometrii, ale do analizy niezbędne są określone wielkości – w postaci wymiarów i kształtów obiektu, można zastosować metodę kombinowaną, w której część wymiarów zdejmowana jest na zasadzie skanowania powierzchni przez skaner 3D, a pozostałe wymiary (płaszczyzny) tworzone są na podstawie pomiaru punktów charakterystycznych z wykorzystaniem zestawu fotogrametrycznego.

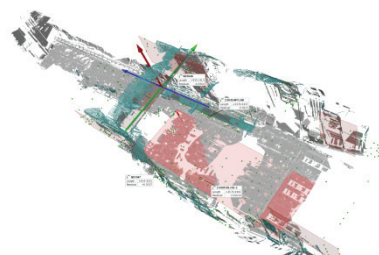
Przykładem takiego postępowania jest pomiar ładowni samolotu C-130 Herkules w celu sprawdzenia możliwości załadunku samochodu ciężarowego. Zadanie to wymagało opracowania modelu przestrzeni ładunkowej samo-



Rys. 2. Wyniki pomiarów punktów bazowych – rama pojazdu specjalnego [2]



Rys. 3. Ocena deformacji – porównanie obiektu rzeczywistego i modelu CAD – mapa odchyłek



Rys. 4. Metoda kombinowana pomiaru wnętrza samolotu C-130 – połączone obszary skanowane i płaszczyzny wewnętrzne samolotu [3]

lotu. Model wnętrza samolotu C-130 wykonano metodą skanowania optycznego 3D oraz przez pomiar punktów charakterystycznych i wyznaczenie na ich podstawie poszczególnych krzywizn (rys. 4).

Podsumowanie

Wyniki badań świadczą o przydatności skanowania trójwymiarowego do analizy odkształceń i wyznaczania wymiarów nawet bardzo dużych obiektów o skomplikowanych kształtach, których analiza metodami klasycznymi byłaby trudna, czasochłonna lub w ogóle niemożliwa.

Dzięki opracowanemu i zastosowanemu zestawowi adapterów z punktami wzorcowymi metodą fotogrametryczną można wykorzystywać do identyfikacji położenia punktów bazowych dużych obiektów.

Za pomocą prezentowanych metod można przeprowadzić kontrolę jakości, pomiary odkształceń, błędów wykonania i naprawy, weryfikować dokładność dopasowania elementów poprzez wirtualny montaż w oprogramowaniu, a także zmiany kształtu powierzchni spowodowane uszkodzeniami.

LITERATURA

- Karczewski M., Walentynowicz J., Polak F. "Application of reverse engineering for identification of damage and support the reparation of the vehicles". *Journal of KONES Powertrain and Transport*. 20, 4 (2013).
- Walentynowicz J., Hryciów Z., Karczewski M., Trawiński G., Tudyka D. „Sprawozdanie końcowe z realizacji projektu rozwojowego na temat «Opracowanie metod weryfikacji uszkodzeń bojowych kołowego transportera opancerzonego Rosomak oraz propozycji zmian zwiększających jego odporność przeciwwminową»”. Warszawa: WAT 2013.
- Wyleźoł M., „Inżynieria odwrotna w modelowaniu inżynierskim – przykłady zastosowań”. Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Śląska.
- Karczewski M. „Zastosowanie metod inżynierii odwrotnej do identyfikacji obiektów technicznych”. *TTS Technika Transportu Szynowego*. 12 (2015) – Technika.