

dr inż. Tomasz Kurzynowski

adiunkt, Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, CAMT/FPC, tomasz.kurzynowski@pwr.edu.pl

Grzegorz Ziółkowski

doktorant, Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, CAMT/FPC,

Karol Kobiela

doktorant, Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, CAMT/FPC,

prof. dr hab. inż. Edward Chlebus

dzienkan Wydziału Mechanicznego Politechniki Wrocławskiej, Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny, CAMT/FPC

Henryk Juszczak

Centralne Laboratorium Kryminalistyczne Policji

Proces inżynierii odwrotnej w zastosowaniach kryminalistycznych

Streszczenie

W artykule przedstawiono możliwości zastosowania metod inżynierii odwrotnej w kryminalistyce. Dokonano przeglądu dostępnych technologii *reverse engineering* oraz podano przykłady ich wykorzystania we wspomaganiu czynności kryminalistycznych. Przedstawiono metodę rekonstrukcji obiektów za pomocą technicznej tomografii komputerowej oraz podano przykład zastosowania tej metody do analizy geometrii łusek pochodzących od ostrzelanych naboju pistoletowych kal. 7,62 mm wz. 30 (powystrzałowych kalibru 7,62 mm).

Słowa kluczowe inżynieria odwrotna, badania kryminalistyczne, tomografia komputerowa

Wprowadzenie

Inżynieria odwrotna (*Reverse Engineering*) jest to proces pomiarowy, którego celem jest poznanie zasady działania jak również sposobu wytworzenia obiektu poddanego rekonstrukcji [1]. Technologie inżynierii odwrotnej często są stosowane z zamiarem wytworzenia własnego odpowiednika. W zależności od zastosowań można wyodrębnić kilka głównych celów wykonania prowadzonych prac. W przypadku zastosowań przemysłowych jest to uzyskanie komputerowego modelu istniejącego obiektu w celu odtworzenia dokumentacji technicznej. W zastosowaniach medycznych prowadzona analiza jest wykorzystywana w celu anatomicznego dopasowania protez czy implantów. Ciągły rozwój sprzętu wykorzystywanego w procesie *reverse engineering* pozwolił na rozszerzenie obszaru zainteresowań, co spowodowało wykorzystywanie cyfrowej digitalizacji również w sztuce, archeologii, budownictwie czy kryminalistyce [2].

Podział metod inżynierii odwrotnej

Kryterium podziału w głównej mierze zależy od sposobu zbierania danych, co wpływa na konstrukcję urządzenia pomiarowego [3]. Pierwszą najważniejszą grupą są metody kontaktowe, które ze względu

na konieczność styku urządzenia z obiektem podczas akwizycji w głównej mierze nadają się do analizy obiektów małych o prostej geometrii. Drugą grupą, która znalazła szersze zastosowanie, są metody bezkontaktowe. Różnorodność systemów pozwala na skanowanie obiektów o rozmiarach od kilku milimetrów do kilkudziesięciu metrów [4]. To właśnie do tej grupy zaliczają się urządzenia, które znalazły zastosowanie m.in. w kryminalistyce. W obrębie grupy urządzeń bezkontaktowych można wyróżnić urządzenia pozwalające na ocenę powierzchni zewnętrznej obiektu. Można tutaj wymienić zarówno metody wykorzystujące wiązkę lasera, jak również analizę optyczną światła. Dodatkowo w tej grupie znajdują się urządzenia wykorzystujące promieniowanie gamma (MSCT – Multi Slice Computer Tomography), rentgenowskie (CT – Computed Tomography) bądź rezonansu magnetycznego (MRI – Magnetic Resonance Imaging).

Inżynieria odwrotna w kryminalistyce

Przeprowadzenie oględzin miejsca zdarzenia jest procesem złożonym, w którym ma zastosowanie wiele różnych dyscyplin naukowych. Jedną z pierwszych i prawdopodobnie najbardziej krytycznych czynności jest „przejście” po miejscu zdarzenia. Głównym celem

