

**OCENA PRZYDATNOŚCI PROGRAMU PHOTOSYNTH
DO MODELOWANIA RZEŻBY TERENU**

**EVALUATION OF PHOTOSYNTH APPLICATION
FOR DIGITAL RELIEF MODELING**

Natalia Kolecka¹, Jakub Kolecki²

¹ Zakład Systemów Informacji Geograficznej, Kartografii i Teledetekcji,
Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński

² Katedra Geoinformacji, Fotogrametrii i Teledetekcji Środowiska, Wydział Geodezji
Górnictwej i Inżynierii Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: model terenu, sieć zdjęć naziemnych, chmura punktów, Photosynth, zdjęcia niometryczne

STRESZCZENIE: Obecnie obserwuje się rosnące zapotrzebowanie na produkty jakimi są trójwymiarowe modele różnych obiektów. Znakomitym źródłem danych do tworzenia modeli 3D są naziemne zdjęcia cyfrowe, których pozyskanie jest szybkie, tanie i łatwe w realizacji. Istnieje wiele pakietów oprogramowania komercyjnego pozwalającego na tworzenie przestrzennych modeli obiektów. Rozwijające się równolegle programy darmowe, choć mniej funkcjonalne, mogą być przydatne podczas tworzenia określonego produktu. Reprezentantem tej grupy aplikacji komputerowych jest Microsoft Photosynth. Pozwala on na generowanie chmury punktów wykorzystując zbiór zdjęć niometrycznych i nie wymaga od użytkownika wiedzy z zakresu fotogrametrii. W pracy poddano weryfikacji modele powierzchni utworzone na podstawie wygenerowanych przez Microsoft Photosynth chmur punktów. Do weryfikacji użyto modelu wygenerowanego w profesjonalnym oprogramowaniu fotogrametrycznym PhotoModeler Scanner. Weryfikacja polegała na obliczeniu odległości euklidesowych pomiędzy węzłami siatki modelu weryfikowanego a powierzchnią modelu wzorcowego, do czego posłużył program VRMesh. Wyniki przeprowadzonych badań pokazują, że modele terenu wygenerowane z wykorzystaniem programu Photosynth mogą znaleźć zastosowanie w pracach nie wymagających bardzo wysokiej dokładności.

1. WSTĘP

Obecnie obserwuje się rosnące zapotrzebowanie na produkty jakimi są trójwymiarowe modele różnych obiektów. Dotyczy ono w coraz większym stopniu takich dziedzin jak: geologia, geomorfologia, archeologia, architektura i turystyka, a modelowane obiekty różnią się wielkością, kształtem i teksturą. Modele mogą służyć do badań, ale często są efektywnym sposobem wizualizacji wyników pracy, służą celom poglądowym, informacyjnym, czy edukacji. Znakomitym źródłem danych do tworzenia modeli 3D są naziemne zdjęcia cyfrowe, których pozyskanie jest szybkie, tanie i łatwe w realizacji. Do wielu aplikacji nie jest konieczny specjalistyczny sprzęt i wystarcza średniej klasy aparat

cyfrowy, którego posiadaczem jest obecnie niemal każdy. Wymagania sprzętowe związane są z dokładnościowymi wymaganiami i celem projektu.

Istnieje wiele pakietów oprogramowania komercyjnego pozwalającego na tworzenie przestrzennych modeli obiektów. Wymagają one najczęściej znajomości zagadnień fotogrametrii, pozwalając użytkownikowi na świadome budowanie modelu. Rozwijające się równolegle programy darmowe, mimo że mniej funkcjonalne, to jednak mogą być przydatne w budowie przestrzennej reprezentacji obiektów. W szczególności dotyczy to prac, w których tworzenie modelu nie jest celem głównym, ale służy jedynie jako materiał pomocniczy. Proces rekonstrukcji geometrii obiektu odbywa się często bez możliwości ingerencji użytkownika, który jedynie podaje zbiór zdjęć podlegających opracowaniu (Photosynth, 2010; ARC3D, 2010). Reprezentantem tej grupy aplikacji komputerowych jest Microsoft Photosynth.

