

ABSTRAKT: Niniejszy artykuł jest próbą przybliżenia techniki Reflectance Trasformation Imaging (RTI) dla potrzeb instytucji kultury realizujących proces digitalizacji zbiorów dziedzictwa kulturowego. Stanowi kontynuację tematu RTI podjętego w czasie seminarium „Digitalizacja w muzeach – forum dyskusyjne. O problemach związanych z tworzeniem cyfrowej dokumentacji”, które odbyło się w Wilanowie w dniach 17–18 listopada 2022 roku. W artykule, oprócz samej techniki i korzyści z niej płynących, przedstawione zostaną problemy, na jakie mogą napotkać twórcy zarówno na etapie powstawania tego typu dokumentacji, jak i na etapie udostępniania takich obiektów w kolekcjach cyfrowych online. Podjęta zostanie też próba określenia miejsca RTI w dzisiejszym szybko rozwijającym się świecie Computer Vision¹. Przeanalizowane zostaną sposoby udostępniania, możliwe rozszerzenie pomiarów o pokrewne techniki przy wykorzystaniu istniejących rozwiązań technicznych oraz to, jak RTI wypada na tle konkurencyjnych metod.

SŁOWA KLUCZOWE: dokumentacja obiektów kultury materialnej, Reflectance Trasformation Imaging, dokumentacja RTI, Polynomial Texture Mapping

REFLECTANCE TRASFORMATION IMAGING – PERSPEKTYWY ZASTOSOWANIA W INSTYTUCJACH KULTURY

DOI: 10.5604/01.3001.0055.1370

Marcin Szala

Biblioteka Uniwersytecka we Wrocławiu

Michał Żurawski

3D Consulting Michał Żurawski

Studia Wilanowskie

t. XXXI, 2024, s. 155–198

Rocznik, E-ISSN: 2720-0116

ABSTRACT: This paper is an attempt to introduce the Reflectance Transformation Imaging (RTI) technique for use by cultural institutions digitising their cultural heritage collections. It constitutes a follow-up to the topic of RTI discussed during the “Digitisation and museums – a discussion forum. The issues of creating digital documentation” seminar held in Wilanów on 17–18 November 2022. In addition to the technique itself and its benefits, the paper outlines the issues that authors may encounter both at the stage of creating this kind of documentation and at the stage of making such objects available in online digital collections. This paper explores RTI’s role within the rapidly advancing field of Computer Vision.² The paper also analyses the methods of sharing and the possible extension of measurements by using related techniques and existing technical solutions, as well as compares RTI with competing methods.

KEYWORDS: documentation of material culture objects, Reflectance Transformation Imaging, RTI documentation, Polynomial Texture Mapping

1 Computer Vision to angielski termin obejmujący szerokie spektrum interdyscyplinarnych działań związanych z badaniem tego, na jakim poziomie programy komputerowe są w stanie analizować treści zawarte w cyfrowych obrazach lub filmach (przypis. red.).

2 Computer Vision is a term covering a broad spectrum of interdisciplinary studies concerning the various levels of analyses of the content of digital images and videos by computer software.

Technika Reflectance Transformation Imaging (skrót: RTI)³ jako metoda digitalizacji obiektów jest znana od ponad dwudziestu lat. Relatywnie często stosowana jako technika pomocnicza w badaniach naukowych z zakresu archeologii czy konserwacji dzieł sztuki (co potwierdzają liczne publikacje⁴) do niedawna była rzadkością w instytucjach kultury. Zjawisko to wynika prawdopodobnie z szerszego problemu związane go z brakiem powszechnie uznanych standardów tworzenia dokumentacji cyfrowej obiektów dziedzictwa kulturowego. Instytucje kultury, takie jak muzea, biblioteki oraz archiwa realizują proces digitalizacji w bardzo różnych celach – nie tylko jako specjalistyczną dokumentację konserwatorską czy standardową dokumentację posiadanego zasobu, ale także na potrzeby popularyzacji i szerokiego udostępnienia cyfrowej kopii posiadanych w zbiorach obiektów. Poziom jakościowy kopii cyfrowych 2D oraz technik ich udostępniania w Internecie – z wykorzystaniem różnego rodzaju repozytoriów bądź poprzez standardy udostępniania, takie jak IIIF (*ang. International Image Interoperability Framework*)⁵ – z pewnością dają takie możliwości. Zamysłem niniejszego artykułu jest podjęcie możliwie szerokiej dyskusji dotyczącej zagadnień istotnych ze względu na cel, jakim jest standaryzacja i rozwój techniki Reflectance Transformation Imaging w instytucjach kultury statutowo realizujących proces digitalizacji.

W kontekście techniki RTI w analizowanym obszarze powstaje pytanie, czy możliwe jest szersze jej wykorzystanie we wspomnianych instytucjach, nie tylko dla potrzeb badawczych konkretnego projektu, lecz również w ramach standardowej procedury digitalizacji, z uwzględnieniem tych samych celów, jakim przyświeca tworzenie studyjnej, dokumentacyjnej fotografii cyfrowej. Nawiasem mówiąc – podobne pytanie

3 Technika ta, pomimo tego że została opracowana 24 lata temu (praca Toma Malzbendera z laboratoriów Helwet Packard z roku 2000 dotycząca *Polynomial Texture Mapping*), nie doczekała się jak dotąd powszechnie używanej nazwy polskiej i przez to zarówno w praktyce zawodowej, jak i w polskojęzycznych publikacjach branżowych określana jest skrótem nazwy angielskiej. Pliki cyfrowe powstające w wyniku zastosowania tej techniki to pliki .ptm (przypis red.).

4 Przeglądarka Google Scholar na hasło „reflectance transformation imaging rti” rejestruje ponad 900 artykułów z różnych dziedzin, które ukazały się w okresie 5 lat, tj. w latach 2018–2023. Przykładowe publikacje: H. Mytum, J. R. Peterson, *The application of reflectance transformation imaging (RTI) in historical archaeology*, „Historical Archaeology”, t. 52, 2018, s. 489–503. A także: H. E. Coules, P. J. Orrock, C. Er Seow, *Reflectance Transformation Imaging as a tool for engineering failure analysis*, „Engineering Failure Analysis”, t. 105, 2019, s. 1006–1017. Kolejne publikacje: https://scholar.google.com/scholar?q=%22reflectance+transformation+imaging+rti%22&hl=pl&as_sdt=0%2C5&as_ylo=2018&as_yhi=2023 (dostęp: 18 IV 2024).

5 IIIF (*ang. International Interoperability Framework*) to zestaw otwartych standardów udostępniania wysokiej jakości obiektów cyfrowych wraz z danymi opisowymi. Jest to jednocześnie nazwa międzynarodowego stowarzyszenia rozwijającego i popularyzującego rozwiązania programistyczne umożliwiające takie udostępnianie (IIIF API) <https://iiif.io/> (dostęp: 30 XI 2023), (przypis red.).

można stawiać także względem fotografii multispektralnej. Myśląc o standaryzacji tych technik w bibliotekach, muzeach i archiwach, należy wziąć pod uwagę aspekty związane z ogólnymi założeniami celu takiej digitalizacji. Badacz posługujący się techniką RTI prawdopodobnie będzie się koncentrował na zobrazowaniu szczególnie interesujących go obszarów obiektu, dostosowując parametry techniczne oraz liczbę ujęć do potrzeb swoich badań⁶. Wykonanie obrazowania tego samego obiektu bez wyraźnej perspektywy badawczej będzie zapewne zakładać bardziej ogólną prezentację zabytku, być może nawet w nieco niższej jakości czy z ograniczoną liczbą ujęć. Głównym walorem techniki RTI jest sposobność ukazania w dynamicznej prezentacji faktury obiektu, dając użytkownikowi narzędzia do swobodnego manipulowania oświetleniem. Taka forma prezentacji choćby części zbiorów z pewnością uatrakcyjni podstawową statyczną prezentację, a także potencjalnie wniesie dodatkowe walory wspierające realizację badań w wymiarze szeroko pojętej humanistyki cyfrowej. Za szerszym stosowaniem techniki RTI przemawiają argumenty stosunkowo łatwego generowania formy pliku cyfrowego ze względu na nieskomplikowany proces fotograficzny – szczególnie, jeśli w przypadku digitalizacji obiektów małych wykorzystuje się urządzenia automatyzujące proces fotografowania oraz oprogramowanie dostępne na otwartych licencjach⁷. Kolejnym argumentem jest uzyskanie kompletu ujęć fotograficznych o zmiennym kącie oświetlenia, które mogą być również używane jako samodzielne zdjęcia cyfrowe 2D. Do prezentacji 2D można także wykorzystać wyeksportowane wersje obiektu z zastosowaniem wybranych filtrów, w które wyposażone jest oprogramowanie do wizualizacji plików .ptm. Dzięki swoim cechom technika RTI jest szczególnie przydatna w sytuacjach, w których zależy nam na pokazaniu faktury powierzchni dokumentowanego obiektu. Przykładem obrazującym taki sposób prezentacji mogą być pieczęci rycerstwa prezentowane przez Archiwum Państwowe we Wrocławiu⁸. Każdy obiekt posiada swoją reprezentację RTI dostępną poprzez przeglądarkę internetową, umożliwiającą manipulowanie oświetleniem przez użytkownika, a także plik .ptm do pobrania oraz prezentację 2D. Dzięki temu obiekt można oglądać w różnych wariantach: fotografie wykonane w oświetleniu

6 Założenie to nie dotyczy oczywiście obiektów o małych rozmiarach, takich jak monety czy medale, dla których bez problemu można stworzyć dokumentację całej powierzchni jednej strony obiektu, np. rewersu w ramach jednej sekwencji pomiarowej (przypis red.).