tej czynności jest zebranie jak największej liczby dowodów pozwalających na rekonstrukcję przebiegu zdarzenia. Dodatkowo podczas tej czynności powinny zostać zastosowane odpowiednie techniki pomiarowe [5], które pozwolą na utworzenie obiektywnej dokumentacji potrzebnej do późniejszych czynności śledczych. Klasyczne metody zbierania materiałów dowodowych, takie jak zdjęcia, szkice, notatki są dwuwymiarowe, taśmy pomiarowe ze względu na sposób wykonywania pomiaru mogą ingerować w otoczenie, a tym samym wpływać na pomiar [6]. Przy wykonywaniu dokumentacji 3D w postaci odlewów, np. śladów butów, opon, istnieje ryzyko uszkodzenia replikowanego śladu, szczególnie w przypadku wykonywania odlewów gipsowych [7]. Dzięki technice łączenia zdjęć oraz wirtualnej rzeczywistości możliwe jest dodanie oraz stosowanie jako uzupełnienie technik śledczych cyfrowej digitalizacji 3D. Jedną z wykorzystywanych technik do wykonania przestrzennej dokumentacji fotograficznej jest fotogrametria. Jest to technika odtwarzania kształtu, rozmiarów i wzajemnego położenia obiektów w terenie na podstawie zdjęć fotogrametrycznych (fotogramów) wykonanych z różnej perspektywy. Ta technika jest jedną z najprostszych metod odtwarzania geometrii obiektu, gdyż do jej przeprowadzenia potrzebny jest standardowy aparat fotograficzny, markery (znaczniki) oraz komputer z oprogramowaniem [7].

W celu zarchiwizowania całego pomieszczenia bądź uwiecznienia, np. odcisków podeszwy, stosuje się urządzenia wykorzystujące kamerę oraz źródła światła rzucające na obiekt cienie określonego kształtu (np. prążki), które załamując się pozwalają na obserwację oraz odtworzenie przestrzennej struktury [8]. Na wykonanej digitalizacji cyfrowej można zaobserwować więcej szczegółów niż na fotografii. Ostatnim z narzędzi, które jest wykorzystywane do prowadzenia oględzin miejsca zdarzenia i zabezpieczania śladów, jest tomografia techniczna (iCT – Industrial Computed Tomography) – szerzej opisana w dalszej części niniejszego opracowania. Metoda ta pozwala zajrzeć do wnętrza obiektu, dlatego też oprócz uzyskania obrazu powierzchni możliwe jest zaobserwowanie np. uszkodzeń jakie zostały dokonane przez poruszający się pocisk. Dodatkowo istnieje możliwość łączenia

ze sobą poszczególnych metod digitalizacji cyfrowej przy wykonywaniu rekonstrukcji obiektu z użyciem specjalistycznego oprogramowania [8].

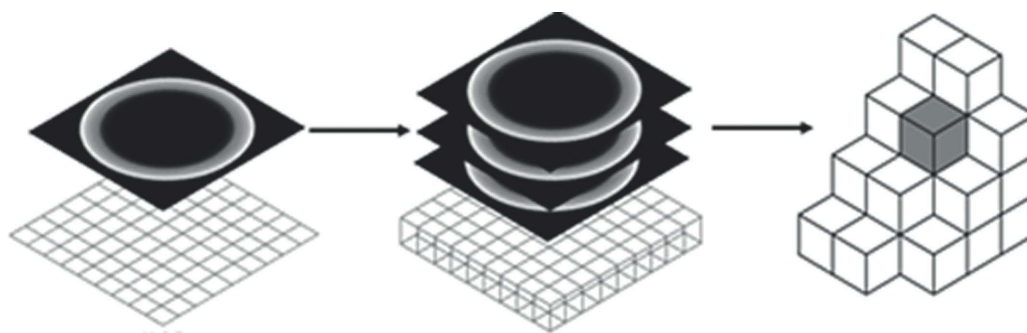
Techniczna tomografia komputerowa

Tomografia techniczna jest nieinwazyjną metodą obrazowania opartą na zasadzie rejestracji zmian pochłaniania promieniowania w badanym przedmiocie. Dzięki możliwości odwzorowania wewnętrznej i zewnętrznej geometrii, za pomocą opisywanej technologii można analizować wymiary, porowatość, gęstość i strukturę wewnętrzną obiektów zarówno pochodzenia naturalnego, jak i wytworzonych przez człowieka [9].

Podczas pomiaru za pomocą tomografii technicznej obiekt umieszczany jest na stole obrotowym pomiędzy lampą a detektorem. Przedmiot oświetlany jest stożkową wiązką promieniowania rentgenowskiego generowaną w lampie rentgenowskiej, a zmiany intensywności, będące efektem pochłaniania promieniowania przechodzącego przez badany obiekt, rejestrowane są przez detektor.

