

**PROBLEMATYKA POZYSKIWANIA I PRZETWARZANIA DANYCH
FOTOGRAMETRYCZNYCH I Z NAZIEMNEGO SKANINGU
LASEROWEGO NA POTRZEBY TWORZENIA PORTALI
EDUKACYJNYCH I WIRTUALNYCH MUZEÓW NA PRZYKŁADZIE
KATEDRY WAWELSKIEJ**

**ISSUE OF DATA ACQUISITION AND PROCESSING USING SHORT
RANGE PHOTOGRAMMETRY AND TERRESTRIAL LASER SCANNING
FOR EDUCATIONAL PORTALS AND VIRTUAL MUSEUMS BASED ON
WAWEL CATHEDRAL**

Bartosz Mitka¹, Paweł Szelest²

¹Katedra Geodezji Rolnej, Katastru i Fotogrametrii, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

²Małopolski Instytut Kultury

SŁOWA KLUCZOWE: skanowanie laserowe, przetwarzanie danych, wirtualne muzea, portale edukacyjne

STRESZCZENIE: Artykuł prezentuje problematykę związaną z pozyskiwaniem i przetwarzaniem danych fotogrametrycznych i z naziemnego skaningu laserowego na potrzeby tworzenia portali edukacyjnych i wirtualnych muzeów. Omówione zostały specyficzne wymagania, technologie pomiaru i przetwarzania danych dla różnego rodzaju obiektów, począwszy od architektury poprzez rzeźbę i detal architektoniczny po tkaniny i pojedyncze eksponaty muzealne.

Portale edukacyjne i wirtualne muzea wymagają nowoczesnych, wysokiej jakości materiałów wizualnych (modele 3D, wirtualne wycieczki, animacje, itp.) uzupełnionych o treści opisowe lub komentarz audio. Źródłem pozyskania takich materiałów są najczęściej naziemny skaningu laserowy i fotogrametria jako technologie które dostarczają kompletnej informacji geometrycznej o prezentowanych obiektach. Jednakże wymogi wydajnościowe serwisów internetowych nakładają poważne ograniczenia na prezentowane treści. Wymusza to, dla każdego rodzaju obiektów, zastosowania procesów optymalizacji geometrii i dostosowania sposobu jej prezentacji.

Równie ważny problem dotyczy doboru odpowiedniej technologii pomiarowej i procesu obróbki danych dla każdego rodzaju prezentowanych obiektów. Tylko umiejętny dobór urządzeń pomiarowych i efektywne narzędzia przetwarzania danych zapewniają uzyskanie zadowalającego rezultatu końcowego. Zarówno technologia naziemnego skaningu laserowego jak i cyfrowa fotogrametria naziemna posiadają swoje atuty które należy odpowiednio wykorzystać ale również ograniczenia które muszą być brane pod uwagę przy tego rodzaju pracach. Kluczowy jest zarówno dobór odpowiedniego skanera dla mierzonego obiektu, jak i np. rozmiar terenowy piksela przy wykonywaniu jego zdjęć.

1. WSTĘP

Portale edukacyjne i wirtualne muzea prezentujące kolekcje i zbiory w postaci modeli 3D to w ostatnich latach jeden z najszybciej rozwijających się obszarów usług wykorzystujących techniki naziemnego skaningu laserowego i fotogrametrii cyfrowej bliskiego zasięgu.

Portale edukacyjne i wirtualne muzea wymagają nowoczesnych, wysokiej jakości materiałów wizualnych (modele 3D, wirtualne wycieczki, animacje, itp.) uzupełnionych o treści opisowe lub komentarz audio. Źródłem pozyskania takich materiałów są najczęściej naziemny skaningu laserowy i fotogrametria jako technologie które dostarczają kompletnej informacji geometrycznej o prezentowanych obiektach. Jednakże wymogi wydajnościowe serwisów internetowych nakładają poważne ograniczenia na prezentowane treści. Wymusza to, dla każdego rodzaju obiektów, zastosowania procesów optymalizacji geometrii i dostosowania sposobu jej prezentacji.

