

PROBLEMY AUTOMATYCZNEGO MODELOWANIA I TEKSTUROWANIA OBIEKTÓW OPISUJĄCYCH SKRAJNIĘ LINII KOLEJOWYCH

PROBLEMS OF AUTOMATIC MODELLING AND TEXTURING OF OBJECTS THAT DESCRIBE RAILWAY LINE CLEARANCE GAUGE

**Krystian Pyka, Sławomir Mikrut, Agnieszka Moskal, Elżbieta Pastucha,
Regina Tokarczyk**

Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska,
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: naziemny skaning laserowy, modelowanie 3D, teksturowanie, obraz cyfrowy, skrajnia kolejowa

STRESZCZENIE: W artykule podjęty jest problem automatycznego modelowania i teksturowania obiektów kształtujących skrajnię kolejową. Źródłem modelowania jest mobilny skaning laserowy, a teksturowania – zdjęcia wykonane podczas skaningu. Artykuł składa się z dwóch części: przeglądu literatury i opisu eksperymentu badawczego. Eksperyment badawczy potwierdził większość problemów artykułowanych w literaturze, wniósł także szereg nowych. Przestrzeń obiektów przytorowych była bardzo trudnym materiałem do wymodelowania i pokrycia teksturą fotograficzną, co uwypukliło problemy. W konkluzji wskazano, że główną przeszkodą w automatyzacji procesu teksturowania jest słaba jakość modeli generowanych automatycznie.

1. WSTĘP

Termin modelowanie ma bardzo wiele definicji oraz konotacji, dlatego dla jego uściślenia konieczne jest podanie kontekstu, w jakim rozpatrywane jest modelowanie. Celem badań było sprawdzenie możliwości automatycznej rekonstrukcji obiektów znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie torów kolejowych, na podstawie chmury punktów z mobilnego skaningu laserowego. Obiekty kolejowe kształtują skrajnię budowlaną linii kolejowych, zatem ich wirtualny model geometryczny mógłby posłużyć do sprawdzenia czy tabor o określonych rozmiarach mieści się bezpiecznie w obrębie skrajni.

Zgodnie z zakresem badań modelowanie jest rozumiane jako opracowanie wirtualnej rekonstrukcji kształtu i położenia wybranych obiektów rzeczywistości na podstawie chmury punktów. Natomiast teksturowanie to nadanie wirtualnym modelom wyglądu zbliżonego do rzeczywistego. W ramach badań przyjęto, że obiekty będą powlekane zdjęciami fotograficznymi, wykonanymi równocześnie ze skanowaniem. Kolejne uściślenie metodyczne to realizacja modelowania i teksturowania w środowisko oprogramowania CAD lub z nim powiązanego. Oznacza to rezygnację z modelowania zorientowanego

obiekto, które może być realizowane w środowisku GIS. Powodem jest fakt, że GIS 3D dopiero się rozwija i póki co jego możliwości aplikacyjne są ograniczone (Abdul-Rahman, Pilouk, 2007).

Katalog obiektów, których modelowanie i tekstuowanie były przedmiotem badań, obejmował kilkadziesiąt pozycji, najważniejsze z nich to: słup trakcji elektrycznej, semafor świetlny, tarcza manewrowa świetlna, tablice ostrzegawcze, wskaźniki, latarnia, peron, budynek stacyjny. Są to w większości obiekty o skomplikowanych kształtach, dotyczy to zwłaszcza obiektów wysmukłych, o małej podstawie i zmiennym kształcie w kierunku pionowym. Zatem stopień trudności rozwiązywanego zadania jest bardzo wysoki, zwłaszcza w aspekcie automatyzacji procesu.

2. PROBLEMY MODELOWANIA 3D

W modelowaniu realizowanym w środowisku CAD, czyli zorientowanym graficznie, mogą być stosowane następujące rodzaje modeli:

- punktowe – niestrukturalny zbiór punktów,
- liniowe (krawędziowe) – zbiór krawędzi opisujących kształt obiektu, przy czym zbiór może lecz nie musi mieć charakter strukturalny,
- powierzchniowe – siatki wielokątowe (głównie siatki trójkątów), powierzchnie parametryczne (np. NURBS, płaty Beziera),
- bryłowe (objętościowe) – rozumiane jako bryły pojedyncze lub ich superpozycje (metoda CSG), reprezentacja brzegowa (b-rep),
- hybrydowe – stosujące łącznie co najmniej dwa z wyżej wymienionych rodzajów modeli.

Powyższa klasyfikacja jest rozszerzeniem stosowanego w literaturze podziału (np. Foley *et al.*, 2001), ujęto w niej dodatkowo model chmurowy i hybrydowy. Jest to akceptacja stanu faktycznego, chmura punktów jest wykorzystywana w niektórych zastosowaniach jako model niskiego poziomu, struktura hybrydowa jest natomiast stosowana w CAD do reprezentacji złożonych obiektów.