Wynikiem rejestracji jest zdjęcie rentgenowskie o wysokim kontraście i jasności zapisane w skali szarości. Rejestracja serii projekcji rentgenowskich obiektu obracanego o 360° co zadany kąt pozwala na trójwymiarową rekonstrukcję jego struktury. Uzyskanie projekcji o wysokim kontraście i jasności możliwe jest jedynie w przypadku odpowiedniej penetracji badanego obiektu przez wiązkę promieniowania rentgenowskiego. Dlatego energię promieniowania determinowaną napięciem i natężeniem lampy rentgenowskiej należy dobrać tak, aby w każdej pozycji obiekt był w wystarczającym stopniu prześwietlany wiązką promieniowania. Za pomocą dedykowanego oprogramowania umożliwiającego filtrację szumów oraz redukcję artefaktów pomiarowych na podstawie serii projekcji przeprowadzana jest rekonstrukcja iCT. W wyniku rekonstrukcji uzyskuje się serię przekrojów tomograficznych. Każdy przekrój zbudowany jest z przestrzennych pixeli nazywanych voxelami (ryc. 1).

Każdy voxel ma przypisaną wartość skali szarości iCT, odpowiadającą gęstości, liczbie atomowej i grubości badanego materiału w określonym punkcie



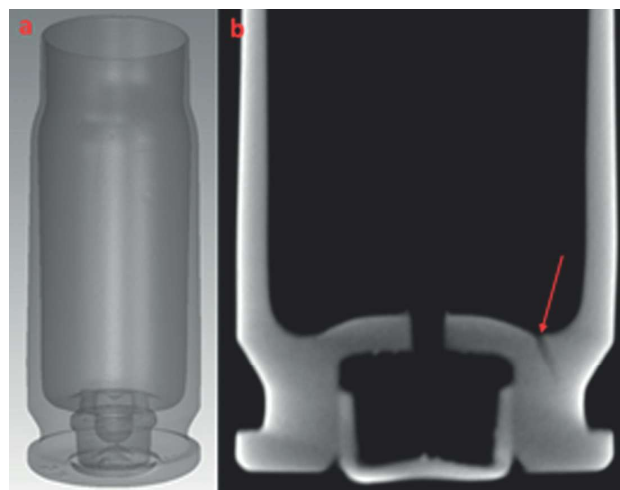
Ryc. 1. Schemat tworzenia modeli voxelowych na podstawie serii zdjęć CT.

rekonstruowanej objętości. Wielkość voxela – rozdzielczość pomiaru zależy od zastosowanego powiększenia i wielkości badanego obiektu. Im większa próbka tym mniejsza rozdzielczość pomiarowa możliwa do osiągnięcia.

Czas skanowania iCT zależy od kształtu i materiału z którego wykonany jest przedmiot i standardowo wynosi od 1 do 2 godzin. Ograniczeniem w stosowaniu metody iCT jest wielkość komory pomiarowej tomografu, która w zależności od modelu wynosi od kilku do kilkudziesięciu centymetrów. Możliwość rekonstrukcji ograniczona jest również przez napięcie lampy rentgenowskiej, które determinuje zdolność przenikania promieniowania przez materię. Standardowo w tomografach technicznych stosuje się lampy o napięciu do 225 kV, które pozwala na penetrację stali o grubości do 1,5 cm, aluminium powyżej 10 cm i elementów z tworzyw sztucznych powyżej 20 cm [10].

Zastosowanie tomografii komputerowej w kryminalistyce

Identyfikacja trójwymiarowej struktury badanych obiektów rozszerza możliwości badań kryminalistycznych. Jednym z podstawowych zastosowań tomografii komputerowej jest możliwość dokładnego ustalenia toru lotu pocisku wewnątrz przeszkody, np. wewnątrz ciała ludzkiego. Następnym z obszarów zastosowania technologii iCT są badania łusek i pocisków. Ze względu na wysoką gęstość ołowiu powszechnie stosowanego w pociskach rekonstrukcja ich wymaga zastosowania tomografów wyposażonych w lampę rentgenowską o wysokim napięciu powyżej 250 kV. Przykład analizy pocisku kalibru 9 mm można znaleźć w literaturze [11].



