

WYBRANE ASPEKTY INTEGRACJI DANYCH NAZIEMNEGO I LOTNICZEGO SKANINGU LASEROWEGO

CHOSEN ASPECTS OF TERRESTRIAL AND AERIAL LASER SCANNING DATA INTEGRATION

Anna Fryškowska, Michał Kędzierski

Zakład Teledetekcji i Fotogrametrii, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji,
Wojskowa Akademia Techniczna

SŁOWA KLUCZOWE: naziemny skaningu laserowy, lotniczy skaningu laserowy, model 3D, integracja, fotogrametria bliskiego zasięgu, fotogrametria lotnicza

STRESZCZENIE: Od kilkunastu lat zauważalny jest duży postęp technik wizualizacyjnych. Coraz częściej trójwymiarowe modele pozyskane ze zdjęć lotniczych czy satelitarnych zastępowane są modelami wygenerowanymi na podstawie lotniczego skaningu laserowego (LSL). Najnowocześniejsze systemy skanujące mają możliwość pozyskania nawet kilkudziesięciu punktów na m² oraz rejestracji wielokrotnego echa, co pozwala na odtworzenie powierzchni terenu wraz z jego pokryciem. Jednak dane z LSL charakteryzują się dokładnością kilkunastu cm, a także specyficznymi brakami w danych: brakiem informacji o przyziemiu (w większości systemów skanujących), często o elewacji, lub o obiektach przysłoniętych innymi, wyższymi obiektami. Zauważalne są również okluzje czy też brak danych „pod obiektem”. Z kolei naziemny skaningu laserowy (NSL) pozwala na bardzo dokładne (1÷5 cm) pomiary wszystkich tych elementów, które nie są kompletne czy widoczne w danych z LSL (elewacja, skomplikowana struktura, wnętrze czy kształt budynku, mostu itp.). Pełny model 3D obiektu np. budynku jest możliwy do osiągnięcia tylko poprzez połączenie danych z obu systemów skanowania laserowego.

W artykule przedstawiono wybrane aspekty i metody łączenia danych z lotniczego i naziemnego skaningu laserowego w celu wykonywania trójwymiarowych modeli miast na przykładzie danych pozyskanych skanerem lotniczym Lite Mapper Q680i oraz naziemnym skanerem ScanStation2. Przeanalizowano także metody doboru punktów wiążących chmury punktów w różnych układach współrzędnych (UTM – z lotniczego i w lokalnym – z naziemnego skaningu laserowego). Ocenie poddano także wyniki transformacji. Poruszona zostanie również kwestia modelowania chmur punktów oraz łączenia wykonanych modeli z ortobrazami.

1. WPROWADZENIE

Jednym z zastosowań zintegrowanych chmur punktów z lotniczego i naziemnego skaningu laserowego jest budowa na podstawie takich danych trójwymiarowym modeli miast. Większość Numerycznych Modeli terenu oraz modeli 3D miast wykonywanych jest na podstawie zdjęć lotniczych bądź satelitarnych oraz coraz bardziej popularnego lotniczego skaningu laserowego LIDAR. Tematyka wizualizacji i modelowania 3D powierzchni terenu jest poruszana w wielu krajowych i światowych publikacjach jak np. (Böhm, 2006; Sohn,

Dowman, 2002; Różycki, 2007) i wielu innych. Poprzez wektoryzację, stereodigitalizację lub korelację obrazów budowane są Numeryczne Modele Pokrycia Terenu (NMPT). Bardzo często na ich podstawie opracowuje się trójwymiarowe modele obiektów. Modele takie nie posiadają informacji np. o elewacji budynku czy też elementach znajdujących się na płaszczyznach bocznych obiektów, dlatego też często uzupełnia się je teksturą ze zdjęć lotniczych lub naziemnych.

Tradycyjne metody ekstrakowania budynków z klasycznych zobrazowań satelitarnych lub lotniczych są pracochłonne, czasochłonne i kosztowne, dlatego istnieje wyraźna tendencja do opracowywania nowych automatycznych lub półautomatycznych metod i algorytmów rekonstrukcji modeli budynków i innych obiektów wchodzących w skład Numerycznego Modelu Pokrycia Terenu (Mayer, 1999).