Dla obiektów o skomplikowanym kształcie, najwyższy stopień automatyzacji modelowania osiąga się poprzez rozpięcie na danych punktowych siatki trójkątów TIN. Rozpinanie siatki jest oparte na triangulacji opracowanej przez Delaunay'a w 1934 roku, przy czym teselacja odbywa się z reguły na wybranej płaszczyźnie. Dopiero stosunkowo niedawno trójkątowanie zostało przeniesione do przestrzeni 3D, stosując siatki czworokątne (*tetrahedral networks* - TEN) (Abdul-Rahman, Pilouk, 2007).

W przypadku, gdy wejściowa chmura punktów dobrze dyskretyzuje kształt obiektu, w tym wystarczająco gęsto reprezentuje miejsca występowania krawędzi i gwałtownych zmian spadku, wówczas siatka trójkątów poprawnie reprezentuje obiekt. Jej wadą jest długi proces triangulacji, często duże zbiory wejściowe są operacyjnie trudne do przetworzenia. Problemem są otwory na powierzchni obiektu oraz sąsiadujące ze sobą krawędzie. W zależności od wielkości otworu może on zostać całkowicie zaślepiony w modelu, bądź znacząco zmniejszony. Dodatkowo, jeżeli obiekt posiada dwie powierzchnie schodzące się pod kątem mniejszym niż 180°, nastąpi zaokrąglenie krawędzi. Problem ten zostanie spotęgowany wraz ze zmniejszeniem kąta. Duże błędy można również zaobserwować jeżeli

chmura punktów zawiera kilka obiektów położonych blisko siebie - mogą zostać mylnie połączone w jeden. Automatyczne modelowanie TIN jest zalecane dla obiektów o kształtach obłych, najlepiej bez krawędzi (Hoppe, Krömker, 2009).

W przypadku obiektów o wyraźnych krawędziach teoretycznie lepszy jest model krawędziowy, przy czym należy go traktować jak zbiór danych do rozpięcia siatki wielokątowej. W takim wypadku musi to być zbiór zorganizowany topologicznie. Jeśli układ przestrzenny krawędzi tworzy płaszczyznę, wówczas rozpinany jest wielokąt o kształcie zdeterminowanym przez linie brzegowe. Natomiast w innym wypadku wpasowywane są trójkąty. Badania nad automatycznym krawędziowaniem są bardzo popularnym tematem ostatnich lat (Alshawabkeh, Haala, 2004), (Briese, Pfeifer, 2008), (Gumhold *et al.*, 2001), (Pauly *et al.*, 2003), (Weber *et al.*, 2010a), (Weber *et al.*, 2010b), (Yogeswaran, Payeur, 2009). Krawędzie są wyznaczone jako przecięcie płaszczyzn (Briese, Pfeifer, 2008), (Yogeswaran, Payeur, 2009), bądź nanoszone na chmurę przy pomocy przefiltrowanych zdjęć (Alshawabkeh, Haala, 2004). Innym sposobem jest znajdowanie ekstremów powierzchni (Gumhold *et al.*, 2001), (Pauly *et al.*, 2003). Jednak mimo opracowanych wielu algorytmów, nie ma obecnie skutecznej metody automatycznego krawędziowania chmury punktów. Wdrożone rozwiązania generują jedynie segmenty krawędzi, które wymagają uzupełnienia i połączenia, co jest procesem trudnym do automatyzacji, a w przypadku skomplikowanych kształtów konieczna jest edycja manualna. W związku z tym modele krawędziowe skomplikowanych obiektów wykonuje się praktycznie manualnie.

Kolejną metodą modelowania jest detekcja i wpasowanie figur geometrycznych w chmurę punktów. Wykrywanie prostych figur geometrycznych zostało opisane w kilku publikacjach (Huang, Menq, 2001), (Lai, Fox, 2010), (Lehtomäki *et al.*, 2010), (Mehdi-Souzani *et al.*, 2010), (Yogeswaran, Payeur, 2009). Najpowszechniejsze jest wykrywanie płaszczyzn, cylindrów i sfer. Są to obiekty, których parametry są bardzo charakterystyczne, przez co są stosunkowo łatwe do odnalezienia. Jednakże przeszukiwanie całej chmury w celu odnalezienia prostych figur geometrycznych jest ciągle niezwykle czasochłonne i mało skuteczne, ponadto skutkuje znalezieniem obiektów niepożądanych, które trzeba potem usunąć manualnie. Jeśli w modelowanej przestrzeni występują powtarzalne obiekty, które dają się przybliżyć takimi figurami jak prostopadłościan, walec, czy stożek, wówczas można wpasowywać poszczególne wzorce w chmurę punktów. Jest to tzw. strategia *model driven* (Tarsha-Kurdi, 2007), stosowana przy modelowaniu budynków.