7 Strona internetowa organizacji non profit Cultural Heritage Imaging oferującej jedno z darmowych oprogramowań do tworzenia i przeglądania dokumentacji RTI – https://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/ (dostęp: 30 XI 2023).

8 Wystawa „Pieczęci rycerstwa obcego na Śląsku do 1335 r. w zbiorach Archiwum Państwowego we Wrocławiu”, <https://www.ap.wroc.pl/wystawy/pieczecie-rycerstwaw-obcego-na-slasku-do-1335-r-w-zbiorach-archiwum-panstwowego-we-wroclawiu> (dostęp: 30 XI 2023).



il. 1

Przykład prezentacji online
pieczęci w Archiwum
Państwowym we Wrocławiu:
wersja 2D (góra) oraz RTI
(dół)

kierunkowym, w świetle rozproszonym oraz ujęcia wygenerowane za pomocą przeglądarki RTIViewer⁹ o wzmocnionej fakturze, o wzmocnionej fakturze w skali szarości oraz w innych metodach wizualizacji, takich jak wyświetlenie „mapowania normalnych”¹⁰.

9 Strona umożliwiająca darmowe pobranie jednej z przeglądarek plików .ptm – https://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/View/index.html (dostęp: 30 XI 2023).

10 „Mapowanie normalnych” (ang. *normal mapping*) to „(...) jedna z wielu technik symulowania wypukłości na płaskich wielokątach, stosowana w grafice trójwymiarowej”, https://pl.wikipedia.org/wiki/Mapowanie_normalnych (dostęp: 30 XI 2023), (przypis red.).

Standaryzacja tej techniki, jak i każdej innej we wspomnianym kontekście wymaga podejścia uwzględniającego określenie kilku kluczowych obszarów:

1. Wymogów oraz parametrów jakościowych wykonania reprodukcji w tej technice.
2. Standaryzacji w zakresie archiwizacji długoterminowej wytworzonych danych.
3. Narzędzi zdolnych do udostępniania obiektów cyfrowych użytkownikom końcowym.

Wykonanie dokumentacji RTI

Zasady realizacji produkcji cyfrowej w technice RTI w instytucjach kultury, jakie należałoby przyjąć, powinny opierać się o następujące wytyczne:

1. Zalecenia charakterystyczne dla samej techniki RTI z uwzględnieniem zastosowania przyjętej koncepcji zebrania danych źródłowych (zdjęć) w procesie manualnym lub zautomatyzowanym.
2. Ogólne zalecenia dotyczące zasad digitalizacji obiektów dziedzictwa kulturowego, które stanowią podstawę działalności digitalizacyjnej w instytucjach kultury.
3. Zalecenia wynikające z zastosowania technik specjalnych, o które można wzbogacić dokumentację RTI, takich jak pomiar multispektralny wykonywany w wąskich zakresach długości fali świetlnej (np. w podczerwieni lub ultrafiolecie).

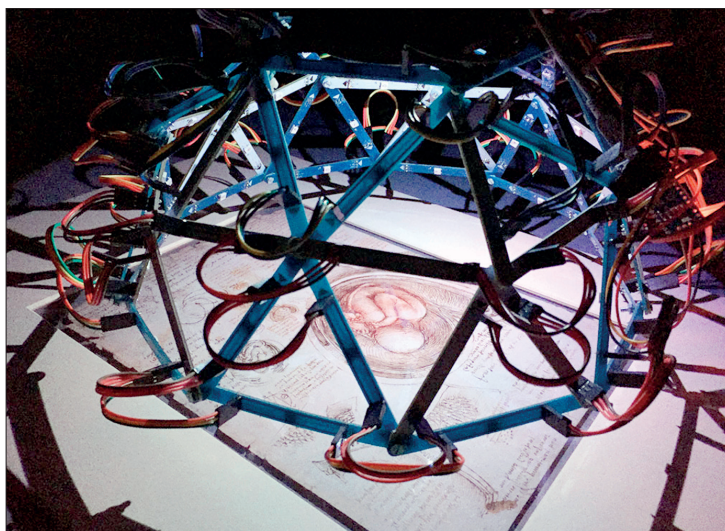
Wykonanie serii ujęć może być realizowane według dwóch sposobów (ze względu na zastosowaną ilość źródeł światła):

- metoda pojedynczego źródła światła – jedno źródło przemieszczane jest manualnie (lub mechanicznie) zgodnie z przyjętą kolejnością. Wariant ten jest szczególnie stosowany przy realizacjach obiektów o dużych rozmiarach bądź też usytuowanych w miejscach uniemożliwiających zastosowanie dedykowanego urządzenia,
- zastosowanie różnego rodzaju urządzeń wyposażonych w wiele źródeł światła, takich jak kopuły (ang. *dome*) czy ruchome ramiona. Publicznie prezentowanych jest wiele konstrukcji, a niekiedy nawet szczegółowych opisów zrealizowanych projektów¹¹. W przeważającej większości dominują urządzenia różnej wielkości w kształcie kopuły. Są to zarówno rozwiązania prototypowe zbudowane w ramach działalności instytucji lub osób prywatnych, jak również seryjnie produkowane rozwiązania komercyjne.

11 Digitalizacja rysunków Leonarda da Vinci w zamku Windsor (Wielka Brytania), <http://www.timzaman.nl/rti-dome> (dostęp: 30 XI 2023).

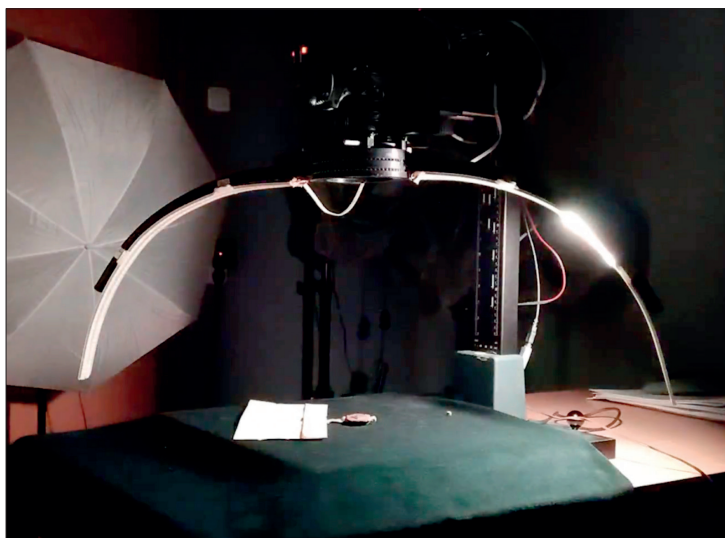
il. 2

Przykład kopuły RTI –
digitalizacja rysunków
Leonarda da Vinci w zamku
Windsor (Wielka Brytania)



il. 3

Ramię obrotowe do
digitalizacji w technice RTI
zaprojektowane i wykonane
przez Marcina Szalę, Michała
Żurawskiego i Pawła
Kmiećnika

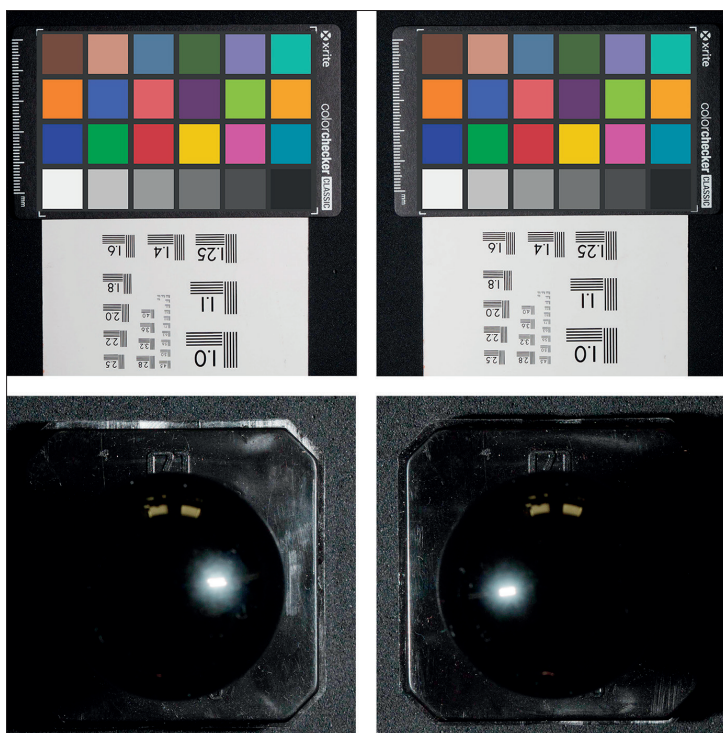


Szczegółowy opis realizacji tej techniki dostępny jest na stronach Cultural Heritage Imaging¹² oraz AIC (ang. *American Institute for Conservation*) Collaborative Knowledge Base¹³ zarówno w wariantcie manualnym, jak i przy użyciu dedykowanych urządzeń¹⁴. Zasadnicze oprogramowanie potrzebne do wykonania pliku .rti czy .ptm oraz

12 Strona główna Cultural Heritage Imaging: <https://culturalheritageimaging.org/Technologies/RTI/> (dostęp: 30 XI 2023).