Obecnie istnieje wiele metod opracowania modeli 3D terenów zurbanizowanych. Większość z nich opiera się na danych z lotniczego skaningu laserowego połączonych ze zdjęciami lotniczymi bądź satelitarnymi lub w oparciu o plany architektoniczne budynków (Haala, Brenner, 1999). Niestety, istniejące metody i oprogramowania posiadają jeszcze widoczne ograniczenia i nadal niezbędny jest znaczący, czasochłonny, interaktywny udział operatora (Marmol, 2003). Zalicza się do tego zarówno proces filtracji danych laserowych, będący integralną częścią procesu modelowania 3D jak i same algorytmy budowy tych modeli.

W ciągu ostatnich lat trójwymiarowe modele miast opracowane na podstawie zdjęć lotniczych czy satelitarnych zastępowane są modelami wygenerowanymi na podstawie lotniczego skaningu laserowego (LSL). Najnowocześniejsze systemy skanujące mają możliwość pozyskania nawet kilkudziesięciu punktów na m² oraz rejestracji wielokrotnego echa, co pozwala na dokładne odtworzenie powierzchni terenu wraz z jego pokryciem. Jednak dane z LSL charakteryzują się dokładnością kilkunastu cm, a także specyficznymi brakami w danych: brakiem informacji o przyziemiu (w większości systemów skanujących), często o elewacji, lub o obiektach przysłoniętych innymi, wyższymi obiektami. Zauważalne są również okluzje czy też brak danych „pod obiektem”. Z kolei naziemny skaningu laserowy (NSL) pozwala na bardzo dokładne (1÷5 cm) pomiary wszystkich tych elementów, które nie są kompletne czy widoczne w danych z LSL (elewacja, skomplikowana struktura, wnętrze czy kształt budynku, mostu itp.) (Shan, Toto, 2009). Pełny i szczegółowy model 3D obiektu np. budynku jest możliwy do osiągnięcia tylko w oparciu o dane pozyskane z obu systemów skanowania laserowego (np. połączone chmury punktów).

2. POZYSKANIE DANYCH

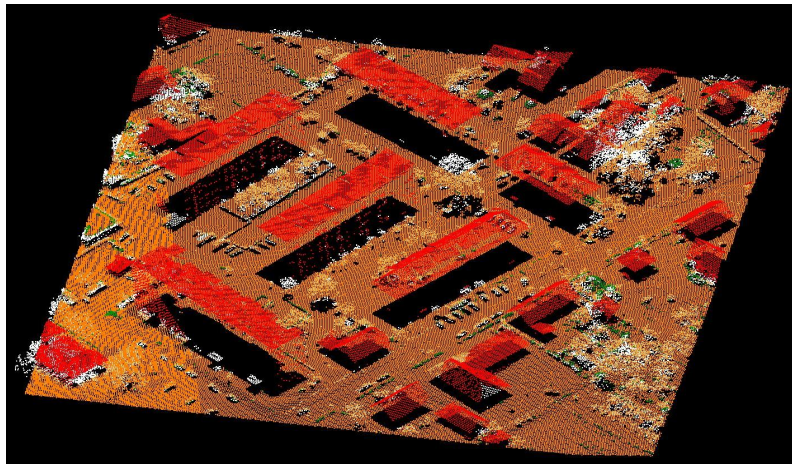
Dane wykorzystane do integracji pozyskane zostały za pomocą lotniczego i naziemnego skaningu laserowego. Systemy te oprócz punktów o znanych współrzędnych przestrzennych X, Y, Z, pozyskują również informację o intensywności powracającego sygnału oraz często posiadają wbudowane kamery cyfrowe, umożliwiające rejestrację obrazu cyfrowego, wykorzystywanego w późniejszym przetwarzaniu danych do ich teksturowania czy opracowania ortoobrazów.

2.1. Lotniczy skaningu laserowy

Dane wykorzystane do integracji pochodzą z lotniczego skaningu laserowego i obejmują fragment obszaru miasta Uniejów i jego okolic. Skaningu wykonany został systemem

lotniczego skaningu laserowego Lite Mapper 6800i z rozdzielczością 4 pkt./m². Dokładność pomiaru odległości skanerem LSM-Q680i szacuje się na 20 mm.