3. PROBLEMY TEKSTUROWANIA

Pod pojęciem tekstury rozumie się obraz dwuwymiarowy nakładany na powierzchnię trójwymiarową wcześniej utworzonego modelu obiektu. Zgodnie z przyjętymi w badaniach założeniami, rozważa się tylko tekstuowanie zdjęciami fotograficznymi. Teksturowanie polega na wpasowaniu zdjęcia w odpowiadający mu fragment obiektu docelowego. W procesie tym, zwanym parametryzacją, wykorzystać można metody pośrednie wymagające manualnego wskazania punktów dostosowania oraz metodę bezpośrednią, nie wymagającą ingerencji użytkownika.

Metoda bezpośrednia bazuje na równaniu kolinearności, które opisuje ścisły związek między punktem w przestrzeni trójwymiarowej, a jego odwzorowaniem na obrazie.

Umożliwia ono odnalezienie dla każdego wierzchołka trójwymiarowego modelu odpowiadający mu punkt na zdjęciu w oparciu o model kamery oraz elementy orientacji zewnętrznej. Metoda ta daje bardzo dobre wyniki integracji danych rastrowych i wektorowych. Ponieważ nie wymaga manualnego wskazania punktów dostosowania jako jedyna może być wykorzystywana do automatycznego tekstuowania.

Kluczowymi problemami automatycznego tekstuowania są analiza widoczności, detekcja przysłoneń, poprawne utworzenie oraz sposób interpolacji tekstury. Grammaticopoulos (2004) zaproponował algorytm, w którym proces analizy widoczności oparty został na pracy Z-bufora, czyli badaniu odległości między trójkątami budującymi model, a siatką uzyskaną w wyniku rzutowania modelu 3D na płaszczyznę projekcji. Trójkąt, którego odległość od komórki siatki jest największa, uznawany jest za przysłoniony przez inny trójkąt. Analiza widoczności trójkątów na zdjęciu jest zbliżona do poprzedniej procedury. Tekstura zostaje przypisana temu trójkątowi, który znajduje się bliżej środka projekcji (Grammatikopoulos *et al.*, 2004). Całkowicie odmienne podejście do problemu zaproponował Hanusch (2008). Autor porównał wszystkie trójkąty modelu 3D ze sobą i wydzielił trzy ich grupy: przysłonione, nieprzysłonione i częściowo przysłonione, opierając się na analizie odległości trójkąta od centralnego punktu projekcji oraz ilości wierzchołków trójkąta zawierających się w innym trójkącie. Założeniem Hanusch'a było istnienie tylko dwóch podstawowych grup elementów budujących model 3D. Częściowo przysłonione trójkąty zostały poddane procesowi wyznaczania przecięcia granic trójkątów w przestrzeni zdjęcia. Punkty przecięć, odpowiadające im punkty w przestrzeni obiektów oraz oryginalne wierzchołki zostają wykorzystane do ponownej triangulacji algorytmem Delanuy'a i tym samym eliminują trójkąty częściowo przysłonione.

Kolejnym zagadnieniem, które należy rozwiązać jest interpolacja tekstury. W wyniku przeprowadzonych analiz widoczności otrzymujemy informację, któremu trójkątowi modelu odpowiada dany fragment zdjęcia. Jednak powszechnym zjawiskiem jest przypisanie fragmentów kilku obrazów do jednego trójkąta, czy też brak tekstury dla danego elementu geometrii. Jedną z metod rozwiązania problemu nadmiarowości danych jest uśrednienie wartości koloru pokrywających się pikseli. Prowadzi to do uzyskania gładkich, wręcz rozmytych powierzchni otrzymanych przez eliminację dużych różnic kolorów i jasności (El-Hakim *et al.*, 2003). Inna metoda wykorzystuje parametry jakości tekstury takie jak odległość oraz kierunek wyświetlania zdefiniowany jako kąt między normalną do powierzchni trójkąta, a kierunkiem wyświetlania (Hanush, 2008). Kombinacja tych dwóch parametrów prowadzi do uzyskania rozdzielczości tekstury. W przypadku braku informacji fotograficznej dla elementu powierzchni. Debevec zaproponował wydobywanie i uśrednienie barwy z sąsiadujących obszarów (Debevec *et al.*, 1996). Z powodu błędów orientacji zdjęć lub też błędów modelowania mogą nastąpić problemy związane z niepoprawnym przyporządkowaniem wartości barw do fragmentów modelu (Neugebauer, Klein, 1999). Te wszystkie wyżej wymienione aspekty muszą być rozważone podczas prób zautomatyzowania procesu tekstuowania.

4. DANE WYKORZYSTANE DO BADAŃ

Danymi źródłowymi do badań były chmury punktów ze skaningu mobilnego oraz zdjęcia (o znanej orientacji zewnętrznej) wykonane kamerami sprzężonymi ze skanerem.