Równie ważny problem dotyczy doboru odpowiedniej technologii pomiarowej i procesu obróbki danych dla każdego rodzaju prezentowanych obiektów. Tylko umiejętny dobór urządzeń pomiarowych i efektywne narzędzia przetwarzania danych zapewnią uzyskanie zadowalającego rezultatu końcowego. Zarówno technologia naziemnego skaningu laserowego jak i cyfrowa fotogrametria naziemna posiadają swoje atuty, które należy odpowiednio wykorzystać, ale również ograniczenia które muszą być brane pod uwagę przy tego rodzaju pracach. Kluczowy jest zarówno dobór odpowiedniego skanera dla mierzonego obiektu, jak i np. rozmiar terenowy piksela przy wykonywaniu jego zdjęć.

W latach 2009 -2010 zrealizowano ze środków Ministerstwa Kultury i Dziedzictwa Narodowego oraz Parafii Rzymsko-Katolickiej Św. Stanisława Biskupa i Męczennika i Św. Wacława projekt "Portal Edukacyjny – Katedra Wawelska" dostępny na stronie www.wirtualna.katedra-wawelska.pl.

W ramach projektu pracami objęte były:

- zewnętrzna bryła katedry ze szczególnym uwzględnieniem strefy wejściowej;
- nagrobek króla Władysława Jagiełły;
- ołtarz św. Stanisława;
- relikwie św. Stanisława.

Tak różnorodny pod względem rozmiarów i szczegółowości detalu zakres projektu wymagał indywidualnego podejścia przy pozyskiwaniu i przetwarzaniu danych dla każdego z opracowywanych typów obiektów. Na etapie analizy projektu został on podzielony na części dotyczące architektury wraz detalem architektonicznym, bogato zdobionych elementów małej architektury (nagrobek, ołtarz), bogato zdobionych wyrobów złotniczych o niewielkich rozmiarach oraz tkaniny. Dla każdego z tych obiektów ze względu na ich specyfikę zarówno geometryczną jak i materiału z jakiego zostały wykonane dobrano odpowiednią technologię rejestracji i przetwarzania danych.

2. METODY POZYSKANIA DANYCH

2.1. Pozyskanie danych dla bryły Katedry Wawelskiej

Bryłę Katedry Wawelskiej zeskanowano przy użyciu dwóch rodzajów skanerów, po pierwsze ze względu na rozmiary Katedry i możliwość dostępu do niej wykorzystano skaner impulsowy Leica ScanStation 2, który pozwolił na pomiar ze średnią gęstością 5 mm bryły całej Katedry łącznie z dachami i hełmami wież. Drugi z użytych skanerów to fazowy skaner Z+F Imager 5006i którym pozyskano niezbędny detal architektoniczny i strefę wejściową z gęstością chmury punktów 2 mm. Następnie pozyskane dane ze skanerów poddano filtracji, orientacji i integracji uzyskując pełną bryłę Katedry w postaci cyfrowej.

Dodatkowo dla Katedry Wawelskiej wykonano komplet wysokorozdzielczych zdjęć cyfrowych, które następnie posłużyły do przygotowania tekstur. Zdjęcia o rozdzielczości terenowej ok. 5 mm wykonano aparatem cyfrowym Canon EOS 5D z zestawem obiektywów 20, 50 i 100 mm. Do przygotowania tekstur użyto przetworzonych obrazów z usuniętą dystorsją radialną.

2.2. Pozyskanie danych dla nagrobka Jagielly i ołtarza Św. Stanisława

Zarówno nagrobek króla Władysława Jagielly jak i ołtarz Św. Stanisława to obiekty bardzo wymagające jeżeli chodzi o pozyskanie danych geometrycznych. Problemem przy skanowaniu obu obiektów jest zarówno materiał z którego zostały wykonane – lśniąca marmury (na nagrobku Jagielly czerwony, na ołtarzu Św. Stanisława czarny), liczne złocenia, czy srebrna trumna Św. Stanisława – jak również skomplikowana geometria i bogato występujący detal i ornament. Wszystkie te elementy prowadzą do licznych błędów i szumów w chmurze punktów, które poważnie obniżają jakość pozyskanych danych i utrudniają modelowanie na późniejszym etapie.