Do integracji został wybrany fragment testowy miasta obejmujący budynki o różnych kształtach dachów oraz obiekty typowe dla większości miast polskich takie jak: niska i wysoka roślinność, mosty itp. (rys. 1). Dokładność pomiarów wyznaczona została na podstawie terenowych pomiarów kontrolnych i wyniosła ok. 15÷30 cm – dla współrzędnych wysokościowych i 11÷50 cm dla współrzędnych X, Y.



Rys. 1. Fragment danych z LSL terenu miasta, wykorzystany do integracji danych – rzut izometryczny

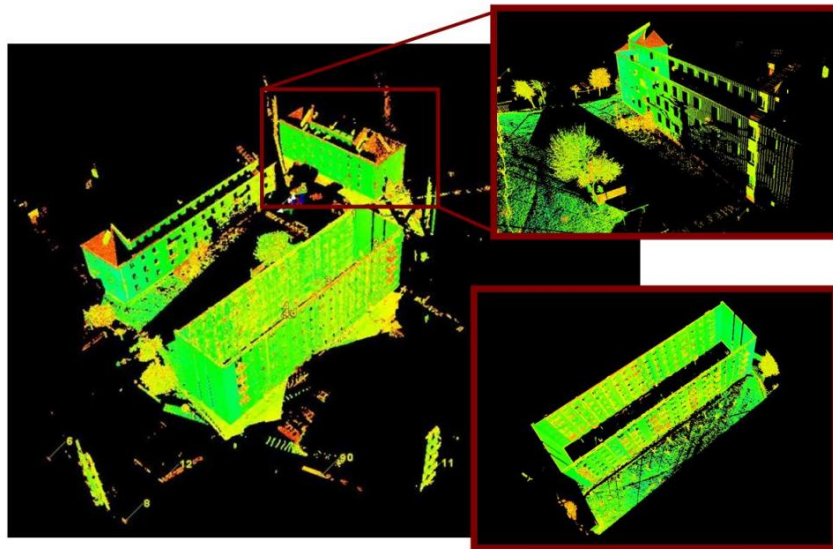
Rysunek 1 przedstawia fragment chmury punktów terenu miasta, który został wykorzystany do integracji danych z lotniczego i naziemnego skaningu laserowego. Dane z systemów skanowania laserowego to nie tylko chmury punktów o znanych współrzędnych przestrzennych X, Y, Z, ale również (a niekiedy przede wszystkim) informacja o intensywności powracającego sygnału. Często służy ona jako podstawa do klasyfikacji, filtracji danych. Na rys. 1 przedstawione zostały sklasyfikowane (pod kątem przynależności do poszczególnych grup tematycznych) chmury punktów pochodzące z LSL. Barwa czerwona reprezentuje warstwę budynków (dachów), a barwy: pomarańczowa, biała i zielona odpowiednio: teren oraz niską i średnią roślinność.

Dla pomiarów techniką LSL charakterystycznym jest fakt, iż w wyniku pomiaru rejestrowane są punkty znajdujące się na górnych płaszczyznach obiektu (w przypadku budynku na dachach, w przypadku drzew głównie górne warstwy korony, ale również poszczególne konary i niższe partie roślinności z uwagi na niejednorodność „powierzchni” korony drzew). Problem ten będzie określany w dalszej części publikacji mianem „niekompletności” danych. Również zauważalne są określone błędy takie jak: „stapianie się” obiektów – budynków i wysokiej roślinności przysłaniającej ich górne partie, okluzje, a także braki w danych – np. brak informacji o elewacji i przyziemiu budynku.

2.1. Naziemny skaning laserowy

Dane z naziemnego skaningu laserowego pozyskane zostały z wykorzystaniem skanera impulsowego ScanStation2, należącym do rodziny skanerów Leica Geosystems HDS. Jest to uniwersalny skaner impulsowy o zasięgu kilkuset metrów pozwalający na wykonywanie pomiarów 3D z milimetrową precyzją. Praktyczny zasięg skanera to ok. 150 m (Kędziński *et al.*, 2010). Kompletny system skanera wraz z wbudowaną kamerą cyfrową (o rozdzielczości 6.4 mln pikseli) sterowany jest za pomocą oprogramowania Cyclon 5.8.