13 Informacje na temat RTI opracowane przez American Institute for Conservation: [https://www.conservation-wiki.com/wiki/Reflectance_Transformation_Imaging_\(RTI\)](https://www.conservation-wiki.com/wiki/Reflectance_Transformation_Imaging_(RTI)) (dostęp: 30 XI 2023).

14 Opis niedrogiej konstrukcji kopuły: <https://artid.readthedocs.io/en/latest/index.html> (dostęp: 30 XI 2023).



il. 4

Zestawienie przykładowych ujęć referencyjnych: wzornik kolorów (wzornik Color Checker Classic firmy X-Rite) i wzornik MTF (ang. *Modulation Transfer Function*), a w dolnej części zdjęcia widoczna czarna kula wraz z rozbłyskiem pokazującym pozycję źródła światła przy wykonaniu danego zdjęcia

przeglądarki do pracy z tymi formatami dostępne są na stronie Cultural Heritage Imaging. Przy tworzeniu dokumentacji RTI kluczowe znaczenie ma posiadanie niezbędnego zestawu narzędzi. Poza odpowiednim aparatem do rejestracji zdjęć bazowych z zestawem oświetlenia, należy korzystać ze wzornika szarości lub wzornika barwnego oraz kuli rejestrującej pozycję źródła światła (w przypadku pomiaru ręcznego). W związku z tym, iż głównym celem jest analiza faktury obiektu, dobrą propozycją może być również umieszczenie wzornika rozdzielczości choćby na ujęciu testowym. W przypadku zautomatyzowanego procesu przy stałych i powtarzalnych pozycjach źródła światła można wykonać całą serię ujęć wraz z kulą i wspomnianymi wzornikami jako materiał referencyjny do wszystkich wykonywanych na danym stanowisku pomiarów. Takie dane mogą wówczas być zebrane raz dla pewnej większej grupy podobnych w formie obiektów dokumentowanych w ramach tej samej sesji. Ze względu na brak równomierności oświetlenia poszczególnych ujęć, uzyskanie uśrednionego profilu barwnego dla całej prezentacji jest działaniem dość skomplikowanym w realizacji, a tym samym problematycznym w powszechnym zastosowaniu. Wydaje się zatem, że korekcja barwy może być skutecznie realizowana – w przypadku techniki RTI – do poziomu ustalenia właściwego balansu bieli i umieszczenia referencji barwnej w postaci wzornika barw na zdjęciu testowym (niewłączanym do przetwarzania).

Plik .rti lub .ptm, stanowiący główne formaty zapisu finalnego pliku, powstaje w oparciu o zestaw poszczególnych ujęć zapisanych w formacie JPG¹⁵. Optymalnym i sugerowanym przez twórców rozwiązaniem jest wykonanie przetwarzania na plikach pobranych z aparatu w formacie RAW¹⁶, a następnie eksport do formatu graficznego JPG. Celem takiego podejścia jest zminimalizowanie liczby stratnych przetworzeń obrazu w procesie produkcji finalnego pliku prezentacyjnego.

Odwołując się do *Katalogu dobrych praktyk digitalizacji obiektów muzealnych*¹⁷, warto zwrócić szczególną uwagę na kilka podstawowych i istotnych kwestii. Pierwszy obszar uwagi to kompozycja zdjęć bazowych. W kadrze obiekt powinien być widoczny z jednolitym i neutralnym tłem, którego kolor może być dostosowany w zależności od kolorystyki tegoż obiektu. Widoczne tło jest istotnym elementem świadczącym również o wiarygodności realizowanej fotografii dokumentacyjnej. Z tego względu, jeżeli w realizowanych pracach kładziemy nacisk na aspekt dokumentacyjny, to powinniśmy ograniczyć zakres ingerencji w materiał źródłowy do minimum. Nie jest pożądane np. „szparowanie”, mające na celu pozbycie się części tła na zdjęciu i zastąpienie ich sztucznie generowanym wypełnieniem tła w obrazie¹⁸. Kolejną ważną wytyczną jest ustawienie kadru w sposób gwarantujący optymalne jego wypełnienie przez fotografowany obiekt. Jest to istotne ze względu na to, że w czasie wykonywania całej serii zdjęć źródłowych nie może ulec zmianie wzajemne położenie elementów w fotografowanej scenie, a skala odwzorowania obiektu musi być identyczna na wszystkich zdjęciach. Dobór odpowiednich elementów systemu optycznego, takich jak typ obiektywu lub matrycy, powinien zapewnić możliwie najlepszą jakość odwzorowania, a nie będzie to miało miejsca, kiedy obiekt zajmować będzie 10% kadru.

Ze względu na różnorodność modeli urządzeń, które mogą zostać wykorzystane w budowie stanowiska do rejestracji danych RTI, całość systemu powinna zostać udokumentowana. Ma to znaczenie również w przypadkach urządzeń produkowanych komercyjnie, gdyż niektóre systemy dopuszczają zmianę konfiguracji, choćby w zakresie wymiany optyki

15 Plik .jpg zapisywany też jako .jpeg (ang. *Joint Photographic Experts Group*), (przypis red.).

16 Format RAW (z angielskiego, „surowy”) to odpowiednik cyfrowego negatywu. Zależnie od używanego systemu fotograficznego lub typu oprogramowania może być zapisywany w formie pliku z różną nazwą rozszerzenia, np. dla systemu Canon to .crw, dla Nikon a to .nef, a dla oprogramowania Adobe to .dng.

17 *Katalog Dobrych Praktyk Digitalizacji Obiektów Muzealnych*, <https://www.nim.gov.pl/aktualnosci/katalog-dobrych-praktyk-digitalizacji-obiektow-muzealnych.html> (dostęp: 30 XI 2023).

18 W takiej sytuacji tracimy wartość dokumentacyjną, bo nie możemy na przykład stwierdzić, czy jakiś fragment dokumentowanego obiektu nie został „ucięty” w trakcie „szparowania” (przypis red.).

lub aparatu fotograficznego. Nie ma jednoznacznych zaleceń opisujących to, jak taka dokumentacja powinna wyglądać. Za wartą rozważenia propozycję można uznać aplikację Digital Lab Notebook dostępną na stronach Cultural Heritage Imaging¹⁹. Jest to aplikacja bazodanowa, umożliwiająca inwentaryzację typów użytego sprzętu, oprogramowania, procesów digitalizacyjnych, dokumentacji ustawienia sprzętowego oraz organizacji i przepływu prac związanych z realizacją danego działania digitalizacyjnego.

Archiwizacja dokumentacji RTI

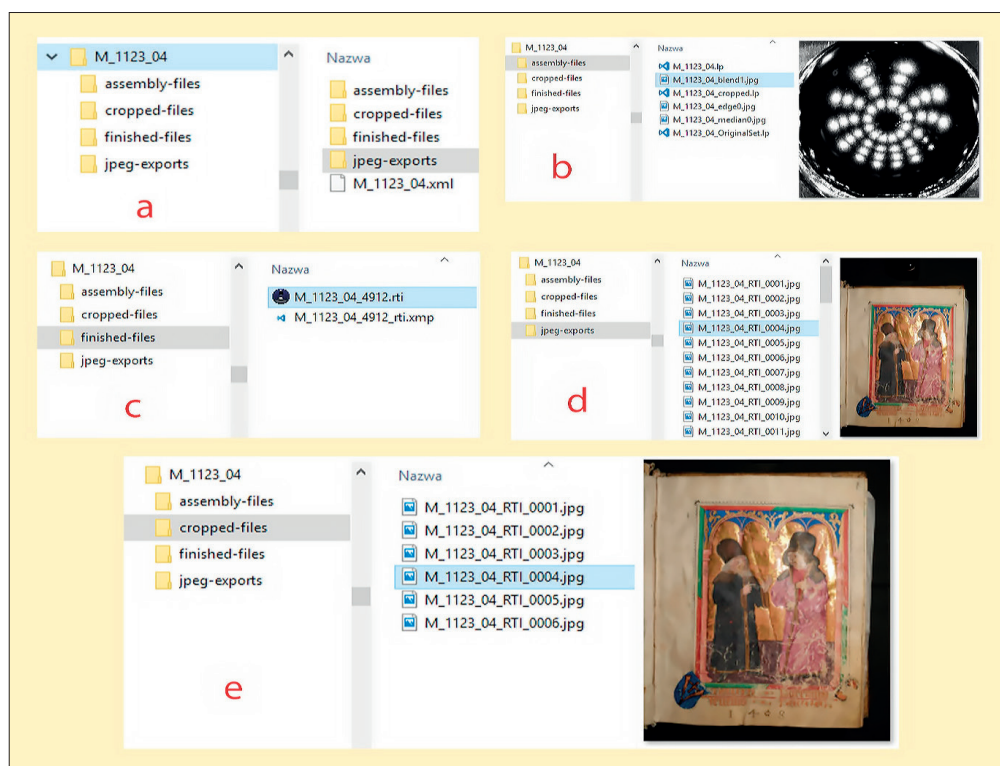
Dane wytworzone w ramach digitalizacji muszą być archiwizowane długoterminowo, zatem przyjęcie standardów w tym obszarze (przynajmniej wytyczenie kluczowego pakietu danych podlegających archiwizacji) jest kwestią istotną. Główny pakiet danych stanowić powinna struktura folderów, jaka powstaje w trakcie wykonywania pliku końcowego. Jej zawartość, przedstawiona na poniższych ilustracjach, zachowuje dość bogaty zbiór danych tworzony na poszczególnych etapach realizacji.