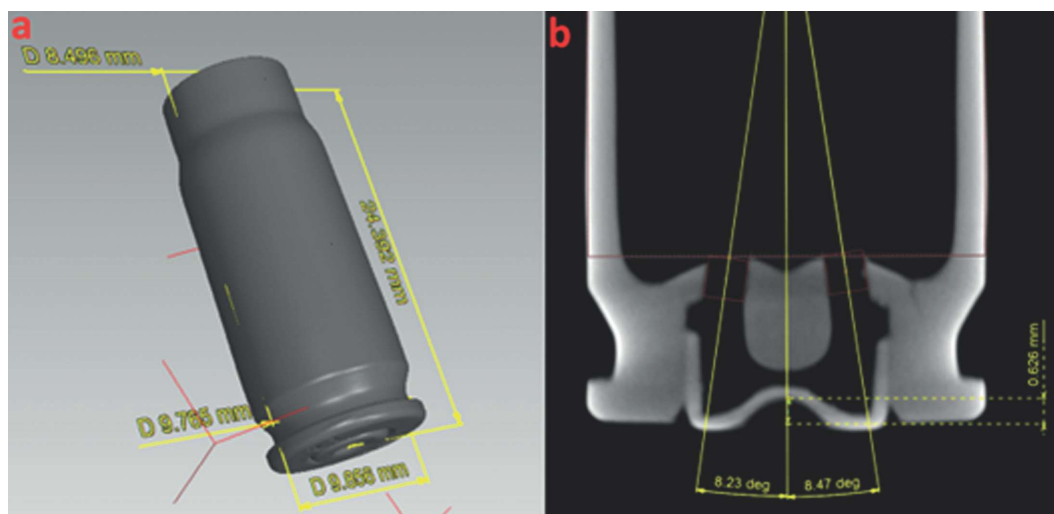
Ryc. 3. Widok transparentny łuski z przedstawioną komorą spłonki (a), przekrój 2D z zarejestrowanym pęknięciem ścianki komory spłonki (zaznaczony czerwoną strzałką) (b)

Autorzy przywołanej pracy analizowali jakość wykonania, geometrię, grubość płaszcza pocisku przed wystrzeleniem i po jego wystrzeleniu oraz deformację pocisku. Analiza odkształceń pocisków w momencie uderzenia w powierzchnię przeszkody umożliwia ustalenie wartości ich energii uderzeniowej.

Na rycinie 2 przedstawiono przykład analizy iCT łuski pochodzącej od odstrzelonego naboju pistoletowego kal. 7,62 mm wz. 30. Rekonstrukcja przeprowadzona została z wielkością woksela wynoszącą 37 μm , co pozwoliło na rejestrację cech charakterystycznych występujących na powierzchni łuski, takich jak wytłoczenie z numerem, rysy na powierzchni, ślady grotu iglicy.



Ryc. 2. Wizualizacja łuski od naboju pistoletowego kal. 7,62 mm: obiekt rzeczywisty (a), trójwymiarowa rekonstrukcja iCT (b), przekroje 2D analizowanej łuski (c).

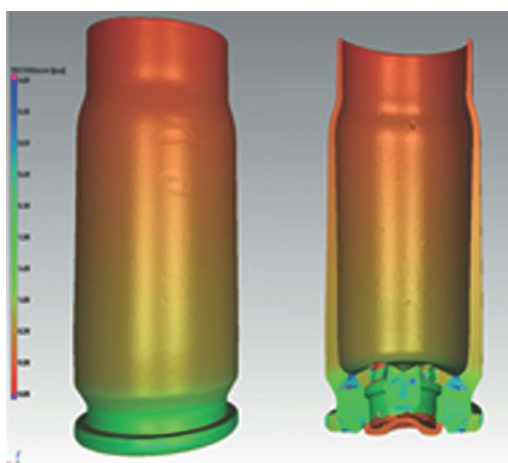


Ryc. 4. Widok 3D z przedstawionymi wymiarami łuski (a), przekrój 2D z wymiarami wewnętrznymi komory spłonki (b).

Dodatkowo wizualizacja wewnętrznej struktury łuski pozwala na analizę komory spłonki z kanalikami ogniowymi. Możliwa jest również analiza charakterystycznych zmian strukturalnych pocisku powstałych w wyniku oddziaływania wysokiego ciśnienia na ściany łuski podczas wystrzału, takich jak pęknięcia czy odkształcenia (ryc. 3).

Trójwymiarowy model objętościowy uzyskany w wyniku rekonstrukcji iCT pozwala na przeprowadzenie analizy wymiarowej badanego obiektu pozwalającej na ocenę uszkodzeń łuski w jej wnętrzu (ryc. 4). Wzajemne rozmieszczenie na powierzchni łuski śladów grota iglicznego, wyrzutnika oraz pazura wyciągu pozwala na ustalenie modelu i wzoru broni, z której została ona odstrzelona.