Głównym kryterium wyboru skanowanego obszaru była homologiczność danych z obu systemów skanowania laserowego. Skanowanie przeprowadzone zostało z rozdzielczością 50 mm na zadanej odległości (różnej w zależności od usytuowania stanowiska skanera względem mierzonego budynku/obiektu).



Rys. 2. Fragment danych pozyskanych za pomocą naziemnego skaningu laserowego (obszar tożsamy z obszarem testowym z LSL)

Wybrany fragment zeskanowany został z czterech stanowisk. Na rysunku 2 widoczne są pomierzone chmury punktów. Systemy naziemnego skaningu laserowego cechują się ograniczonymi możliwościami pozyskiwania danych. Głównym czynnikiem decydującym o ilości pozyskanych informacji jest zasięg skanowania, co determinuje możliwość pozyskania danych o wyższych partiach obiektów w tym przypadku o dachach budynków. W przypadku NSL rejestrowana jest także intensywność powracającej do detektora wiązki laserowej. Barwa czerwona świadczy o słabym odbiciu, niebieska zaś o wysokim albedo. Dla pomiarów wykonanych techniką NSL błąd wyznaczenia współrzędnych poziomych punktów wyniósł 3÷8 cm i wysokości od 3÷6 cm.

3. INTEGRACJA DANYCH Z LSL I NSL – WYBRANE ASPEKTY

Jednym z głównych zastosowań danych z fotogrametrycznych systemów skanowania laserowego jest budowa trójwymiarowych modeli miast, a w tym obiektów takich jak: budynki, mosty, wiadukty, tunele itp. Głównymi problemami integracji tych danych w aspekcie terenów zurbanizowanych są:

- „niekompletność” danych zarówno z NSL jak i z LSL – różna dokładność i charakter danych – inne braki w danych,
- generalizacja danych – wymagane są różne stopnie dokładności i szczegółowości danych w zależności od zastosowań, np.
 - ochrona środowiska, analiza hałasu – mapy hałasu – niższy poziom szczegółowości,
 - zabytki i obiekty o funkcjach reprezentacyjnych – wyższy poziom szczegółowości,
- „wielozasowość” – zmiany w danych w czasie – łączenie nowych danych z już istniejącymi, często aktualizacja modeli, pozyskanie danych za pomocą LSL i NSL w innym czasie,
- niejednoznaczność punktów wiążących, z czego wynika problem uniwersalności metod przetwarzania danych z LSL w związku z różną dokładnością wynikającą bezpośrednio z parametrów lotu i pomiaru,
- transformacja wszystkich danych do PUWG.

Transformacja między układami

Jednym z podstawowych zagadnień związanych z łączeniem chmur punktów pochodzących z dwóch różnych systemów skanowania lotniczego i naziemnego będzie poszukiwanie właściwej i odpowiedniej (szczególnie pod względem dokładności) metody doboru punktów wiążących dane z obu typów skaningu laserowego.

Problem transformacji łączy się ściśle z zagadnieniem właściwego doboru punktów pod względem jednoznaczności, dokładności, liczby oraz rozmieszczenia przestrzennego punktów dostosowania. Dokonany został następujący podział metod łączenia danych pod względem:

- *doboru punktów wiążących*:
 - manualnie – wybór oparty na wizualnej interpretacji krawędzi i narożników na podstawie punktów pochodzących z chmur punktów,
 - półautomatycznie – łączenie na podstawie danych wektoryzowanych – wybór oparty na podstawie automatycznej klasyfikacji krawędzi i narożników z chmury punktów, a także w oparciu o zmodyfikowane metody klasyfikacji,
 - punkty nie przynależące do obiektu – fotopunkty sztuczne lub naturalne nie będące obiektem podlegającym modelowaniu 3D,
- *typu transformacji* – uwarunkowanie wyboru typu transformacji w zależności od jej dokładności i liczby punktów dostosowania.