W pomiarach wykorzystano system skaningu mobilnego Riegl VMX-250. Składa się on z dwóch skanerów zorientowanych ukośnie wobec kierunku jazdy, skanujących w płaszczyznach wzajemnie prostopadłych, w przekrojach nachylonych do terenu pod kątem około 55°. Dodatkowo zamontowane są na nim cztery kamery wykonujące zdjęcia do przodu (dwie) i do tyłu (dwie). Zdjęcia, wykorzystane później do tekstuowania, wykonane zostały kamerami firmy Manta o rozdzielczości 2456 x 2056 pikseli i wielkości piksela 3.45 μm . Interwał zdjęć wynosił 0.75 s, co przy zadanej prędkości odpowiada odległości ok. 7.5 m.

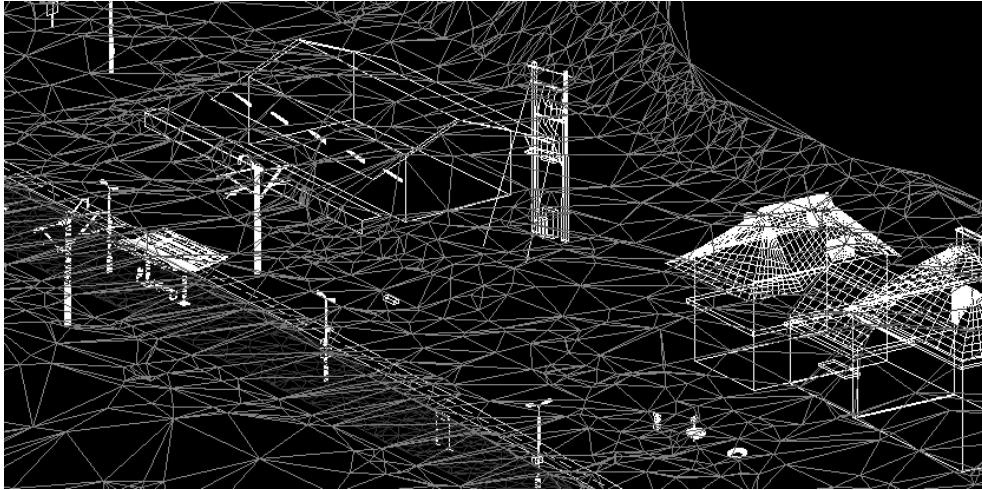
Obszar testowy badań obejmował teren stacji kolejowej w Słomnikach, o długości około 330 m. Wykorzystana chmura punktów miała wielkość 280 Mb. Średnia prędkość pociągu z zamontowanym systemem Riegl wynosiła ok. 10 m/s, co skutkowało odstępami między profilami punktowymi ok. 15 cm. Odległości między punktami w profilu rosły wraz ze wzrostem odległości od źródła sygnału i wynosiły odpowiednio ok. 3 mm i ok. 9 mm w odległości 2 m i 5 m od osi toru. Takie dane posłużyły do modelowania przestrzennego obiektów znajdujących się do 5 m od torów oraz modelowania powierzchni terenu. Przed modelowaniem wykonano przetwarzanie wstępne pozwalające odfiltrować błędne odbicia, automatycznie wydzielić punkty leżące na terenie oraz sklasyfikować według wysokości wszystkie pozostałe. Dodatkowo ręcznie wydzielono tory kolejowe oraz infrastrukturę trakcyjną. Do przetwarzania wykorzystano program TerraScan firmy TerraSolid.

5. MODELOWANIE 3D OBIEKTÓW SKRAJNI KOLEJOWEJ

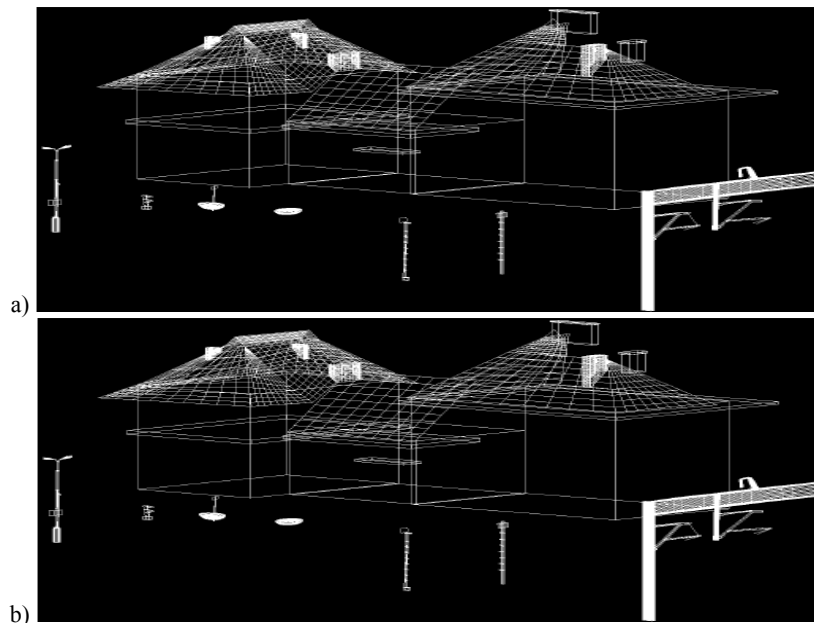
Opracowywane w badaniach dane poddano próbom modelowania automatycznego. Próbowano stworzyć model TIN oraz model bryłowy. Model TIN wykonywano w programach GOM Inspect i MeshLab oraz w bibliotece alphashape3d programu R. We wszystkich przypadkach wystąpiła konieczność podziału danych na części, co wyklucza możliwość wykorzystania ich w dużych projektach. Dodatkowo wystąpiły opisane wcześniej problemy z zaokrągleniem krawędzi i zamykaniem otworów. W programie GOM inspect i MeshLab możliwa jest ingerencja w tworzoną siatkę, określenie parametrów otworów które powinny zostać otwarte itp. Pozwala to uzyskać zadowalające efekty, jednak należy przyznać, że ma to zastosowanie jedynie dla małych obiektów regularnie pokrytych punktami.