Celem pracy jest wykorzystanie chmury punktów generowanej przez program Photosynth do budowy przestrzennych modeli obiektów, a następnie ocena dokładności rekonstrukcji. Istotne jest także określenie możliwości zastosowania programu w aplikacjach wykorzystujących model terenu.

2. METODYKA PRACY

2.1. Photosynth – krótka charakterystyka

Microsoft Photosynth to aplikacja internetowa umożliwiająca użytkownikowi porządkowanie kolekcji zdjęć różnych obiektów. Program został stworzony przez firmę Microsoft we współpracy z Uniwersytetem w Waszyngtonie (WA). W celu korzystania z programu należy założyć konto na stronie <http://photosynth.net/> oraz zainstalować program Photosynth służący do przesyłania zdjęć na serwer. Jednym z założeń architektów programu jest minimalizacja ingerencji użytkowników w proces opracowania fotogrametrycznego. Użytkownik programu loguje się na serwerze, tworzy nowy projekt i wysyła zdjęcia. Program akceptuje obrazy w formacie JPG. Wskazane jest, aby posiadały one znaczniki EXIF oraz nie były przycięte.

W trakcie pracy programu obliczane są elementy orientacji zewnętrznej zdjęć w lokalnym układzie współrzędnych oraz generowana jest chmura punktów reprezentująca sфотографowany obiekt. Po ukończeniu pracy programu użytkownik może przez internet uzyskać dostęp do wykonanego opracowania i wizualizować je na kilka sposobów. Przykładowo możliwe jest wyświetlenie kolorowej chmury punktów oraz wizualizacja na jej tle stanowisk, z których wykonano poszczególne zdjęcia, wraz z orientacją aparatu. Aby przeprowadzić eksport chmury punktów z serwera do pliku w formacie OBJ należy skorzystać z programu SynthExport, który można pobrać z internetu. Program SynthExport umożliwia również eksport elementów orientacji zewnętrznej zdjęć.

2.2. Wyrównanie sieci zdjęć i generowanie chmury punktów

Pierwszym etapem algorytmu programu Photosynth (Snavely *et al.*, 2006; Snavely *et al.*, 2008), jest odnalezienie na zdjęciach punktów charakterystycznych, możliwych do powiązania w procesie dopasowania. Ponieważ zdjęcia przetwarzane przez program Photosynth mogą być wykonane pod różnymi kątami i przedstawiać szczegóły obiektów

w różnych skalach, do detekcji punktów wiążących wykorzystano metodę SIFT (ang. *Scale Invariant Feature Transform*) (Lowe, 2004). Często stosowana w fotogrametrii metoda oparta na korelacji krzyżowej (ang. *cross correlation*), a następnie na przeprowadzeniu dopasowania LSM, mogłaby w takim przypadku nie być skuteczna. Każdy potencjalny punkt wiążący wykryty metodą SIFT otrzymuje zestaw niezależnych od skali i obrotu cech, które następnie używane są do odnalezienia punktów homologicznych.

Aby zweryfikować poprawność wykrytych punktów wiążących, dla każdej pary zdjęć posiadającej wystarczającą ich ilość, obliczana jest macierz fundamentalna (F), z udziałem procedury RANSAC (ang. *Random Sample Consensus*). W każdej kolejnej iteracji procedury RANSAC stosowany jest algorytm 8-punktowy (Hartley, 2003). Błędnie wykryte punkty wiążące, nie spełniające warunku linii epipolarnych, dla każdego kolejnego oszacowania macierzy F , są eliminowane. Dzięki wyżej nakreślonej procedurze możliwe jest wygenerowanie grafu powiązań między zdjęciami. Dwa zdjęcia są powiązane jeżeli posiadają wystarczająco dużo pozytywnie zweryfikowanych punktów wiążących. Takie zdjęcia reprezentują ujęcia tych samych fragmentów obiektu.