Rycina 4 przedstawia analizę grubości ścianek łuski z zaznaczonymi w postaci mapy kolorów zmianami w jej strukturze. Widać wyraźnie zmniejszanie grubości ścianki cylindra tworzącego łuskę w jej górnej części (powstające podczas procesu wytwórczego łuski).



Ryc. 5. Analiza grubości ścianek łuski i przekrój przedstawiający zmiany wewnątrz jej struktury.

Przedstawione powyżej przykłady analizy iCT pocisków i łusek mogą w istotny sposób wspomóc proces identyfikacji śladów kryminalistycznych zabezpieczanych na miejscu przestępstwa. Badania łusek i pocisków przeprowadzane technologią iCT niosą informację o strukturze wewnętrznej elementu niedostępnej innymi metodami pomiarowymi. Dlatego mogą one wspomóc zarówno identyfikację grupową, jak i indywidualną broni, z której pocisk został wystrzelony.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono technologie *reverse engineering* wraz z możliwością ich zastosowania w technice kryminalistycznej. Możliwość trójwymiarowej digitalizacji miejsca przestępstwa czy rejestracja śladów znajdujących się na miejscu zdarzenia pozwala w istotny sposób zwiększyć możliwości zebrania i zabezpieczenia materiału dowodowego. Ponadto cyfrowa obróbka tak zgromadzonych danych stwarza możliwość rekonstrukcji przebiegu zdarzenia, np. ustalenia toru lotu pocisku wewnątrz przeszkody, w tym wewnątrz ciała ludzkiego. Rejestracja struktury wewnętrznej i zewnętrznej dowodów rzeczowych w postaci łusek i pocisków pozwala na porównanie i identyfikację śladów kryminalistycznych odwzorowanych na ich powierzchniach. Przedstawione powyżej metody rejestracji i dokumentacji przestrzennej obiektów fizycznych dają możliwość znacznego wzbogacenia materiału dowodowego zabezpieczanego podczas czynności dochodzeniowo-śledczych.

Źródła rycin:

Ryciny 1–6: autorzy

Bibliografia

1. Wang W.: Reverse Engineering Technology of Reinvention, CRC Press, 2011, Boca Raton.
2. Będzia T., Dybała D., Garbicz G.: Integracja metod inżynierii odwrotnej w rekonstrukcji modeli 3D obiektów fizycznych, „Mechanik” 2009, nr 82, s. 136.
3. Eyup B.: Reverse engineering applications for recovery of broken or worn parts and remanufacturing: Three case studies, „Advance in Engineering Software” 2009, nr 40, s. 407.
4. Pavlidis G.: Methods for 3D digitization of Cultural Heritage, „Journal of Cultural Heritage” 2007, nr 8, s. 93–98.
5. Nordby S.H., James J.: An Introduction to Scientific and Investigative Techniques, „Forensic Science” 2003, CRC Press, Boca Raton.
6. Cavagnini G., Scalvenzi M., Trebeschi M., Sansoni G.: Reverse Engineering from 3D optical acquisition: application to Crime Scene Investigation, in Virtual and Rapid Manufacturing: Advanced Research in Virtual and Rapid Prototyping, Tylor & Francis Group, London 2008.
7. Buck U., Naether S., Rass B., Jackowski Ch., Thali M.J.: Accident or homicide – Virtual crime scene reconstruction using 3D methods, „Forensic Science International” 2013, nr 225, s. 75.
8. Buck U., Albertini N., Naether S., Thali M.J.: 3D documentation of footwear impression and tyre tracks in snow with high resolution optical surface scanning, „Forensic Science International” 2007, nr 171, s. 157.
9. Dybała B., Będzia T., Ziółkowski G.: VI Kongres Metrologii. Techniczna tomografia komputerowa w metrologii wielkości geometrycznych i kontroli jakości, „Mechanik” 2013, nr 86, s. 526.
10. Chlebus E., Ziółkowski G., Dybała B.: Zastosowanie przemysłowej tomografii komputerowej w analizie złoża, „Mechanik” 2013, nr 86, s. 422.
11. Kumar J., Landheer D., Barnes-Warden J.: Inconsistency in 9 mm bullets measured with non-destructive X-ray computed tomography, „Forensic Science International” 2012, nr 214, s. 48.