Do skanowania obu obiektów użyto skanera fazowego Z+F Imager 5006i. Skanowanie wykonywano z odległości 3-5 metrów z wykorzystaniem niewielkich odległości pomiędzy stanowiskami i skanowaniem z kilku poziomów dla każdego miejsca. Dzięki temu zabiegowi po obcięciu chmur punktów uzyskano dane pozyskane przy kącie padania wiązki lasera na obiekt zbliżonym do 90°. Pozwoliło to w dużej mierze wyeliminować szumy i błędy chmury punktów związane z rodzajem materiału z jakiego zbudowane są oba obiekty a jednocześnie uzyskać dobre pokrycie chmurą detalu. Zauważyć jednak należy, iż orientacja tak wielu chmur punktów wymagała szczególnej staranności w celu minimalizacji błędów z nią związanych.

2.3. Pozyskanie danych dla relikwii Św. Stanisława i ornatu

Relikwie Św. Stanisława to obiekty sztuki złotniczej o różnych rozmiarach począwszy od pierścienia a zakończywszy na srebrnej skrzyneczce o wymiarach kilkudziesięciu centymetrów. Po analizie obiektów uznano, że ze względu na materiał z jakiego są wykonane relikwie – złoto, srebro, kamienie szlachetne – jak również ze

względu na często bardzo drobne elementy zdobień czy delikatnie ryte napisy nie ma możliwości zastosowania w tym przypadku techniki skaningu laserowego.

Do celów rejestracji tych obiektów użyto techniki wysokorozdzielczej fotografii (GSD = 0.15 mm) dookólnej z zastosowaniem stołu bezcieniowego. Dla każdego z obiektów wykonano po kilkaset zdjęć obejmujących półsferę, co umożliwiło w efekcie uzyskanie płynnej animacji każdego z nich. Zdjęcia wykonano skalibrowanym aparatem cyfrowym Canon EOS 5D z obiektywem stałogniskowym 50 mm. Dzięki zastosowaniu w konstrukcji stołu bezcieniowego sztywnego ramienia dla aparatu oraz komputerowego sterowania stołem uzyskano zdjęcia o znanych – w układzie stołu – elementach orientacji zewnętrznej.

Również dla celów rejestracji ornatu z pretekstą krzyżowa z haftowanymi scenami z życia Św. Stanisława użyto wysokorozdzielczej fotografii o takim samym rozmiarze piksela.

Dzięki dalszej obróbce zdjęć uzyskano wysokorozdzielcze wizualizacje tych obiektów. Należy w tym miejscu zaznaczyć, że dzięki wykonaniu zdjęć obiektów skalibrowanym aparatem cyfrowym o znanych elementach orientacji zewnętrznej i wzajemnej zdjęć możliwe jest w razie potrzeby uzyskanie modelu geometrycznego relikwii z wykorzystaniem technik fotogrametrycznych.

3. PRZETWARZANIE DANYCH

3.1. Przetwarzanie danych dla potrzeb publikacji internetowej zgodnej ze standardem VRML

Rozwiązania umożliwiające publikację modeli trójwymiarowych w Internecie oparte o biblioteki Open GL i standard VRML, a istniejące w chwili rozpoczęcia prac nad tworzeniem portalu edukacyjnego dla Katedry Wawelskiej były dość ograniczone – rozdzielczość modeli trójwymiarowych nie powinna była przekraczać LoD2 lub LoD3 w skali CityGML. Także zakres możliwości odtwarzania wyglądu powierzchni digitalizowanego obiektu sprowadzał się do wykonania na podstawie zdjęć tekstury koloru (Diffuse), z ewentualnym prostym określeniem połyskliwości (Specular) danej powierzchni. Rozwiązania te nie korzystały lub korzystały w ograniczony sposób ze wsparcia obliczeniowego kart graficznych.