W strukturze przedstawionej na ilustracji 5a-e nie są uwzględnione pliki .raw aparatu, z których generowane są pliki jpg. Mogłyby one być dołączone jako kolejny komponent danych źródłowych. Zachowanie plików raw ze względu na możliwość dokonania ponownych bezstratnych konwersji jest niewątpliwą zaletą. Trzeba pamiętać jednak, iż ta forma zapisu niesie za sobą potrzebę wykorzystania większych przestrzeni dyskowych. Dyskusyjna pozostaje kwestia konieczności długoterminowej archiwizacji plików raw, która mogłaby być zależna od rodzaju i istoty danego przedsięwzięcia digitalizacyjnego.

W nawiązaniu do funkcjonalności wspomnianego wcześniej oprogramowania Digital Lab Notebook warto zwrócić uwagę na podnoszony przez jego twórców aspekt archiwizacji. Polega on na funkcjonalności generowania tzw. paczki danych, określanej jako SIP (ang. *Submission Information Packet*), czyli wejściowej paczki danych do systemu archiwizacji opartego o model OAIS (ang. *Open Archival Information System*)²⁰ wykorzystywany w wielu światowych bibliotekach, archiwach i muzeach. Niezależnie od paczki SIP oprogramowanie umożliwia wygenerowanie raportu w formie pliku HTML, w którym zawarty jest zbiór informacji dotyczących technicznej strony realizacji konkretnego działania digitalizacyjnego. Informacje te zawierają m.in.: opis projektu ze wskazaniem wybranych technik digitalizacyjnych, dokumentów

19 Bezpłatne oprogramowanie pozwalające na zanotowanie metadanych technicznych systemu używanego do prowadzenia prac digitalizacyjnych (nie tylko tworzenia dokumentacji RTI) – https://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/DLN/index.html (dostęp: 30 XI 2023).

20 Model referencyjny Open Archival Information System (OAIS): <https://public.ccsds.org/pubs/650x0m2.pdf> (dostęp: 30 XI 2023).



il. 5a-e

Struktura danych RTI:

a) struktura folderu nadrzędnego wraz z podfolderami, b) assembly-files – dane techniczne zawierające pozycje oświetlenia sfery, c) finished-files – plik wynikowy w formacie .ptm lub .rti, d) jpeg-exports – pliki .jpg będące źródłem do utworzenia pliku wynikowego, e) cropped-files – pliki .jpg uwzględniające ewentualną zmianę kadrowania i zawierające ostateczny kadr prezentacyjny

i zaleceń, w oparciu o które realizowano działania digitalizacyjne, listę sprzętu i oprogramowania wykorzystywanego w danym procesie, opis konfiguracji stanowisk oraz danych wyjściowych stanowiących efekt podejmowanych działań. Zestaw takich danych jest cennym uzupełnieniem wiedzy o jakości i wiarygodności danych cyfrowych, zarówno w aspekcie systematycznego budowania doświadczenia stałego zespołu zajmującego się digitalizacją w danej instytucji, jak i w sytuacji realizacji digitalizacji przez podmioty zewnętrzne. Wówczas tego typu raporty mogą pomóc usystematyzować jakościowy odbiór danych od wykonawcy. Zaprezentowany powyżej przykład narzędzia nie jest bezwzględnym zaleceniem jego stosowania, może natomiast stanowić źródło standaryzacji danych archiwizacyjnych w technice RTI oraz innych.

Prezentacja RTI

Sposób i jakość prezentacji RTI może mieć istotny wpływ na popularność tej techniki. Obecnie ten obszar wymaga rozwoju i unowocześnienia istniejących narzędzi do wytwarzania wersji prezentacyjnych i udostępniania obiektów w przestrzeni cyfrowej tak, aby były łatwo dostępne dla twórców i organizatorów kolekcji cyfrowych. Dominującym narzędziem prezentacji online jest przeglądarka WebRTIViewer²¹ widoczna na ilustracji 2. Jest

21 <https://veg.isti.cnr.it/rti/webviewer.php> (dostęp: 30 XI 2023).

to narzędzie wydajne i sprawnie działające we wszystkich popularnych przeglądarkach internetowych oraz na wszystkich rodzajach urządzeń. Funkcjonalnie daje ona użytkownikowi możliwość manipulowania kątem oświetlenia, jednak bez dodatkowych funkcji dostępnych w lokalnej przeglądarce RTIViewer²², takich jak inne tryby renderowania. Sprawne działanie zapewnia m.in. zastosowanie rozwiązań strumieniowania obrazu opartego o zbiór wielu małych obrazków, tzw. statycznych „kafelków”, czyli małych obrazków zawierających kolejne fragmenty całości obrazu, z których dynamicznie w przeglądarce tworzony jest obraz wyświetlany użytkownikowi. Na liczbę tych plików główny wpływ będzie miała wielkość pliku pierwotnego, na podstawie którego tworzona jest prezentacja online. Struktura danych prezentacyjnych oparta o statyczne kafelki może utrudniać tworzenie repozytoriów zawierających dużą liczbę publikacji. Może się tak dzieć ze względu na trudności ich obsługi przez systemy operacyjne, a także problemy podczas migracji tych danych. Można zatem uznać, że nie jest to najlepsze rozwiązanie w przypadku masowego zastosowania. Kolejną istotną potrzebą jest zapewnienie interoperacyjności danych RTI umożliwiających realizację badań w sieci, podobnie jak to ma miejsce w przypadku standardu International Image Interoperability Framework (IIIF)²³. Pogląd taki oraz koncepcja udostępniania danych RTI (podobnie jak w przypadku standardu IIIF) prezentowane są na przykład w publikacji *Standardized Reflection Transformation Imaging (RTI) for Documentation and Research* autorstwa Petera Fornara i Andrei Bianca²⁴.

Na szczególną uwagę zasługuje także przeglądarka PIXEL+ stworzona przez zespół badaczy i naukowców w ramach projektu, który jest wynikiem współpracy Muzeum Sztuki i Historii, Wydziału Elektrotechniki KU Leuven (KU Leuven Illuminare), Cyfryzacji Bibliotek KU Leuven²⁵.

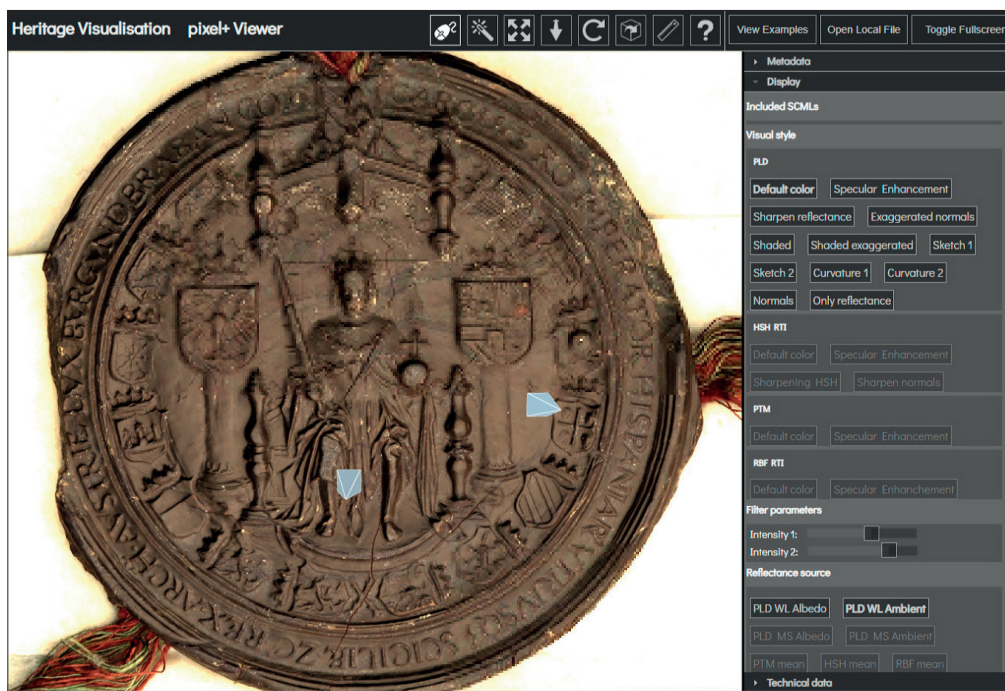
Przeglądarka PIXEL+ umożliwia interaktywną obsługę wielu formatów plików z wieloma światłami z jednej kamery, takich jak: CUN, ZUN, PTM, RTI lub glTF. Narzędzie pozwala na wyświetlenie pliku .ptm lub rti przesłanego z komputera lokalnego i oferuje szereg narzędzi w trybie online, które zazwyczaj są dostępne jedynie w wersji przeglądarki działającej lokalnie (na komputerze użytkownika końcowego) w zakresie ostrzeżenia, cieniowania, map normali i innych. Ponadto umożliwia ona użycie dwóch źródeł światła.

22 https://culturalheritageimaging.org/What_We_Offer/Downloads/View/index.html (dostęp: 30 XI 2023).

23 <https://iiif.io> (dostęp: 30 XI 2023).