Obliczenie elementów orientacji zewnętrznej (EOZ) wszystkich przesłanych na serwer zdjęć realizowane jest przez Photosynth etapami. EOZ obliczane są kolejno dla obrazów, włączanych według grafu powiązań. Jako dwa pierwsze zdjęcia, dla których program obliczy EOZ, wybierane są te o stosunkowo dużej ilości punktów wiążących, ale także o długiej bazie. Dla tych obrazów liczona jest macierz podstawowa (ang. *essential matrix* – E) z wykorzystaniem algorytmu Nistéra (2004). Estymacja macierzy E , w przeciwieństwie do macierzy F , wymaga znajomości elementów orientacji wewnętrznej, dlatego jako punkt główny przyjmowany jest środek obrazu, a jako stała kamery – wartość ogniskowej zapisana w pliku EXIF. Z estymowanej macierzy E są następnie obliczane, elementy orientacji zewnętrznej pierwszej pary zdjęć, przy warunku jednostkowej długości wektora bazy, a następnie liczone są współrzędne X, Y i Z punktów wiążących w układzie pierwszego zdjęcia. Kolejny krok algorytmu polega na dodaniu do wyrównywanej sieci trzeciego zdjęcia. Jego EOZ a także stała kamery obliczane są z wykorzystaniem DLT (ang. *Direct Linear Transformation*) w oparciu o zbiór uprzednio obliczonych współrzędnych punktów wiążących. Po czym przeprowadzane jest wyrównanie sieci zdjęć metodą wiązki. W wyrównaniu tym parametrami są elementy orientacji zewnętrznej zdjęć, współrzędne terenowe punktów wiążących, stałe kamer oraz współczynniki dystorsji radialnej (k_1 , k_2). Następnie do sieci włączane jest kolejne zdjęcie, poprzez DLT określane są jego EOZ i sieć jest znów wyrównywana. Proces przebiega do czasu, aż estymowane zostaną parametry dla wszystkich obrazów.

Algorytm zaimplementowany w programie Photosynth pozwala przetwarzać kilkutyścieczne zbiory zdjęć i generować z udziałem algorytmu SIFT na tyle gęstą chmurę punktów wiążących, że może ona być wykorzystana do budowy modelu obiektu. Niestety nie ma możliwości wygenerowania jeszcze gęstszej chmury np. na etapie dalszego opracowania, już po ostatecznym wyrównaniu sieci. Użytkownik może wpływać na gęstość chmury zwiększając ilość zdjęć i włączając zdjęcia w większych skalach. Chmura punktów generowana przez Photosynth może być wyświetlana w programie w postaci barwnej jednak SynthExport nie pozwala na zapis informacji o kolorze.

2.3. Budowa modelu

W celu budowy modelu z chmury punktów należy poddać ją przetworzeniu w odpowiednim oprogramowaniu. W pracy wykorzystano wersję testową programu VirtualGrid VRMesh. W pierwszej kolejności muszą być usunięte błędne punkty, powstające w procesie dopasowania obrazów. Kryterium ich wyszukiwania stanowić może odległość do najbliższego sąsiada. W razie potrzeby chmura jest wygładzana i przerzedzana. Jeżeli reprezentacja obiektu zapisana jest w kilku chmurach punktów, należy je połączyć. Stosuje się w tym celu algorytmy oparte na minimalizacji sumy kwadratów odległości pomiędzy zbiorami punktów lub powierzchniami, takie jak ICP (ang. *Iterative Closest Point*) (Besl, McKay, 1992) i LS3D (ang. *Least Square 3D Surface Matching*) (Gruen, Akca, 2005). Następnie w procesie triangulacji punktów budowana jest ich siatka. Nadmiarowe punkty są automatycznie usuwane. Wygenerowana siatka musi zostać przeanalizowana i naprawiona, gdyż może zawierać nieprawidłowo utworzone trójkąty. Dotyczy to szczególnie obszarów przesłoniętych, pokrytych roślinnością lub miejsc o dużych zmianach głębokości w pobliżu krawędzi. Występują tam przerwy w ciągłości chmury punktów, a także punkty błędne. Korekcja źle wygenerowanych trójkątów często wymaga manualnej ingerencji użytkownika, ważne jednak, aby została przeprowadzona przed wykonaniem kolejnego kroku, jakim jest ujednoczenie orientacji wektorów normalnych i wypełnienie niewielkich dziur. Inteligentna redukcja liczby trójkątów pozwala na zmniejszenie wielkości pliku przy zachowaniu elementów charakterystycznych powierzchni. Model może być także dodatkowo wygładzony, przy czym należy uważać, by nie doprowadzić do zatarcia się ważnych szczegółów (Remondino, 2003). W odtworzeniu rzeczywistej reprezentacji obiektu istotne jest zachowanie skali, a niekiedy także orientacja w globalnym układzie odniesienia.