Z dostępnych, podobnych do siebie, rozwiązań wybrano technologię Cortona3D i wg. jej specyfikacji przystąpiono do opracowania modelu Wzgórza Wawelskiego oraz budynków Zamku Królewskiego i Katedry. Chmura punktów pochodząca ze skaningu lotniczego posłużyła jako referencja do wykonania rysunku wektorowego na stacji fotogrametrycznej DEPHOS. Rysunek ten został zapisany do formatu DWG, a następnie przeniesiony do programu Blender, gdzie stworzono model trójwymiarowy zawierający uproszczoną geometrię wzgórza oraz budynków wraz z odpowiednimi teksturami. Finalny model zapisano w formacie VRML.

W trakcie realizacji zespół programistów tworzących system informatyczny na którym miał być oparty portal dostrzegł trudności związane z kłopotliwym programowaniem interakcji na modelu trójwymiarowym – jednym z założeń projektu

miała być możliwość wykorzystania takiego modelu jako dodatkowego interfejsu umożliwiającego użytkownikowi portalu interaktywną eksplorację wybranego fragmentu przedstawianego obiektu. Kluczową rolę odgrywały problemy z komunikacją podprogramu Cortona 3D z bazą danych portalu, a także kłopotliwą koniecznością samodzielnej instalacji przez zwykłego, niezaawansowanego użytkownika Internetu tego podprogramu we własnej przeglądarce internetowej. Ponadto testy wykazały możliwy spadek wydajności i jakości odtwarzania modeli trójwymiarowych wśród użytkowników starszego sprzętu komputerowego.

Zespół programistów Pracowni Zawartości Cyfrowej Imaginelabs, rozwiązał powyższe problemy tworząc własne autorskie rozwiązanie oparte na powszechnie dostępnej technologii Adobe Flash, zmieniając sposób prezentacji modeli trójwymiarowych z postaci internetowej silnika graficznego do postaci prerenderowanego interaktywnego filmu trójwymiarowego, przy zachowaniu podstawowych funkcji klasycznego silnika graficznego takich jak obrót widoku wokół modelu 3D oraz możliwość zbliżania się do jego wybranych fragmentów. Rozwiązanie to umożliwiło także tworzenie na prezentowanym modelu 3D dowolnych podziałów określających fragmenty interaktywne, a także dzięki generowaniu finalnych obrazów przy użyciu fotorealistycznych programów do wizualizacji (mentalray, V-ray) zapewniło nieosiągalną dla technologii opartych na OpenGL jakość obrazu.

3.1.1. Przetwarzanie dla potrzeb publikacji internetowej przy użyciu metodologii Imaginelabs Orbieye

Zmiana internetowej silnika trójwymiarowego, pełnego ograniczeń związanych z rozdzielczością siatek trójkątów modeli trójwymiarowych na formę interaktywnego filmu lub inaczej mówiąc wizualizacji sferycznej stworzonej jako odpowiednio przygotowana sekwencja obrazów miała daleko idące konsekwencje związane z procesem przetwarzania danych:

- Pojawiła się możliwość praktycznie bezstratnej prezentacji efektów digitalizacji gdyż rozdzielczość siatek trójkątów finalnych modeli może być równa dokładności chmury punktów na bazie której generowany jest dany model. Oznacza to oczywiście konieczność zastosowania programów zawierających algorytmy umożliwiające generowanie i przetwarzanie wielomilionowych siatek trójkątów.
- Zastosowanie współczesnych fotorealistycznych silników renderujących obecnych w większości programów do edycji grafiki 3D umożliwiło przedstawienie praktycznie pełnego zakresu zjawisk optycznych charakterystycznych dla digitalizowanej powierzchni, co owocuje najwyższą dostępną jakością obrazu, gdyż jej źródłem jest materiał w możliwie najwyższej rozdzielczości a nie model uproszczony. Oznacza to jednak konieczność wprowadzenia do zespołu projektowego stanowiska do zaawansowanej wizualizacji (Autodesk: 3dsmax, Maya, Softimage).
- Ujednolicono interfejs dla wszystkich prezentowanych materiałów z procesu digitalizacji: ortofotoplanów wysokiej rozdzielczości, fotografii sferycznych, chmur punktów i finalnych modeli trójwymiarowych.