24 P. Fornaro, A. Bianco, *Standardized Reflection Transformation Imaging (RTI) for Documentation and Research*, <https://library.imaging.org/archiving/articles/16/1/art00013> (dostęp: 30 XI 2023).

25 Vanweddingen V., Proesmans, M., Hameeuw, H., Vandermeulen, B., Van der Perre, A., Vastenhouw C., Lemmers F., Watteeuw L., Van Gool L. (2020). Przeglądarka Pixel+, dostępna pod adresem: <http://www.heritage-visualisation.org>. (dostęp: 30 XI 2023).



il. 6

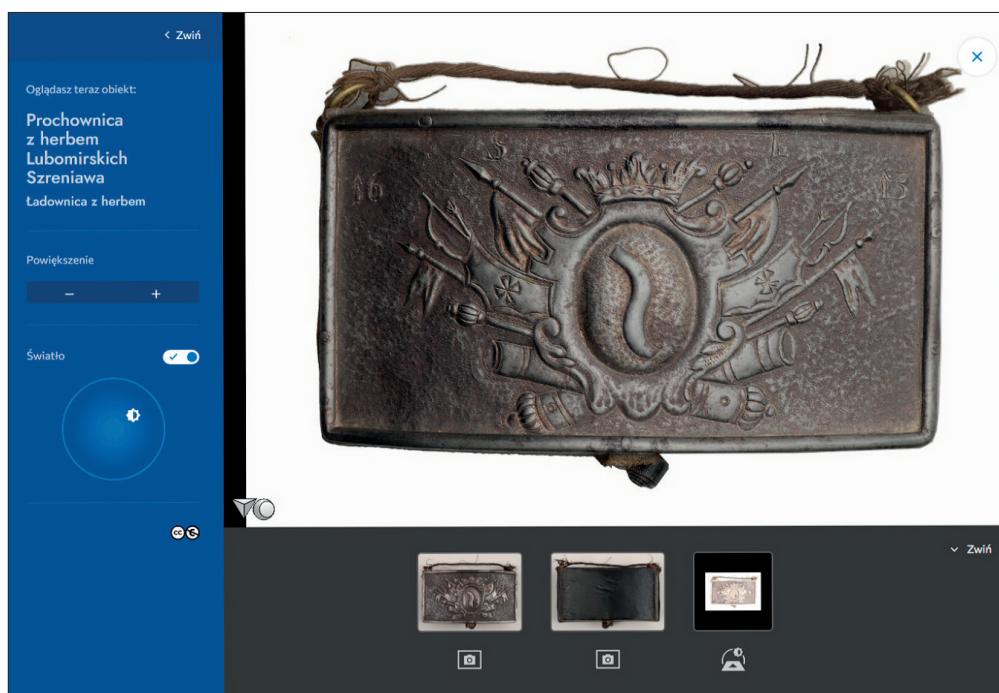
Przeglądarka Pixel+

Kolejnym ciekawym przykładem integracji prezentacji RTI z systemem udostępniającym wirtualne kolekcje zbiorów muzealnych jest portal „W Muzeach”²⁶. Jego powstanie jest wynikiem realizacji projektu kilku instytucji: Muzeum Pałacu Króla Jana III w Wilanowie, Muzeum Historii Żydów Polskich POLIN, Muzeum Narodowego w Lublinie, Muzeum Narodowego w Szczecinie oraz Muzeum – Zamku w Łańcucie. Przeglądarka działająca na stronie tego projektu nie odbiega funkcjonalnością i dostępnością dla użytkownika od popularnej WebRTIViewer, jednak na uznanie zasługuje funkcjonalna i estetyczna integracja tej formy prezentacji z interfejsem portalu.

Nowe odsłony RTI

Wdrożenie techniki RTI jako narzędzia do standardowej digitalizacji otwiera wiele nowych możliwości. Nie wynika to bezpośrednio z samej techniki, a z konieczności wyposażenia pracowni we właściwy sprzęt służący do zbierania danych (np. automatyczna kopuła). Przy odpowiednim zaplanowaniu jego konstrukcji, to samo urządzenie może być wykorzystywane do uzyskania szerokiej gamy produktów digitalizacyjnych – w tym do zbierania danych trójwymiarowych. Poniższy przegląd technik nie ma na celu oceny jakości konkretnych rozwiązań, a jedynie zaprezentowanie potencjalnych możliwości wykorzystania istniejących systemów hardware’owych. Czasy dynamicznego rozwoju technik z pogranicza Com-

26 Plik z dokumentacją RTI dla obiektu *Prochownica z herbem Lubomirskich Szreniawa* prezentowany jest pod linkiem: <https://wmuzeach.pl> (dostęp: 30 XI 2023).



il. 7

Przeglądarka RTI w portalu
„W Muzeach”

puter Vision i Artificial Intelligence oferują coraz szerszy wachlarz metod możliwych do zastosowania w digitalizacji muzealnej. Autorzy tekstu uważają, że obecna rewolucja w zakresie rozwoju oprogramowania ma potencjał na rozwiązanie największych problemów współczesnej digitalizacji, czyli wysokich kosztów wynikających z pracochłonności procesu oraz potrzeby zatrudnienia wykonujących ją techników o szczególnych umiejętnościach. Popularyzacja digitalizacji i zastosowanie jej na masową skalę jest w dniu dzisiejszym bliższe niż kiedykolwiek wcześniej. Wymaga jednak systemowej, odgórnej inicjatywy wprowadzającej standardy jakościowe, katalogi zaleceń, czy nawet umożliwiające dostęp do oprogramowania bazującego na otwartych licencjach.

Poza powszechnie znanymi metodami digitalizacji trójwymiarowej, takimi jak triangulacja fotogrametryczna²⁷ lub coraz doskonalsze modele AI stosowane do generowania brył 3D²⁸, istnieją techniki pozwalające na wykorzystanie parametrów związanych z oświetleniem obiektu na zdjęciu 2D (rozkładu światła i cieni) do estymacji geometrii. Technika Shape From Shading²⁹, opisana już w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku, pozwala na stworzenie przybliżonego modelu geometrii interesującego nas

²⁷ <https://alicevision.org/> (dostęp: 30 XI 2023).

²⁸ <https://blogs.nvidia.com/blog/2022/03/25/instant-nerf-research-3d-ai/> (dostęp: 30 XI 2023).

²⁹ R. Zhang, T. Ping-Sing, J. E. Cryer et al., *Shape-from-shading: a survey*, „IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence”, t. 21, 1999, <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/784284> (dostęp: 30 XI 2023).

obiekty. Pomimo tego, że nie została ona podstawową techniką digitalizacji trójwymiarowej, pozwala na wykonanie tak zwanej „mapy głębi” (ang. *depth map*)³⁰, czyli mapy zawierającej informację o względnej odległości danej części fotografowanego obiektu od aparatu fotograficznego. Technika ta jest wciąż popularna i wykorzystywana w aplikacjach, w których nie ma potrzeby uzyskiwania bardziej skomplikowanych danych trójwymiarowych, o czym świadczy spora ilość implementacji dostępnych na platformie github (82 rezultaty). Technika Shape From Shading została wspomniana ze względu na to, że proces akwizycji danych jest bardzo zbliżony do tego koniecznego do zastosowania w przypadku techniki RTI. Dzięki temu, w sytuacjach, w których nie jest konieczne wykonanie bardzo dokładnego modelu 3D, technika Shape From Shading, będąca możliwą do zastosowania na danych zebranych do klasycznego RTI, może niskim kosztem i nakładem pracy wzbogacić wykonywaną digitalizację o estymację trzeciego wymiaru. Innym rozwiązaniem jest uzyskiwanie bryły trójwymiarowej bezpośrednio z przetworzenia wartości tzw. mapy normalnych. Prawdopodobnie pod wieloma współczesnymi projektami nazywanymi „shape from shading” kryje się właśnie ta metoda. Możliwe jest w niej estymowanie bryły 3D przy użyciu „mapy normali” uzyskanej w procesie Photometric Stereo³¹. W tym przypadku przybliżony model geometrii uzyskiwany jest w pełni z produktu wcześniejszej digitalizacji (tworzonej na potrzeby stworzenia pliku .ptm), co sprawia, że całość procesu może zostać zautomatyzowana i będzie wymagała jeszcze mniejszych nakładów pracy, aby uzyskać dodatkową informację. Warto jednak zaznaczyć, że obiekty 3D tworzone w ten sposób będą miały głównie wartość wizualizacyjną czy poglądową i należy podchodzić do ich poprawności metrologicznej z dużym dystansem. Zaimplementowanie powyższych rozwiązań pozwalających na wykorzystanie procesu digitalizacji RTI czy Photometric Stereo do wykonania prostych rekonstrukcji 3D jest zarówno w zasięgu finansowym, jak i organizacyjnym większości instytucji kulturalnych w Polsce. Efektem takiego działania mogłyby być tysiące poglądowych modeli trójwymiarowych powstających każdego roku przy zaangażowaniu bardzo ograniczonych środków. W sytuacji, w której dana placówka posiada już infrastrukturę pozwalającą na automatyczne tworzenie dokumentacji RTI, włączenie procesu Photometric Stereo do ścieżki tworzenia digitalizacji to dla programisty wyspecjalizowanego w dziedzinie Computer Vision kilka dni pracy. Wdrożenie tego typu rozwiązań nie natrafia zatem na barierę techniczną lub finansową. Na przeszkodzie stoi brak motywacji do podjęcia takiego działania spowodowany wątpliwościami danej placówki, czy produkty cyfrowe stworzone w wyniku takiego procesu (modele trójwymiarowe powstałe w oparciu o „mapy głę-

30 https://en.wikipedia.org/wiki/Depth_map (dostęp: 30 XI 2023).