2.4. Weryfikacja modelu

Weryfikacja wygenerowanej powierzchni polega na porównaniu jej kształtu z powierzchnią referencyjną o wyższej dokładności. Dla potrzeb pracy model odniesienia zbudowano w oparciu o chmurę punktów pozyskaną z tych samych zdjęć w oprogramowaniu PhotoModeler Scanner (PhotoModeler, 2010). Umożliwia ono wprowadzenie parametrów kalibracji kamery oraz nadanie orientacji i skali modelowi. Użytkownik definiuje szczegółowe parametry istotne w procesie generowania modelu, m.in. odległość między punktami w chmurze. Zwiększenie gęstości chmury wpływa pozytywnie na dokładność modelu, jednak równocześnie powoduje znaczny wzrost liczby punktów. Punkty wygenerowane w programie PhotoModeler Scanner posłużyły do budowy modelu w programie VRMesh. Wykorzystanie tego samego oprogramowania gwarantuje użycie tych samych algorytmów, co jest istotne w przypadku porównywania modeli. Umożliwia to pominięcie wpływu algorytmu na dokładność rekonstrukcji powierzchni (Li *et al.*, 2005). Jeżeli każdy z modeli został wygenerowany we lokalnym układzie współrzędnych, konieczna jest ich rejestracja. Polega ona na automatycznym dopasowaniu poprzez przesunięcie, obrót i skalowanie (jednakowe we wszystkich kierunkach) jednego z modeli, w tym przypadku modelu z Photosynth. Porównanie polega na obliczeniu odległości pomiędzy obiektami (siatki trójkątów lub chmury punktów) i ich wizualizacji za pomocą histogramu oraz kolorowej symboliki w widoku 3D.

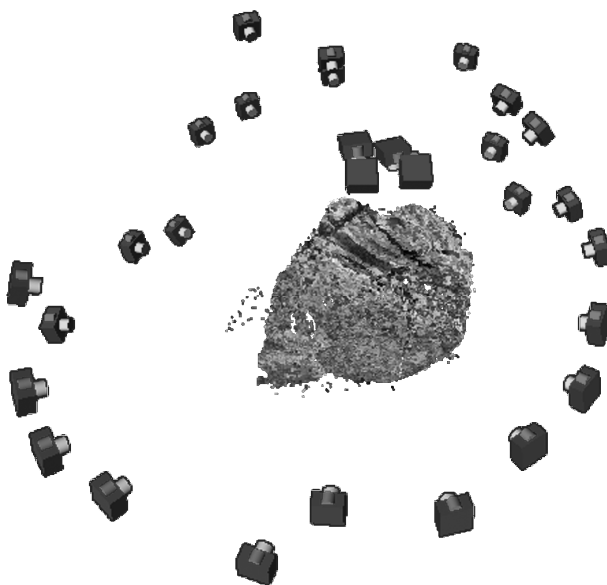
3. PRACE EKSPERYMENTALNE

3.1. Obszar badań i wykonanie zdjęć

Ważnym czynnikiem wpływającym na dokładność modelu jest charakterystyka powierzchni obiektu. Z tego powodu wybrano dwa obiekty testowe na obszarze Tatr Polskich:

- Mnich – turnia w otoczeniu Morskiego Oka o wysokości 2068 m n.p.m.; jego północno-wschodnia ściana opada prawie pionowo ok. 250 m w dół, wiodą nią liczne drogi wspinaczkowe; od zachodu z Dolinki za Mnichem jest łatwo dostępny,
- Głaz – głaz granitowy o wymiarach ok. $1,5 \times 1,2 \times 1,2$ m, położony w pobliżu szlaku wiodącego od schroniska przy Morskim Oku na Szpiglasową Przełęcz.