- Poprzez wygenerowanie wizualizacji sferycznej możliwa jest bezpośrednio prezentacja chmury punktów bez konieczności posiadania odpowiedniego sprzętu i specjalistycznego oprogramowania.

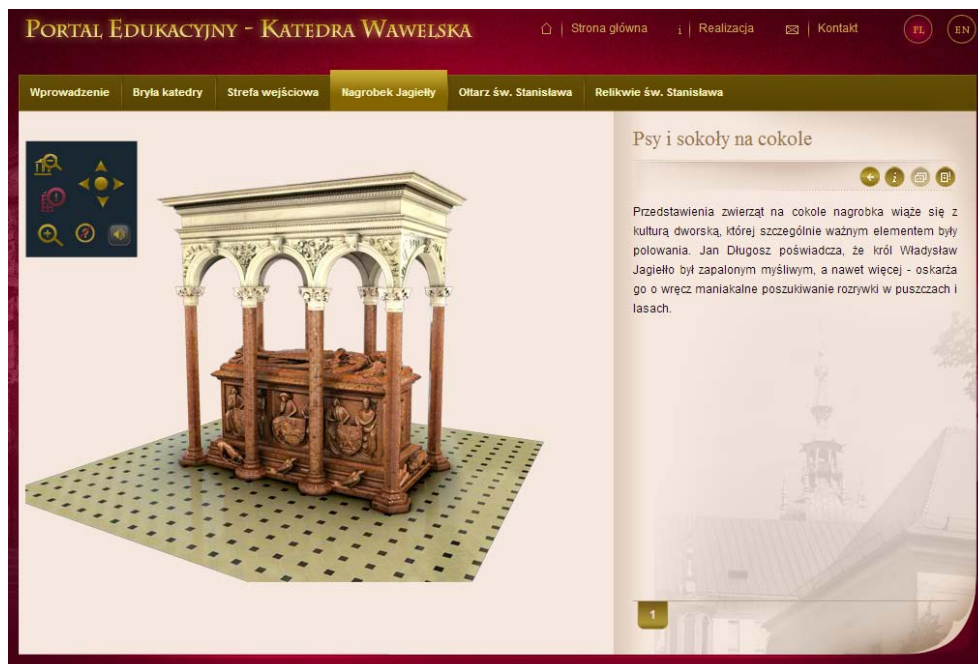
Efektom powyższych doświadczeń jest następujący proces pozyskiwania i przetwarzania danych pochodzących z digitalizacji dla potrzeb publikacji internetowych przy użyciu Imaginelabs Orbieye:

- digitalizacja przy użyciu skanerów laserowych dostosowana do rodzaju skanowanych obiektów;
- fotografia sferyczna dla obiektów problematycznych do digitalizacji przy użyciu skanerów laserowych, zapewniająca możliwość generowania modeli trójwymiarowych przy użyciu technik fotogrametrycznych;
- pozyskanie materiału fotograficznego dla potrzeb stworzenia tekstur w pełnej linearnej przestrzeni koloru (pliki RAW);
- scalenie, filtracja i oczyszczenie chmur punktów;
- generowanie modeli trójwymiarowych o rozdzielczości siatki trójkątów zbliżonej (lub identycznej) do rozdzielczości finalnej chmury punktów przedstawiającej digitalizowany obiekt (rozdzielczość modeli trójwymiarowych jest limitowana tylko przez możliwości stacji roboczych użytych do przetwarzania danych);
- teksturowanie modelu wysokiej rozdzielczości poprzez projekcję poszczególnych zdjęć na ten model, dzięki czemu rozdzielczość finalna tekstury obecnej na modelu jest identyczna z rozdzielczością wykonanych fotografii;
- optymalizacja geometrii modelu wysokiej rozdzielczości pod kątem efektywności pracy w programach do edycji grafiki 3d;
- przypisanie współrzędnych mapowania (ang. *UV mapping coordinates* – dwuwymiarowe współrzędne tekstur dla trójwymiarowych wierzchołków siatki obiektu) do zoptymalizowanego modelu umożliwiające atlasowanie (scalenie) tekstur składowych, jeśli zajdzie taka potrzeba;
- przeniesienie pełnej geometrii modelu wysokiej rozdzielczości na model zoptymalizowany poprzez wygenerowanie map Displacement i NormalBump (krok możliwy do wykonania po przypisaniu do modelu współrzędnych mapowania);
- odtworzenie zjawisk optycznych i charakterystycznych cech powierzchni digitalizowanego obiektu takich jak refrakcja, odbicia własne, anizotropia, efekty kaustyczne, rozpraszanie podpowierzchniowe światła itd. w programie do tworzenia zaawansowanych wizualizacji;
- odtworzenie warunków oświetleniowych środowiska otaczającego digitalizowany obiekt przy użyciu techniki LightProbe lub wykonaniu panoramy sferycznej i zastosowaniu algorytmów bilansu energetycznego światła (Global Illumination);
- ustawianie widoków poszczególnych kamer dla potrzeb wizualizacji finalnego modelu 3D w formie identycznej jak w przypadku fotografii sferycznej (w przypadku wykorzystania modelu trójwymiarowego można wykonać pełną prezentację sferyczną obiektu);
- podział modelu na obszary interaktywne (publikowany obiekt staje się interfejsem umożliwiającym stworzenie atrakcyjnej nawigacji);
- rendering i wizualizacja finalnego modelu 3D;

Problematyka pozyskiwania i przetwarzania danych fotogrametrycznych i z naziemnego skaningu laserowego na potrzeby tworzenia portali edukacyjnych i wirtualnych muzeów na przykładzie Katedry Wawelskiej.

- publikacja pod kątem wymogów tworzonego serwisu internetowego lub prezentacji multimedialnej wraz z oprogramowaniem interakcji.

Na rysunku poniżej przedstawiono (dla nagrobka Władysława Jagiełły) efekt końcowy zastosowania podanej powyżej procedury przetwarzania danych na potrzeby portalu edukacyjnego.



Rys. 1. Efekt końcowy zastosowanej procedury przetwarzania danych
Źródło: Portal Edukacyjny - Katedra Wawelska (www.wirtualnakatedra.pl)

Modele i wizualizacje wykonane na potrzeby Portalu Edukacyjnego - Katedra Wawelska potwierdzają, że wykorzystanie nowoczesnych technik pozyskiwania danych oraz zaawansowanych narzędzi do ich przetwarzania i wizualizacji, umożliwia przygotowanie wysokiej jakości materiału stanowiącego warstwę graficzną takiego portalu.

Zastosowane, opisane powyżej, procedury mogą z powodzeniem być stosowane w praktyce przy tworzeniu wirtualnych muzeów i portali edukacyjnych. Jednak należy zwrócić uwagę, że kluczowe znaczenie dla efektu końcowego ma jakość pozyskiwanych danych. Odpowiednio pozyskane i wysokiej jakości chmury punktów i zdjęcia pozwalają na osiągnięcie dużej szczegółowości i wierności geometrycznej tworzonych modeli 3D, jak również znacząco skracają czas konieczny na wykonanie opracowania.

4. WNIOSKI

Współczesne (rok 2012) silniki graficzne czasu rzeczywistego tworzone dla dynamicznie rozwijającej się branży gier wideo takie jak Cryengine lub Unreal, a także te przeznaczone dla przeglądarek internetowych (Unity3D, Away3D, Alternativa3D) umożliwiają generowanie w czasie rzeczywistym wielu efektów wizualnych dostępnych dotychczas tylko w fotorealistycznych silnikach renderujących offline obecnych w zaawansowanych programach do edycji grafiki trójwymiarowej (3dsmax, Maya itp.). Ich działanie oparte jest o wykorzystanie mocy obliczeniowej nowoczesnych kart graficznych, a osiągnięcie wysokiej jakości obrazu bywa kosztowne. W przypadku tworzenia wirtualnych muzeów skierowanych do szerokiej rzeszy odbiorców może stanowić to poważną barierę – nie każdy użytkownik internetu jest wyposażony w kartę graficzną wysokiej klasy. Także przygotowanie materiału w postaci modeli trójwymiarowych na potrzeby silników czasu rzeczywistego zawsze wiąże się z ich optymalizacją, a co za tym idzie często znacznym uproszczeniem.