31 https://pages.cs.wisc.edu/~csverma/CS766_09/Stereo/stereo.html (dostęp: 30 XI 2023).

bi” lub dane z Photometric Stereo) mają jakąkolwiek wartość. Decyzji takiej nie będzie w stanie świadomie podjąć szeregowy pracownik muzeum czy biblioteki odpowiedzialny za zbiory. Konieczne jest przeprowadzenie procesu testującego metodę pod kątem możliwych zastosowań i wydanie opinii oraz zaleceń dotyczących jej wykorzystania. Posiadając opinię grupy eksperckiej dotyczącej danej techniki, podjęcie decyzji o jej wdrożeniu będzie dużo łatwiejsze, zwłaszcza jeżeli wraz z decyzją powstanie narzędzie dopasowane do potrzeb digitalizacji, pozwalające na jej masowe zastosowanie. Stworzenie oprogramowania na otwartych licencjach skierowanego do muzeów i bibliotek nie byłoby dużym wysiłkiem, zwłaszcza w przypadku inicjatywy centralnie planowanej dla całego kraju. Oczywiście ten efekt nie będzie miał miejsca w przypadku prób opracowania takiego rozwiązania przez fascynatów, robiących to w ramach hobby. W przypadku opracowania takiej metodologii bardzo podstawowa digitalizacja 3D mogłaby stać się na tyle dostępna i powszechna, że każde, nawet najmniejsze polskie muzeum³², po podjęciu decyzji o zastosowaniu metod fotometrycznych³³ do digitalizacji, mogłoby ją przeprowadzać nie ponosząc dodatkowych kosztów³⁴. Powyższe rozwiązanie w zakresie tworzenia modeli trójwymiarowych można rozważać jako niskokosztowy suplement do istniejących rozwiązań. Nie zastąpią one na wszystkich polach zastosowań pełnoprawnej dokumentacji trójwymiarowej, tworzonej za pomocą fotogrametrii czy światła strukturalnego. Nie są znane autorowi źródła mówiące o dokładności czy możliwości kalibracji metrologicznej metod Shape From Shading dla odwzorowania geometrii 3D. Istniejące źródła³⁵ nie wyczerpują tematu w stopniu mogącym dać odpowiedź na pytanie dotyczące potencjalnego zakresu zastosowania techniki. Potrzeba opinii eksperckich w danej materii uwidacznia się tym bardziej. Uzasadnia to konieczność przeprowadzenia badań laboratoryjnych i porównawczych, na podstawie których mogłaby zostać przygotowana taka opiniotwórcza analiza.

Shape From Shading nie jest jedyną metodą pozwalającą na uzyskanie danych przestrzennych na podstawie przetwarzania podobnego zestawu danych, jak w przypadku RTI czy Photometric Stereo. Inną, mającą dużo większy potencjał poprawnego odwzorowania geometrii jest technika określana jako Multiview Photometric Stereo. Technika ta jest wciąż aktywnie rozwijana³⁶, jednak nie uzyskała zainteresowania dużych ko-

32 Posiadające już jednak infrastrukturę do automatycznego tworzenia dokumentacji RTI, co jest kosztem około 20 000 PLN (zakup zautomatyzowanej kopułki, aparatu cyfrowego i komputera), (przypis red.).

33 Techniki Reflectance Transformation Imaging i Photometric Stereo.

34 Oczywiście w odniesieniu do obiektów, które można umieścić na takim zautomatyzowanym stanowisku pomiarowym (przypis. red.).

35 <https://normandie-univ.hal.science/hal-02118556/document> (dostęp: 30 XI 2023).

36 <https://publications.aston.ac.uk/id/eprint/38514/> (dostęp: 30 XI 2023).

mercyjnych firm na tyle, by stać się szeroko wykorzystywaną. Wynika to najprawdopodobniej z tego, że komercyjne produkty używane wtórnie w trójwymiarowej digitalizacji obiektów dziedzictwa kulturowego są opracowywane pierwotnie głównie dla geodetów czy studiów VFX (ang. *visual effects*) zajmujących się tworzeniem cyfrowych efektów specjalnych. Zastosowanie urządzeń do pozyskiwania danych dla metod pokrewnych do RTI, w innych branżach niż szeroko pojęta dokumentacja dziedzictwa kulturowego, jest na dzień dzisiejszy wciąż rzadkością. Technika Multiview Photometric Stereo pozwala na tworzenie modeli trójwymiarowych w sposób podobny do mechanizmu Multi-View Stereo, będącego częścią standardowego procesu fotogrametrycznego. Pozwala zarazem na zwiększenie dokładności odwzorowania modelu, jeżeli przetwarzanie Multiview Photometric Stereo połączymy z klasycznym przetwarzaniem fotogrametrycznym. W tym wypadku informacje zawarte w tzw. „mapie normali” nie są zapisywane w bitmapach (jak to ma miejsce na przykład w technice RTI), ale zostają przeliczone do trójwymiarowej geometrii. Technika Multiview Photometric Stereo została wspomniana w artykule ze względu na to, że proces akwizycji danych jest tu bardzo zbliżony do procesu pozwalającego na łączenie danych Photometric Stereo z fotogrametrią. Te same dane mogą posłużyć do wykonania modelu przy użyciu obu metod, dając inny produkt końcowy. Multiview Photometric Stereo jest bardzo obiecującą techniką. Wraz z dzisiejszym rozwojem technik sztucznej inteligencji, Multiview Photometric Stereo może okazać się wkrótce metodą oferującą najbardziej dokładne odwzorowanie detali. Dodatkowo, te same dane mogą posłużyć do analizy refleksyjności powierzchni obiektu, tworząc kompleksowy model 3D. Mimo trudności, jakie Multiview Photometric Stereo ma z przebicciem się na komercyjne rynki, oferuje ono możliwości stworzenia poprawnego odwzorowania trójwymiarowego wyłącznie w oparciu o dane zebrane przy użyciu tego samego typu rozwiązań sprzętowych, jak te wykorzystywane przy tworzeniu dokumentacji RTI. Dane zebrane na potrzeby Multiview Photometric Stereo mogą również posłużyć do stworzenia modelu BRDF (ang. *Bidirectional Reflectance Distribution Function*)³⁷ powierzchni. Na chwilę obecną techniki te mają na tyle wysoki próg wejścia, jeżeli chodzi o wiedzę z zakresu technik cyfrowego przetwarzania obrazu, że pozostają niedostępne dla większości instytucji muzealnych. Sytuacja ta może jednak ulec zmianie już w najbliższych latach ze względu na rewolucyjny postęp w zakresie metod przetwarzania danych z wykorzystaniem inteligentnych algorytmów (ang. *machine learning*).

Kolejną możliwością wykorzystania rozwiązań sprzętowych używanych do tworzenia dokumentacji RTI może być budowanie wspomnianych wyżej modeli BRDF. Po raz kolejny dane zebrane do Photometric Stereo mogą

37 <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=989bdf72f21ee01da3b8d0d8798fa98e4d62841bc> (dostęp: 30 XI 2023).

zostać wykorzystane w celu uzyskania dodatkowych informacji o charakterze powierzchni skanowanego obiektu. Posiadanie dokładnej informacji o tym, w jaki sposób powierzchnia obiektu odbija światło, stanowi wartość dokumentacyjną, a oprócz tego pozwala na stworzenie atrakcyjnych wizualizacji 3D, w których powierzchnia modelu trójwymiarowego będzie w realistyczny sposób reagowała na zmieniające się warunki oświetleniowe. Ostatnio pojawia się wiele opracowań naukowych dotyczących metody SVBRDF (ang. *Spatially Varying Bidirectional Reflectance Distribution Function*), w których zastosowanie algorytmów sztucznej inteligencji pozwoliło na znaczne przyspieszenie procesu obliczeniowego³⁸ i umożliwiło jego praktyczne zastosowanie przy tworzeniu warstw materiałowych na modelach trójwymiarowych – tak zwanych warstw PBR (ang. *Physically Base Rendering*). Technika ta, zyskująca coraz większe zainteresowanie w świecie twórców gier komputerowych i w przemyśle efektów specjalnych, ma ogromny potencjał także w tworzeniu trójwymiarowych modeli obiektów dziedzictwa kulturowego.