3.1. Łączenie danych z lotniczego i naziemnego skaningu laserowego

Łączenie danych zostało przeanalizowane pod kątem kilku wybranych typów transformacji: afinicznej, konforemnej, izometrycznej i na dwa znane punkty; metody wyboru punktów wiążących – manualnie i półautomatycznie, a także w różnych konfiguracjach rozmieszczenia geometrycznego punktów wiążących.

Łączenie na podstawie transformacji afinicznej

Transformacja afiniczna dziewięcioparametrowa została przeprowadzona w programie TerraScan na podstawie wyznaczonej macierzy przekształceń $\mathbf{A} = \mathbf{RS}$ (gdzie \mathbf{R} – macierz obrotów i \mathbf{S} – wektor przesunięcia) i w konsekwencji na podstawie równania (Osada, 1998):

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_o \\ Y_o \\ Z_o \end{pmatrix} + R \cdot S \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad (1)$$

gdzie X_o, Y_o, Z_o, X, Y, Z – współrzędne układu pierwotnego i wtórnego, \mathbf{R} – macierz obrotu, \mathbf{S} – macierz odkształcenia (skali) układów.

Przyjmujemy, że $A = RS$ to macierz przekształcenia afinicznego, która wyznaczona została w programie GeoNET:

$$A = \begin{pmatrix} 0.9967 & 0.01254 & -0.00259 \\ -0.0126 & 1.0025 & -0.00145 \\ 0.00243 & 1.3974 & 0.9425 \end{pmatrix}$$

Macierze skali i obrotu zostały obliczone na podstawie rozkładu biegunowego macierzy przekształcenia afinicznego \mathbf{A} w programie Mathcad (Osada, 1998). Najpierw wyznaczone zostały wartości własne λ macierzy $\mathbf{A}^T \mathbf{A}$:

$$\lambda = \begin{pmatrix} 1.00522 \\ 0.99357 \\ 0.88843 \end{pmatrix}$$

Macierz obrotu \mathbf{S} obliczono zgodnie z algorytmem (Osada, 1998), na podstawie wektorów własnych e macierzy $\mathbf{A}^T \mathbf{A}$:

$$e^{<i>= eigenvec(A^T \cdot A, \lambda_i) \quad (2)$$

$$S = e \cdot \lambda \cdot e^T \quad (3)$$

$$S = \begin{pmatrix} 0.99678 & -0.00007234 & -0.00014292 \\ -0.00007342 & 1.0026 & -0.00009007 \\ -0.00014293 & -0.0000900681 & 0.94257 \end{pmatrix}$$

a następnie ekstremalne wartości skali e_s określono jako wartości własne macierzy \mathbf{S} :

$$e_s = \begin{pmatrix} 0.99678 \\ 0.94257 \\ 1.0026 \end{pmatrix}$$

Następnie wyznaczona została macierz obrotu:

$$R = (A^T)^{-1} \cdot S = \begin{pmatrix} 0.99992 & 0.01258 & -0.0026034 \\ -0.01258 & 0.99992 & -0.001451 \\ 0.002585 & 0.00148 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

oraz poszczególne wartości kątowne obrotu:

$$\omega = 0.01258$$

$$\phi = 0.00258$$

$$\kappa = 0.00148$$

Zniekształcenia skalowe m w kierunkach linii współrzędnych wyniosły odpowiednio:

$$m_x = 0.99678$$

$$m_y = 1.00260$$

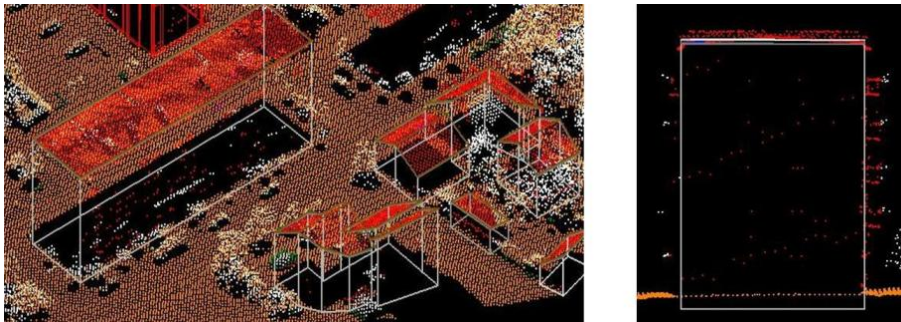
$$m_z = 0.94257$$

Obliczone parametry transformacji afinicznej 3D pozwoliły na przeprowadzenie analiz związanych z kryterium wyboru punktów wiążących.