Różnią się one wielkością i kształtem. Czynniki te oraz dostępność obiektów wpłynęły na sposób wykonania zdjęć i ich liczbę. Niektóre dane dotyczące opracowania modeli obiektów przedstawia tabela 1. Zdjęcia wykonano skalibrowaną lustrzanką cyfrową Nikon D80, wyposażoną w obiektywy stałogniskowe 20 mm f/2,8 i 50 mm f/1,8. Konfigurację zdjęć i utworzoną w PhotoModeler chmurę punktów dla obiektu Głaz przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Konfiguracja zdjęć dla obiektu Głaz

3.2. Generowanie chmur punktów i budowa modeli

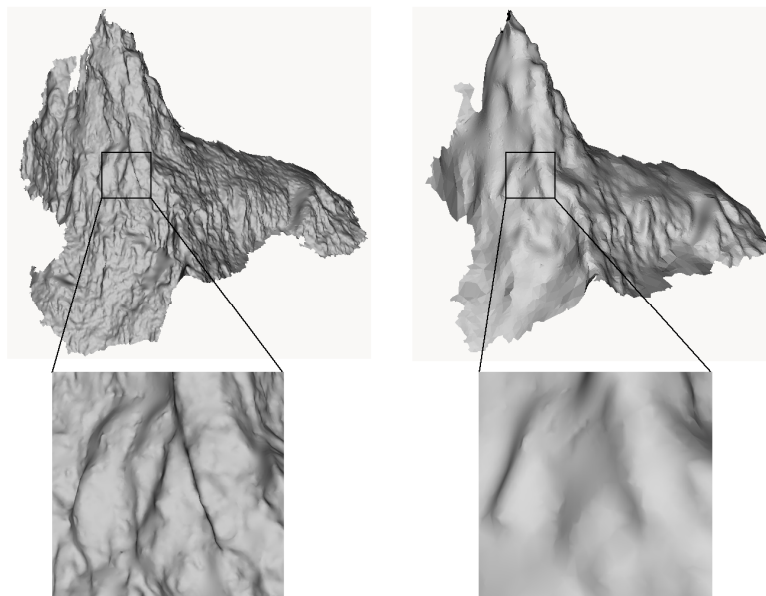
Zdjęcia obiektów testowych wprowadzono do programu Photosynth. W przypadku Mnicha program nie potrafił związać ze sobą wszystkich zdjęć, ponieważ pokrycie między niektórymi z nich było zbyt małe. Znalezienie odpowiednich stanowisk fotografowania, które umożliwiłyby oddanie złożonej geometrii obiektu, było trudne. Program podzielił

zdjęcia na dwie podgrupy, liczące 10 i 57 zdjęć. W następstwie tego zostały wygenerowane dwie chmury punktów. W przypadku obiektu Głaz, Photosynth powiązał wszystkie zdjęcia i utworzył jedną chmurę punktów. Chmury zostały wyeksportowane do plików OBJ. Dla obu obiektów wygenerowano także chmury punktów w programie PhotoModeler Scanner, które posłużyły do budowy modeli referencyjnych. Dane o liczebności i średniej gęstości chmur punktów zawiera tabela 1.

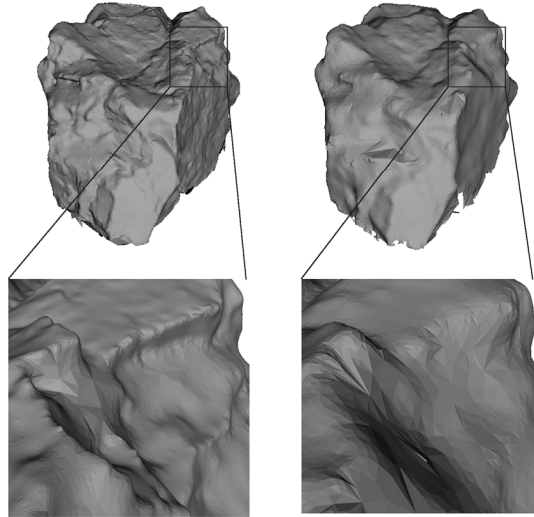
Tabela 1. Obiekty testowe – dane dotyczące opracowanych modeli