Z kolei algorytmy sztucznej inteligencji mogą również pozwolić na tworzenie geometrii powierzchni modeli trójwymiarowych w miejscach, w których nie było możliwe wykonanie pomiaru (na przykład z powodu ograniczeń technologicznych). Na przykład bardzo ciekawy projekt zrealizowany dwadzieścia lat temu przez Institute for Creative Technologies University of Southern California (USA), którego celem było stworzenie trójwymiarowego modelu ruin Partenonu w Atenach z wykorzystaniem mechanizmów BRDF³⁹, mógłby dzisiaj być przeprowadzony w dużo łatwiejszy sposób przy użyciu sztucznej inteligencji. Poza niższym kosztem, prawdopodobnie udałooby się uzyskać wyższą dokładność odwzorowania ze względu na dużo większe możliwości analityczne dzisiejszych algorytmów sztucznej inteligencji niż metody zastosowanej w powyżej wspomnianym projekcie. Warto zauważyć, że w projekcie zostały wykorzystane techniki mapowania światła HDRI (ang. *High Dynamic Range Image*)⁴⁰, szeroko używane w produkcjach filmowych. Przenikanie technik cyfrowych wykorzystywanych w przemyśle filmowym i przemyśle gier do procesów tworzenia dokumentacji obiektów dziedzictwa kulturowego nie jest zjawiskiem nowym. Ze względu na niewielki potencjał

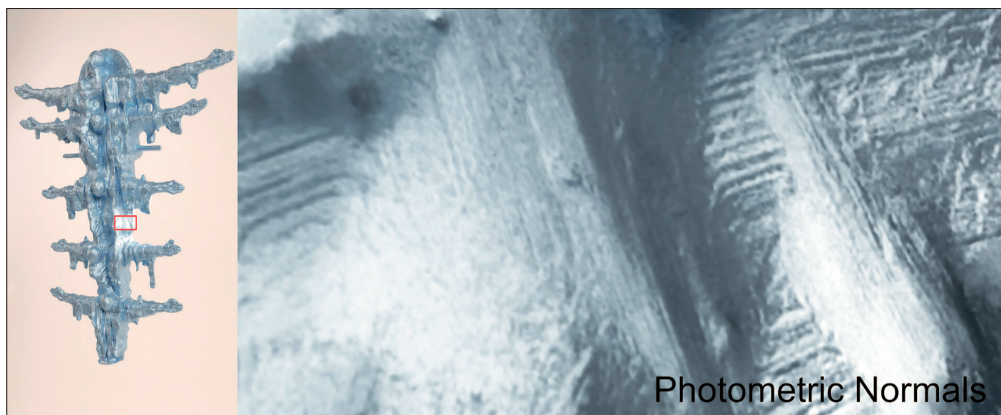
38 http://www-sop.inria.fr/revs/Basilic/2019/DADDB19/Flexible_multi_inputs_svbrdf.pdf (dostęp: 30 XI 2023).

39 <https://www.youtube.com/watch?v=DmRu0Ze8gwY> (dostęp: 30 XI 2023).

40 Urządzenia rejestrujące obraz cyfrowy (matryce w aparatach i kamerach) mają ograniczony zakres dynamiki, co powoduje, że są w stanie rejestrować szczegóły obrazu tylko w partiach kadru o określonych wartościach oświetlenia. W związku z tym nie rejestrują szczegółów zarówno w obszarach zbyt jasnych, jak i w obszarach zbyt ciemnych. W roku 1986 Gregory Ward wynalazł pliki HDRI, które rozwiązują problem ograniczonego zakresu dynamiki poprzez połączenie na jednym zdjęciu odwzorowania tonalnego zarejestrowanego na wielu zdjęciach wykonanych przy różnych parametrach ekspozycji (długość czasu otwarcia migawki), (przypis red.).

gospodarczy zespół działań prowadzonych na potrzeby historii kultury materialnej niezwykle rzadko może liczyć na opracowanie specjalnie dla niego zaawansowanych technologii i jest skazany na adaptowanie do własnych potrzeb rozwiązań technicznych stworzonych na potrzeby większych gałęzi gospodarki (w tym wypadku tzw. przemysłów kreatywnych). Zdaniem autorów tego artykułu traktowanie procesu cyfryzacji obiektów dziedzictwa kulturowego jako wycinka świata technologii, niezwiązanego z innymi pokrewnymi dziedzinami byłoby błędem i prowadziłoby do izolacji oraz zacofania. Użytkownicy technik fotometrycznych, stanowiący społeczność skoncentrowaną na realizacji obiektów do gier komputerowych i efektów specjalnych, opracowują szereg prostych i wydajnych metod dużo szybciej, niż dzieje się to w świecie związanym z dziedzictwem kulturowym. Jeżeli nawet potencjał jakiejś technologii, jak na przykład BRDF, zostaje dostrzeżony w środowisku związanym z dokumentacją dziedzictwa kulturowego, to budzi ona dużo większe zainteresowanie we wspomnianych przemysłach kreatywnych. Wynikiem tego zainteresowania jest dynamiczny rozwój tych metod, który pozwala nie tylko obniżyć koszty produkcji, ale także zwiększa poziom szczegółowości tworzonych modeli trójwymiarowych. Na dzień dzisiejszy materiały (modele i tekstury) do tworzenia grafiki trójwymiarowej produkowane są w sposób daleko odbiegający od kryteriów sporządzania dokumentacji archiwizacyjnej, co wynika z całkowicie odmiennego podejścia metodologicznego. Materiały mające reprezentować powierzchnię modeli 3D dotychczas tworzone były zazwyczaj przez artystę-grafika według jego uznania, głównie na podstawie analizy składowych obrazu RGB. Takie podejście wiązało się zarówno z niską dokładnością odwzorowania rzeczywistego obiektu, jak też poprzez duży nakład pracy manualnej generowało wysokie koszty. Jako wprowadzaną dzisiaj alternatywę dla takiego rozwiązania można podać metody SVBRDF wspierane przez sztuczną inteligencję. Nie tylko koszt i jakość wizualizacji zostaną w nich zoptymalizowane, ale również wzrośnie dokładność odwzorowania obiektu wzorcowego. Oczwistym warunkiem szerszego zastosowania takich metod do tworzenia modeli obiektów dziedzictwa kulturowego jest ich dokładne opisanie w sposób, który nie będzie pozostawiał wątpliwości muzealnikiem, na jaką dokładność może liczyć, korzystając z takiego rozwiązania.

Technika RTI nie jest szczególnie popularna poza światem muzeów i bibliotek. Wynika to z faktu zastosowania specjalnego formatu plików .ptm. Jest to obraz posiadający dziewięć kanałów (w przeciwieństwie do trzech w plikach jpg czy czterech w plikach png) obsługiwany przez bardzo wąską grupę programów. Z tego powodu to Photometric Stereo oparte na bardziej rozpowszechnionych trzykanałowych formatach plików zyskuje na popularności i rozwija się w szybkim tempie (231 wyników w repozytorium na Githubie). Dzięki temu rozwojowi pojawiają



il. 8

się również nowe możliwości dla digitalizacji zabytków. Korzystając z Photometric Stereo autor przygotował model trójwymiarowy rzeźby, mającej formę metalowego krzyża⁴¹ (il. 8). Widoczne na modelu detale byłyby niemożliwe do zarejestrowania nawet przy zastosowaniu bardzo wysokiej jakości skanerów laserowych lub skanerów światła strukturalnego, ze względu na odbijający charakter powierzchni rzeźby. Tylko w przypadku skanowania makro, które wymaga nieporównywalnie więcej czasu i kosztownego sprzętu, możliwe jest uzyskanie podobnej szczegółowości. Pomimo tego, że powyżej opisana metoda Photometric Stereo jest coraz powszechniejsza w branży filmowej, wciąż budzi niedowierzanie i zdziwienie wśród osób zajmujących się digitalizacją w instytucjach kultury.

Model trójwymiarowy metalowej rzeźby pt. *Krzyż Oświęcimski 1977* Gustawa Zemły, ze zbiorów Muzeum Archidiecezji Warszawskiej, opracowany metodą SVBRDF (ang. *Spatially Varying Bidirectional Reflectance Distribution Function*)

Wykorzystanie technik rozpowszechnionych w innych dziedzinach nie tylko pozwala na szybsze i tańsze wykonanie digitalizacji. Efekty pracy są kompatybilne ze znakomitą większością silników renderujących modele 3D dostępnych na rynku. W tym samym czasie żaden z nich nie wykorzystuje plików .ptm. Można byłoby zatem wnioskować, że technika RTI, której efektem są pliki .ptm, jest przeżytkiem i należy jak najszybciej od niej odejść. Autorzy nie podzielają takiego zdania. RTI znalazło swoją niszę nie bez przyczyny. Odpowiada na zapotrzebowania współczesnej digitalizacji w pewien konkretny sposób, który sprawia, że wartość dokumentacyjna tej digitalizacji jest niepodważalna. Autorzy uważają jednak, że skoro dzięki wykorzystaniu tych samych danych, co do stworzenia pliku .ptm, możliwe jest opracowanie estymowanego modelu trójwymiarowego, to szansa taka powinna być masowo wykorzystywana. Wykonując dodatkowe obliczenia nieznaczające kosztu wykonania digitalizacji, uzyskuje się dostęp do wszystkich popularnych silników renderujących i znacznie poszerza się możliwości prezentacji obiektów. Niestety technika Photometric Stereo jest prawie niezau-

41 <https://www.artstation.com/artwork/498DmY> (dostęp: 30 XI 2023).

ważona w świecie cyfrowej dokumentacji dziedzictwa kulturowego ze względu na to, że jest przede wszystkim wykorzystywane przez branżę filmową⁴².