Próbę wykonania półautomatycznego modelu bryłowego wykonano w programie Leica Cyclone. Niejednorodna chmura punktów i zdeformowane, nietypowe kształty obiektów znajdujących się na obszarze testowym okazały się zbyt trudne dla programu.

Ostatecznie model został wykonany ręcznie w programie Microstation V8 z nakładką TerraScan i TerraModeler. W pierwszym etapie wykonano kombinację modelu krawędziowego i bryłowego. W miejscach regularnych wpasowywano w chmurę punktów podstawowe bryły dostępne w programie, w pozostałych aproksymowano krawędzie. Następnie pozyskany model uzupełniono płaszczyznami (rys. 1).



Rys. 1. Model krawędziowo - bryłowy



Rys. 2. a) model krawędziowo - bryłowy, b) model TIN po eksporcie do formatu OBJ

Kolejnym krokiem był eksport modelu do formatu OBJ, co przekształca model hybrydowy w model TIN. Poza utratą płynności modelu dla powierzchni cylindrycznych wystąpiły też inne konsekwencje, jak dublowanie trójkątów czy zmiana układu współrzędnych. Efekty te zostały naprawione, ale wymagały dodatkowych operacji w programie RiScan i Microstation V8. Tak uzyskany model posłużył jako podstawa do badań nad teksturowaniem (rys. 2).

6. TEKSTUROWANIE OBIEKTÓW SKRAJNI KOLEJOWEJ

W ramach prowadzonych badań przetestowano kilka programów i przeanalizowano zaimplementowane w nich rozwiązania do automatycznego teksturowania. W badaniach wykorzystano uprzednio przygotowany model trójkątowy oraz zbiór 160 zdjęć wykonanych czterema kamerami. Dodatkowe dane to orientacja wewnętrzna kamer wraz z dystorsją oraz elementy orientacji zewnętrznej zdjęć.

Ze względu na ograniczenia operacyjne wszystkich testowanych programów: PhotoModeler Scanner, RiScan Pro, 3DReshaper, trójwymiarowy model został podzielony na części. Pierwsza z nich zawierała powierzchnię terenu, druga pozostałe wymodelowane objekty. Tylko PhotoModeler umożliwiał uporządkowanie orientacji trójkątów budujących model przy imporcie. Pozostałe wymagały manualnej zmiany kierunków normalnych trójkątów. Następną, opóźniającą działanie kwestią była rozbieżność modeli dystorsji zastosowanych w wyżej wymienionych oprogramowaniach, oraz niekompatybilność definicji kątowych elementów orientacji zewnętrznej. W praktyce oznaczało to trzykrotne przeliczanie danych, co przy tak dużej ich ilości było niezwykle uciążliwe. Ponadto wystąpiła konieczność ręcznego wpisania elementów orientacji zdjęć do programów teksturujących, także w programie RiScan Pro, pomimo że dane te były zapisane w pliku przez inny moduł systemu Riegl - RiProcess.

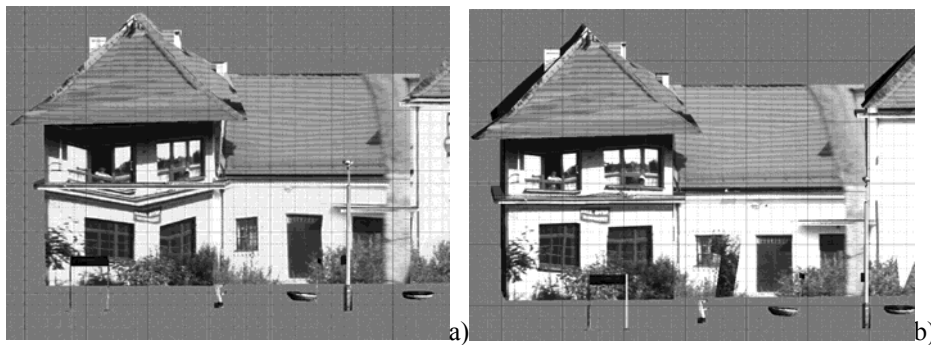
Program RiScan Pro pozwala użytkownikowi określić procent kompresji tekstury, a także procent nałożenia kawałków tekstury. Ponadto program może przeprowadzić analizę widoczności opierającą się na sprawdzeniu czy dany trójkąt jest widoczny z pozycji kamery podczas wykonywania zdjęcia. Innym parametrem, o którym decyduje operator jest maksymalna wartość kąta normalnej trójkąta do normalnej zdjęcia.