	Mnich	Głaz
liczba zdjęć	67	29
odległość fotografowania [m]	10 – 800	1,5 – 3,0
rozmiar piksela terenowego [mm]	10 – 90	0,5 – 1,0
liczebność chmury punktów z Photosynth	29 302	26 919
liczebność chmury punktów z PhotoModeler	425 700	155 990
gęstość chmury punktów z Photosynth	0,2 – 2,0 m	1,7 – 2,5 cm
gęstość chmury punktów z PhotoModeler	0,2 – 1,0 m	0,5 – 1,5 cm

Modelowanie powierzchni w programie VRMesh wymagało użycia różnych strategii w zależności od obiektu i charakteru chmury punktów. W przypadku Mnicha najpierw połączono dwie chmury punktów, wygenerowane w różnych skalach i w lokalnych układach współrzędnych. Rysunki 2 i 3 przedstawiają modele obiektów testowych.



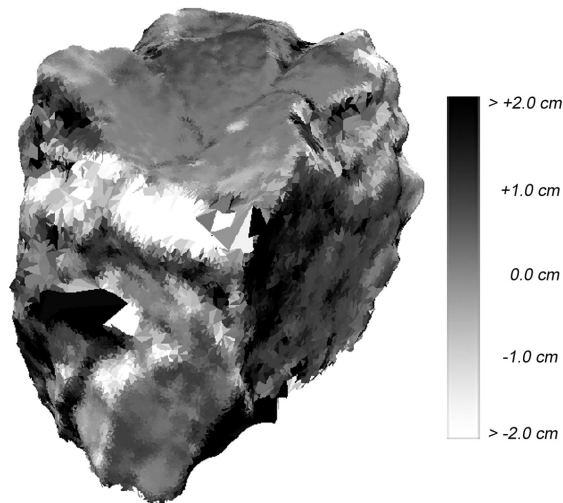
Rys. 2. Model obiektu Mnich: referencyjny (po lewej) i z Photosynth (po prawej), powiększone poniżej



Rys. 3. Model obiektu Głaz: referencyjny (po lewej) i z Photosynth (po prawej), powiększone poniżej

3.3. Weryfikacja modeli

Gęstość i liczba punktów w chmurach z programu PhotoModeler Scanner są znacznie większe niż z programu Photosynth (tabela 1). Dzięki temu powierzchnia zrekonstruowana na ich podstawie cechuje się wyższą dokładnością i wierniejszym przedstawieniem szczegółów.



Rys. 4. Odległości powierzchni wygenerowanej na podstawie chmury punktów z programu Photosynth od powierzchni modelu referencyjnego dla obiektu Głaz

Średnia odległość między powierzchniami została obliczona za pomocą funkcji *Inspection Between Objects* programu VRMesh. Dla obiektu Mnich wynosi ona 0,22 m, a odległość dla 75% powierzchni zawiera się w przedziale od -1 m do +1 m. Największe różnice występują na krawędziach i w zagłębieniach. Dla obiektu Głaz dla 93% powierzchni odległość zawiera się w przedziale od -2 cm do +2 cm (Rys. 4), a dla 71% w przedziale od -1 cm do +1 cm. Wartości dodatnie na rysunku 3 występują głównie w zagłębieniach natomiast ujemne pojawiają się na wystających krawędziach. Świadczy to o mniejszej szczegółowości modelu utworzonego z wykorzystaniem Photosynth.

4. DYSKUSJA I PODSUMOWANIE

Przeprowadzone prace pozwalają na scharakteryzowanie programu Photosynth pod kątem możliwości tworzenia modeli powierzchni.