Największą zaletą implementacji technik fotometrycznych w digitalizacji muzealnej lub bibliotecznej jest fakt bardzo niskiego kosztu początkowego w porównaniu do technik takich jak skanowanie z oświetleniem strukturalnym czy zastosowanie skanerów laserowych. Urządzenia konieczne do wykonania takiej dokumentacji są na tyle proste w konstrukcji, że możliwe jest skonstruowanie ich samodzielnie, bez konieczności zakupu gotowych rozwiązań. Wartość danych otrzymywanych w digitalizacji jest wielowymiarowa i nadaje się do zastosowania zarówno dla 2D, jak i 3D. Dzisiejsze zastosowanie fotometrii w digitalizacji nie oddaje nawet w małym stopniu istniejących możliwości. Konieczna jest jednak inicjatywa, która te metody opíše i przygotuje do użytku. Nie należy wymagać od przeciętnego muzealnika wiedzy na temat wszystkich nowinek ze świata Computer Vision. Świetnym przykładem na to, jak odgórna inicjatywa może zmienić rynek skanowania 3D, jest słowacki program Reality Capture. Oprogramowanie ma swój początek w projekcie, który miał na celu zdigitalizowanie dużej liczby obiektów 3D w słowackim muzealnictwie. W zaledwie kilka lat opracowany przez słowackie studio program fotogrametryczny stał się jednym z liderów globalnego rynku fotogrametrycznego, a czasy obliczeń spadły wielokrotnie poprzez presję jaką Reality Capture nałożyło na konkurencję. Podobną przyszłość może mieć fotometria, konieczne jest jednak przemyślane działanie, oparte na eksperckich opiniach i wspólnie wypracowanych standardach. Powszechna, tania i łatwa digitalizacja jest w dzisiejszych czasach osiągalna i nie należy zwlekać z jej wdrożeniem.

BIBLIOGRAFIA

- Coules H. E., Orrock P. J., Er Seow C., *Reflectance Transformation Imaging as a tool for engineering failure analysis*, „Engineering Failure Analysis”, t. 105, 2019, s. 1006–1017.
- Deschaintre V., Aittala M., Durand F., Drettakis G., Bousseau A., *Flexible SVBRDF Capture with a Multi-Image Deep Network*, Eurographics Symposium on Rendering 2019, red. T. Boubekeur, P. Sen, „Computer Graphics Forum” (EGSR Conference Proceedings), t. 38, 2019, nr 4; www.sop.inria.fr/reves/Basilic/2019/DADDB19/Flexible_multi_inputs_svbrdf.pdf.
- Fornaro P., Bianco A., *Standardized Reflection Transformation Imaging (RTI) for Documentation and Research*, (IS&T Archiving 2019, t. 16), s. 57–60; library.imaging.org/archiving/articles/16/1/art00013.
- Hernández C., Vogiatzis G., Cipolla R., *Multiview photometric stereo*, „IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence”, t. 30, 2008, nr 3, s. 548–554; publications.aston.ac.uk/id/eprint/38514/.

42 VFX (od ang. *Visual Effects*) oznacza cyfrowo tworzone efekty wizualne (przypis red.).

- ICT Vision and Graphics Lab, Capturing the Geometry and Reflectance of the Parthenon, [youtube.com/watch?v=DmRu0Ze8gwY](https://www.youtube.com/watch?v=DmRu0Ze8gwY).
- Matusik W., Pfister H., Brand M., McMillan L., *Efficient isotropic BRDF measurement*, Eurographics Symposium on Rendering 2003, „Proceedings of the 14th Eurographics Workshop on Rendering: June 25–27, 2003, Leuven, Belgium”, red. S. Spencer, P. Christensen et al., (ACM International Conference Proceeding Series 2003, t. 44), s. 241–247; citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=989bdf72f21e01da3b8d-0d8798fa98e4d62841bc.
- Mytum H., Peterson J. R., *The application of reflectance transformation imaging (RTI) in historical archaeology*, „Historical Archaeology”, t. 52, 2018, s. 489–503.
- Narodowy Instytut Muzeów (NIM), *Katalog Dobrych Praktyk Digitalizacji Obiektów Muzealnych*; nim.gov.pl/aktualnosci/katalog-dobrych-praktyk-digitalizacji-obiektow-muzealnych.html.
- Quéau Y., Mélou J., Castan F., Durou J.-D., Cremers D., *A Variational Approach to Shape-from-shading Under Natural Illumination*, 11th International Workshop on Energy Minimization Methods in Computer Vision and Pattern Recognition (EMMCVPR 2017), Oct. 2017, s. 342–357; normandie-univ.hal.science/hal-02118556/document.
- Salian I., *NVIDIA Research Turns 2D Photos Into 3D Scenes in the Blink of an AI*, NVIDIA, 25.03.2022, blogs.nvidia.com/blog/2022/03/25/instant-nerf-research-3d-ai/.
- Vastenhoud C., Proesmans M., Hameeuw H., Konijn P., Vandermeulen B., Lemmers F., Van der Perre A., Watteeuw L., Van Gool L., Vanweddin-gen V., *PLXEL+ Universal Web Interface for Interactive Pixel-Based file formats. Final Report*, Belgian Science Policy Office, BRAIN-be (Belgian Research Action through Interdisciplinary Networks), 2021.
- Verma C. S., Wu M.-J., *Photometric Stereo*; pages.cs.wisc.edu/~csverma/CS766_09/Stereo/stereo.html.
- Zhang R., Ping-Sing T., Cryer J. E. et al., *Shape-from-shading: a survey*, „IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence”, t. 21, sierpień 1999, nr 8, s. 690–706, ieeexplore.ieee.org/abstract/document/784284.
- Żurawski M., *Artwork*, photogrammetry + photometry + polarisation project, artstation.com/artwork/498DmY.

SPIS ILUSTRACJI:

- s. 158 Przykład prezentacji online pieczęci w Archiwum Państwowym we Wrocławiu: wersja 2D (górze) oraz RTI (dół), il. Marcin Szala
- s. 160 Przykład kopuły RTI – digitalizacja rysunków Leonarda da Vinci w zamku Windsor (Wielka Brytania), il. Tim Zaman
- s. 160 Ramię obrotowe do digitalizacji w technice RTI zaprojektowane i wykonane przez Marcina Szalę, Michała Żurawskiego i Pawła Kmiecika, il. Marcin Szala
- s. 161 Zestawienie przykładowych ujęć referencyjnych: wzornik kolorów (wzornik Color Checker Classic firmy X-Rite) i wzornik MTF (ang. *Modulation Transfer Function*), w dolnej części zdjęcia widoczna czarna

- kula wraz z rozbłyskiem pokazującym pozycję źródła światła przy wykonaniu danego zdjęcia, il. Marcin Szala
- s. 164 Struktura danych RTI: a) struktura folderu nadrzędnego wraz z podfolderami, b) assembly-files – dane techniczne zawierające pozycje oświetlenia sfery, c) finished-files – plik wynikowy w formacie .ptm lub .rti, d) jpeg-exports – pliki .jpg będące źródłem do utworzenia pliku wynikowego, e) cropped-files – pliki .jpg uwzględniające ewentualną zmianę kadrowania i zawierające ostateczny kadr prezentacyjny, il. Marcin Szala
- s. 166 Przeglądarka Pixel+ (zrzut ekranowy – Marcin Szala)
- s. 167 Przeglądarka RTI w portalu „W Muzeach” (zrzut ekranowy – Marcin Szala)
- s. 173 Model trójwymiarowy metalowej rzeźby pt. *Krzyż Oświęcimski 1977* Gustawa Zemły, ze zbiorów Muzeum Archidiecezji Warszawskiej, opracowany metodą SVBRDF (ang. *Spatially Varying Bidirectional Reflectance Distribution Function*). Autor modelu trójwymiarowego – Michał Żurawski, il. Michał Żurawski

MARCIN SZALA

<https://orcid.org/0009-0001-6741-9119>

Od 2004 roku zajmuje się digitalizacją zbiorów (rękopisy, inkunabuły, stare druki, litografie, fotografie, mapy, druki współczesne) w Bibliotece Uniwersyteckiej we Wrocławiu. W tej instytucji opracował i wdrożył proces fotograficznej dokumentacji opraw i znaków wodnych. Zaprojektował i zbudował (wspólnie z M. Żurawskim i P. Kmiecikiem) urządzenie do digitalizacji metodą Reflectance Transformation Imaging. Uczestniczy w organizacji procesów digitalizacji przetwarzania i archiwizacji zbiorów cyfrowych oraz ich udostępniania. Jest współtwórcą koncepcji funkcjonalnej systemu prezentacji zbiorów oraz przetwarzania zasobów cyfrowych dziedzictwa kulturowego na Uniwersytecie Wrocławskim opartej o International Image Interoperability Framework IIIF. Był członkiem grup eksperckich w zakresie digitalizacji w Narodowym Instytucie Muzealnictwa i Ochrony Zbiorów (obecnie NIM). Jest autorem publikacji dotyczących digitalizacji zbiorów.

Opracowanie wykonano w ramach prac własnych autora.

Kontakt: marcin.szala@uwr.edu.pl

MICHAŁ ŻURAWSKI

<https://orcid.org/0009-0008-3869-098X>

Specjalista z zakresu tworzenia trójwymiarowej dokumentacji obiektów kultury materialnej. Autor szkoleń dotyczących fotogrametrii oraz przetwarzania danych pomiarowych. Współpracował w projektach badawczych oraz digitalizacyjnych z wieloma polskimi instytucjami, takimi jak Uniwersytet Warszawski (pierwsza drukowana mapa 3D dla niewidomych) czy Uniwer-

syet Wrocławski (projekt zautomatyzowanego stanowiska RTI – wspólnie z M. Szalą i P. Kmicikiem). Głównym obszarem zainteresowań jest zastosowanie nowych technik cyfrowych w optymalizacji i automatyzacji procesów digitalizacyjnych.

Opracowanie wykonano w ramach prac własnych autora.

Kontakt: michal_zurawski@protonmail.ch