Z spośród dostępnych zdjęć program wybiera najlepsze na podstawie kąta normalnych oraz odległości środka rzutów zdjęcia od trójkąta modelu. Następnie dzieli każde zdjęcia na regularne części według wielkości maksymalnej tekstury zadanej przez użytkownika. Program rzutuje trójkąt na zdjęcie i sprawdza czy mieści się on w teksturze. Prawdopodobieństwo pokrycia teksturą większości trójkątów wzrasta wraz z określeniem wysokiego procentu nakładania się kawałków tekstury.

Podczas prac wystąpiło wiele problemów. Jednym z nich było błędne pokrywanie teksturą dużych trójkątów (rys. 3a). Po ich pomniejszeniu i ponownym uruchomieniu procesu dostrzeżono, że wraz ze wzrostem odległości od miejsca położenia kamer wzrastały błędy związane z dopasowaniem informacji na zdjęciach do odpowiednich trójkątów (rys. 3b) Należy również nadmienić, że teren oraz objekty znajdujące się w otoczeniu pokryto teksturą podczas dwóch niezależnych procesów (osobno dla modelu terenu i osobno dla modelu obiektów kolejowych) ze względu na ograniczenia wydajnościowe programu.

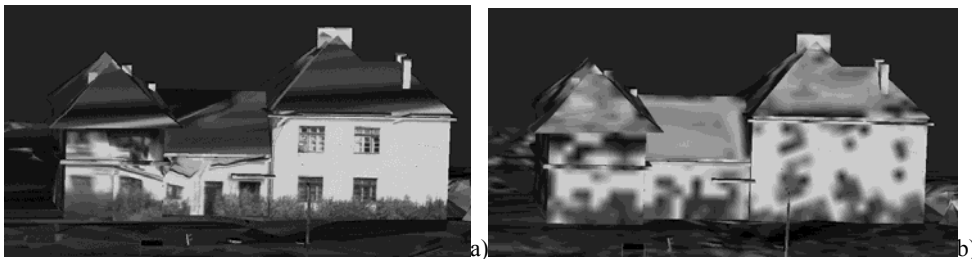
W przypadku programu PhotoModeler Scanner operator również ma możliwość decydowania o szeregu parametrów wpływających na sposób i jakość teksturowania. Jednym z nich jest maksymalny kąt pomiędzy normalną zdjęcia a normalną trójkąta. Jeżeli kąt ten przekroczy wartość maksymalną zadaną przez użytkownika, wówczas zdjęcie nie jest użyte do teksturowania danej powierzchni. Ponadto operator ma wpływ na sposób łączenia ze sobą fotografii, gdy danej powierzchni zostanie przypisane zostanie więcej niż

jedno zdjęcie do teksturowania. Program ma możliwość wykonywania analizy widoczności, jednak dostępna jest ona tylko w trybie wyświetlania *Quality*. Wprowadzony do programu algorytm oparty jest o analizę położenia trójkątów względem położenia kamery, a także bierze pod uwagę warunek kątowy zadany wcześniej. Teksturę można wyświetlać w trybie *Fast*, który prawdopodobnie nakłada pierwsze, spełniające podstawowe warunki zdjęcia, nie wykonując żadnych analiz widoczności. Zmiana trybu na *Quality* powoduje uruchomienie analizy widoczności, liczne przemapowania oraz optymalizację tekstur. Rozdzielczością otrzymanej tekstury można dowolnie manipulować w obu trybach wyświetlania.



Rys. 3. a) Zniekształcenia tekstury spowodowane dużymi trójkątami
b) Model z zagęszczonymi trójkątami pokryty teksturą w programie RiScan Pro

Teksturowanie przeprowadzono osobno na powierzchni terenu oraz na pozostałych obiektach zmieniając parametry aby uzyskać jak najlepszy rezultat. Jednak przeprowadzone testy nie dały zadowalających efektów. Przy wyświetleniu modelu w trybie *Fast* widać liczne, błędnie pokryte trójkąty (rys. 4a). W trybie *Quality* bardzo istotnie zmniejszona została rozdzielczość tekstur (rys. 4b). Taki rezultat może wynikać ze zbyt dużej ilości danych bądź też ograniczeń karty graficznej. Po głębszej analizie dostrzeżono, że tam gdzie przy wyświetlaniu modelu w trybie *Fast* występowały błędy, w trybie *Quality* zostały one poprawiane, natomiast tam gdzie tekstura nałożona została poprawnie w trybie *Fast* to w trybie *Quality* pojawiły się defekty.