- Program Photosynth działa w pełni automatycznie. Interakcja użytkownika ogranicza się jedynie do zalogowania na serwerze i wczytania zbioru zdjęć.
- Wyrównanie sieci zdjęć oraz generowanie chmury punktów odbywa się na serwerze – poza komputerem użytkownika. Czas utworzenia chmury punktów jest krótki – 10 min dla 67 zdjęć (Mnich) 24-bitowych o rozdzielczości 3872×2592 pikseli.
- Wykorzystanie chmury punktów do dalszych prac wymaga jej zapisania za pośrednictwem dodatkowej aplikacji – SynthExport.
- Użytkownik nie ma wpływu na gęstość chmury punktów.
- Model wygenerowany z utworzonej przez Photosynth chmury punktów cechuje się wysokim stopniem generalizacji. Optymalne wykorzystanie zdjęć (np. w programie PhotoModeler) pozwala na stworzenie modelu o wyższej szczegółowości (Rys. 2, Rys. 3).
- Program Photosynth tworzy chmurę punktów w lokalnym układzie współrzędnych. Aby otrzymać model w żądanej skali należy wykonać odpowiednią transformację.
- Photosynth może być wykorzystany do tworzenia modeli obiektów w celach wizualizacyjnych i poglądowych, a także dla zastosowań nie wymagających bardzo wysokiej dokładności.

5. LITERATURA

ARC3D. 2010: <http://www.arc3d.be>

Besl P.J., McKay N.D., 1992. A Method for Registration of 3-D Shapes. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 14 (2), s. 239–256.

Gruen A., Akca D., 2005. Least squares 3D surface and curve matching. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 59 (3), s. 151–174.

Hartley R., Zisserman A., 2003. *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge University Press, Nowy Jork.

Li Z., Zhu Q., Gold Ch., 2005. *Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology*. USA, Boca Raton: CRC Press.

Lowe D., 2004. Distinctive image features from scale-invariant key-points. *International Journal of Computer Vision*, 60 (2), s. 91–110.

Nistér D., 2004. An efficient solution to the five-point relative pose problem. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 26(6), s. 756–777.

PhotoModeler. 2010: <http://www.photomodeler.com>

Photosynth. 2010: <http://photosynth.net>

Remondino F., 2003, From point cloud to surface: the modeling and visualization problem. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXIV-5/W10.

Snavely N, Seitz S.M., Szeliski R., 2006. *ACM Transactions on Graphics*.

Snavely N, Seitz S.M., Szeliski R., 2008. Modeling the World from Internet Photo Collections. *International Journal of Computer Vision*, 80 (2), s. 189–210.

SynthExport 2010: <http://synthexport.codeplex.com/releases/view/45675>

VRMesh. 2010: <http://www.vrmesh.com>

EVALUATION OF PHOTOSYNTH APPLICATION FOR DIGITAL RELIEF MODELING

KEY WORDS: terrain model, terrestrial image network, point cloud, Photosynth, non-metric images

SUMMARY: Nowadays, an increasing demand for such products as 3D models of various objects is observed. Terrestrial digital imaging is an outstanding source of data for creating such models, as they can be acquired cheaply, easily and fast. There is a lot of commercial software allowing the creation of spatial models of objects. Free software, which is being developed concurrently is less functional but can be useful when creating models of certain objects. An example of an interesting free application that can be applied for modeling is the Microsoft Photosynth. It allows the generation of a cloud of points from a set of non-metric photos, not demanding a photogrammetric knowledge from the user. In this work, models created from point clouds generated by Photosynth were evaluated. In order to conduct the evaluation, a reference models were created using a professional photogrammetric software – PhotoModeler Scanner. The verification included a visual analysis and calculation of Euclidean distances between nodes of reference and the meshes compared. The comparison was performed using the VRMesh software. The results of the research show that the terrain models generated using the Photosynth point clouds can be used in many applications, especially when top accuracy is not demanded.

mgr inż. Natalia Kolecka
e-mail: nkolecka@gis.geo.uj.edu.pl
telefon: 012 664 5302
fax: 012 664 5385

mgr inż. Jakub Kolecki
e-mail: kolecki@agh.edu.pl
telefon: 012 617 3993
fax: 012 617 3993