Z drugiej strony rozwiązania oparte o prerenderowane wizualizacje sferyczne nie umożliwiają swobodnej eksploracji. Ich zaletą jest jednak najwyższa możliwa do osiągnięcia jakość obrazu, a źródłem tej jakości jest bezstratny model trójwymiarowy oparty o materiał z digitalizacji o rozdzielczościach uzależnionych wyłącznie od dokładności skanerów laserowych i rozdzielczości matryc aparatów cyfrowych. Taki materiał wynikowy procesu digitalizacji można także, jeśli zajdzie taka potrzeba przystosować niewielkim dodatkowym nakładem pracy do ograniczeń trójwymiarowych silników czasu rzeczywistego.

5. LITERATURA

- Akenine-Möller T., Haines E., Hoffman N., *"Real-Time Rendering"*, CRC Press, 2011.
- Campana S., Sordini M., Rizzi A. "3D modeling of a romanesque church in Tuscany: archaeological aims and geomatics techniques" ISPRS Archives – Volume XXXVIII-5/W1, 2009.
- Gruenkemeier A. "3D-documentation technologies for use in industrial archaeology applications" The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B5. Beijing 2008.
- Hoppe C., Krömker S. "Adaptive meshing and detail-reduction of 3D-point clouds from laser scans" ISPRS Archives – Volume XXXVIII-5/W1, 2009.
- Legrenzi F., *"VRay - The Complete Guide second edition"*, Legrenzi Studio, 2011.
- www.imaginelabs.pl
- www.wirtualna.katedra-wawelska.pl
- www.youtube.com/watch?v=D1l9GZwmwJQ&feature=plcp
- www.web3d.org/realtime-3d

**ISSUE OF DATA ACQUISITION AND PROCESSING USING SHORT RANGE
PHOTOGRAMMETRY AND TERRESTRIAL LASER SCANNING FOR
EDUCATIONAL PORTALS AND VIRTUAL MUSEUMS BASED ON WAWEL
CATHEDRAL**

KEY WORDS: laser scanning, data processing, virtual museum

Summary

This paper presents the issues related to the acquisition and processing of terrestrial photogrammetry and laser scanning for building educational portals and virtual museums. Discusses the specific requirements of measurement technology and data processing for all kinds of objects, ranging from architecture through sculpture and architectural detail on the fabric and individual museum exhibits.

Educational portals and virtual museums require a modern, high-quality visuals (3D models, virtual tours, animations, etc.) supplemented by descriptive content or audio commentary. Source for obtaining such materials are mostly terrestrial laser scanning and photogrammetry as technologies that provide complete information about the presented geometric objects. However, the performance requirements of web services impose severe restrictions on the presented content. It is necessary to use optimization geometry process to streamline the way of its presentation.

Equally important problem concerns the selection of appropriate technology and process measurement data processing presented for each type of objects. Only skillful selection of measuring equipment and data processing tools effectively ensure the achievement of a satisfactory end result. Both terrestrial laser scanning technology and digital close range photogrammetry has its strengths which should be used but also the limitations that must be taken into account in this kind of work. The key is choosing the right scanner for both the measured object and terrain such as pixel size in the performance of his photos.

Dane autorów:

Dr inż. Bartosz Mitka
e-mail: bartosz.mitka@ur.krakow.pl
telefon: +48 12 662 45 04

Mgr inż. arch. Paweł Szelest
e-mail: pszelest@imagine-labs.pl
telefon: +48 51 604 30 90