Rys. 4. a) Poteksturowany model wyświetlony w trybie *Fast* programu,
b) Poteksturowany model wyświetlony w trybie *Quality* programu PhotoModeler Scanner

Ostatnim przetestowanym programem był 3DReshaper. Podczas teksturowania operator ma wpływ jedynie na wykorzystanie bądź zignorowanie niewidocznych trójkątów.

Do programu wczytany został tylko model obiektów oraz co drugie zdjęcie, ze względu na ograniczenia programowe. Efekt tekstuowania był niezadawalający oraz udowodnił, że program nie posiada żadnych algorytmów pozwalających wybrać optymalnych zdjęć do tekstuowania. Można było zauważyć, że program teksturuje wszystkie trójkąty losowo. W związku z tym, tekstury są nałożone niedokładnie i rozmijają się z modelem.

7. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Prace nad modelowaniem i tekstuowaniem obiektów infrastruktury kolejowej towarzyszących skrajni wykazały, że oba procesy są dla tego rodzaju obiektów bardzo trudne. Modelowanie przez wektoryzację na chmurze punktów jest trudniejsze niż na fotogrametrycznym modelu stereoskopowym, poprawny model jest w stanie wykonać tylko doświadczony operator o dobrej wyobraźni przestrzennej. Każda krawędź modelu musi zostać wyaprosymowana, ze względu na oczywiste ograniczenia rozdzielczości skanerów.

Automatycznie można otrzymać modele powierzchniowe, jednak ze względu na liczne błędy spowodowane nieciągłością obiektów lub martwymi polami w chmurze punktów, bliskością odrębnych obiektów lub ich detali, operator musi manualnie ingerować w utworzony model. Warunkiem koniecznym automatycznego tekstuowania jest znajomość elementów orientacji do tego używanych zdjęć. Algorytmy automatycznego tekstuowania, oparte na rzutowaniu zdjęć o znanej orientacji na płaszczyzny modelu wymagają, aby miał on charakter powierzchniowy z teselacją trójkątną.

Na jakość tekstuowania wpływa orientacja zdjęć w stosunku do płaszczyzn pokrywanych. Należy dążyć do wykonywania zdjęć o płaszczyznach obrazu możliwie równoległych do płaszczyzn tekstuowanych. W przypadku nadmiarowości zdjęć, lepsze rezultaty osiąga się w tych programach, które optymalizują wybór zdjęcia.

Należy podkreślić, że w badanym oprogramowaniu (PhotoModeler Scanner, RiScan Pro, 3DReshaper) nie udało się uzyskać w sposób w pełni zautomatyzowany satysfakcjonującego fotorealistycznego wirtualnego modelu obiektów przytorowych.

W sytuacji braku skutecznych rozwiązań, zwłaszcza po stronie automatycznego modelowania, w wielu aplikacjach, w miejsce modelu tekstuowanego zdjęciami stosuje się pokolorowaną chmurę punktów. Przy dużej rozdzielczości skanowania i małej skali wizualizacji taka chmura przypomina model tekstuowany zdjęciami, tym bardziej, że te same zdjęcia są źródłem koloru przypisywanego punktom. Jednakże przy obserwacji w dużej skali, taki model punktowy wykazuje wady takie jak konieczność interpretacji przebiegu krawędzi oraz trudna, a czasem niemożliwa bez posłkowania się zdjęciami, interpretacja drobnych szczegółów.

8. LITERATURA

Abdul-Rahman A., Pilouk M., 2007. *Spatial Data Modelling for 3D GIS*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York.

Alshawabkeh, Y., Haala, N., 2004. Integration of digital photogrammetry and laser scanning for heritage documentation. In: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXth ISPRS Congress. Istanbul, Turkey: ISPRS.

- Briese C., Pfeifer N., 2008. Towards automatic feature Line model ling from terrestrial laser Scanner data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing XXIst ISPRS Congress: Commission V, WG 3, Beijing*.
- Debevec P., Taylor C.J., Malik G., 1996. Modeling and rendering architecture from photographs: a hybrid geometry - and image - based approach. *Computer Graphics, (SIGGRAPH '96 Proceedings)*.
- El-Hakim S.,Gonzo L., Picard M., Girardi S., Simoni A., 2003. Visualization of frescoed surfaces: Buonconsiglio Castle - Aquila Tower. *Int. Workshop on Visualization & Animation of Reality - Based 3D Models*, Tarasp-Vulpera, Switzerland.
- Foley J.D., Dam A.van., Feiner S.K., Hughes J.F., Philips R.L., 2001. *Wprowadzenie do grafiki komputerowej*. Warszawa Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Grammatikopoulos L., Kalisperakis L., Karras G., Kokkinos T., Petsa E., 2004. On automatic orthoprojection and texture-mapping of 3D surface models, *Int. Arch. Photogrammetry, Remote, Sensing & Spatial Information Sciences*, 35(5).
- Gumhold S., Wang X., MacLeod R., 2001. Feature extraction from point Cloud. *Proc. 10th International Meshing Roundtable*.
- Hanusch, T., 2008. A new texture mapping algorithm for photorealistic reconstruction of 3D object. *Proceedings of the XXI-th ISPRS Congress, Beijing, China*.
- Hoppe C., Krömker S., 2009. Adaptive meshing and detail-reduction of 3D-point clouds from laser scans. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXVIII-5/W1.
- Huang J., Menq C-H., 2001. Automatic data segmentation for geometric feature extraction from unorganized 3-d coordinate points. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*.
- Lai K., Fox D., 2010. Object Recognition in 3D Point Clouds Using Web Data and Domain Adaptation. *The International Journal of Robotics Research*.
- Lehtomäki M., Jaakkola A., Hyypä J., Kukko A., Kaartinen H., 2010. Detection of vertical pole-like objects in a road environment using vehicle-based laser scanning data. *Remote Sensing 2* (3).
- Mehdi-Souzani C., Digne J., Audfray N., Lartigue C., Morel J.-M., 2010. Feature extraction from high- density point clouds: toward automation of an intelligent 3D contactless digitizing strategy. *Computer-Aided Design and Applications*, Vol. 7/6.
- Neugebauer P., Klein K., 1999. Texturing 3D Models of Real World Objects From Multiple unregistered photographic view. *Proc. Eurographics '99, Computer Graphics Forum, 1999*, 18(3).
- Pauly M., Keiser R., Gross M., 2003. Multi-scale feature extraction on point-sampled surfaces. *Computer Graphics Forum 22*.
- Tarsha-Kurdi F., Landes T., Grussenmeyer P., Koehl M., 2007. Model-Driven and Data-Driven Approaches Using LIDAR Data: Analysis and Comparison. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXVI-3/W49A.
- Weber C., Hahmann S., Hagen H., 2010a. Methods for Feature Detection In Point Clouds. *Shape Modeling International Conference (SMI)*.
- Weber C., Hahmann S., Hagen H., 2010b. Sharp feature detection in point clouds. *Proceedings SMI '10*.

Yogeswaran A., Payeur P., 2009. Features extraction from point clouds for automated detection of deformations on automotive body parts. *Proc. of the IEEE Intl. Workshop on Robotic and Sensor Environments*, Lecco, Italy.

PROBLEMS OF AUTOMATIC MODELLING AND TEXTURING OF OBJECTS THAT DESCRIBE RAILWAY LINE CLEARANCE GAUGE

KEY WORDS: terrestrial laser scanning, 3D modelling, texturing, digital image

Summary

The goal of the paper is to present results of research that has been conducted for several years in the Department of Geoinformatics, Photogrammetry and Environmental Remote Sensing, AGH University of Science and Technology in the field of automatic modelling and texturing of objects that describe railway line clearance gauges.

In the paper, the authors have presented bases of 3D modelling and texturing of objects, with particular consideration of railway clearance gauge objects.

An attempt has been made at assessing possibilities of automatic and semi-automatic reconstruction of objects located in the direct vicinity of railway tracks on the basis of a point cloud from a mobile scanning obtained, together with digital images from four cameras, for the selected test railway line section on Cracow-Warsaw route.

Railway objects shape construction gauge of railway lines, therefore virtual geometric model of those objects might be used for checking if railway rolling stock elements of specified dimensions can safely fit the gauge outline.

A couple of programs have been tested in the framework of research (PhotoModeler Scanner, RiScan Pro, 3DReshaper) as regards their usability for modelling and texturing. In research works a previously prepared triangle model has been utilized, as well as a set of 160 images made with the use of four cameras. Additional data included camera and distortion parameters, and elements of external orientation of obtained images.

The paper shows exemplary results and indicates problems originating in the course of creating models by means of point cloud vectorization. The authors' experiences show that this is a far more difficult process than stereoscopic photogrammetric model vectorization. Only an experienced operator, with a good spatial imagination, is capable of producing a correct model. That is why in majority of solutions, semi-automatic methods are applied. Those methods consist in the operator's determining of a type (or, possibly, an approximated shape) of the object to be detected, as well as its rough location, and it is the task of the algorithm to fit the object into a set area.

The conducted research has demonstrated that there is no thoroughly satisfactory method (program) for automatic modelling and texturing of railway line clearance gauge. As of today, numerous projects have still to be performed in either a semi-automatic, or a manual way.

Dane autorów:

Dr hab. inż. Krystian Pyka, prof. AGH
e-mail: krisfoto@agh.edu.pl

Dr hab. inż. Regina Tokarczyk, prof. AGH
e-mail: tokarcz@agh.edu.pl

Dr inż. Sławomir Mikrut
e-mail: smikrut@agh.edu.pl

Mgr inż. Agnieszka Moskal
e-mail: amoskal@agh.edu.pl

Mgr inż. Elżbieta Pastucha
e-mail: epast@agh.edu.pl
telefon: +48 12 617 3993
fax: +48 12 617 3993