3.2. Wybór punktów wiążących

W przypadku identyfikacji punktu metodami: manualną i półautomatyczną (wektoryzacja) zauważalne są wyraźne różnice w jednoznacznym określeniu przynależności punktu do krawędzi lub wierzchołka obiektu.

Średnia różnica identyfikacji wybranych 16 punktów metodą manualną i półautomatyczną wyniosła dla współrzędnych: X: 0.390 m, Y: 0.399 m, Z: 0.120 m. Jest to zatem błąd większy niż sam błąd pomiaru metodami skaningu laserowego.



Rys. 3. Fragment zwektoryzowanego obszaru testowego danych z LSL

Równie istotnym rozważanym aspektem integracji LSL i NSL jest geometria rozmieszczenia punktów wiążących oraz zbadanie jej wpływu na wyniki transformacji.

Rozpatrzono przypadki gdzie punkty wiążące rozmieszczone zostały: równomiernie na badanym obszarze oraz nierównomiernie – zlokalizowane na jednym wybranym obiekcie. Analiza dokładności została oparta na punktach kontrolnych i część wyników przedstawiona została w tabeli 1.

Punkty 3, 8, 9 i 16 są punktami dostosowania, pozostałe punkty to punkty kontrolne. Średnia odchyłka na punktach kontrolnych dla metody manualnej wyniosła odpowiednio dla: X: 0.290; Y: 0.635; Z: 0.166 m, zaś dla metody półautomatycznej bazującej na danych wektoryzowanych dla X, Y, Z: 0.184; 0,291; 0.061 m. w przypadku, gdy punkty wiążące znajdowały się na jednym obiekcie, dla metody manualnej średnie odchyłki na punktach kontrolnych wyniosły: X: -3.774; Y: -3.077; Z: -0.370 m, a w przypadku metody półautomatycznej dla X, Y, Z odpowiednio: -0.321; -1,001; 0.138 m.

Tab. 1. Analiza dokładności transformacji opartej na punktach wiążących rozmieszczonych równomiernie na badanym obszarze

<i>pkt. przed transformacją</i>	<i>dx [m]</i>	<i>dy [m]</i>	<i>dz [m]</i>	<i>pkt. po transformacji</i>	<i>dx [m]</i>	<i>dy [m]</i>	<i>dz [m]</i>
3	0.096	-0.023	0.008	3	0.067	-0.026	-0.001
8	0.247	-0.076	0.011	8	-0.088	-0.074	0.004
9	-0.152	0.086	-0.029	9	0.029	0.127	-0.003
16	-0.191	0.013	0.001	16	-0.008	-0.023	-0.001
11	0.032	0.909	0.058	11	0.170	-0.289	0.168
4	0.459	0.344	0.060	4	0.169	-0.020	0.060
15	0.348	0.761	0.124	15	-0.470	0.856	0.129
18	0.321	0.524	0.421	18	-0.472	0.931	0.124

W obu wariantach metoda automatycznego wykrywania (w tym przypadku – wierzchołków) jest dokładniejsza niż metoda manualna. Wynika to z dokładności aproksymacji krawędzi i automatycznego wyznaczenia ich przecięcia – czyli odszukania wierzchołków, które mogły nie zostać zarejestrowane podczas pomiaru i de facto tym samym nie znajdują się w chmurze punktów. Nie mogą więc być one zidentyfikowane poprawnie metoda manualną. Dlatego też, dalsze badania będą skupiały się na opracowaniu autorskiej metody półautomatycznego lub automatycznego ekstrahowania i wybierania punktów wiążących pozwalającej na podniesienie dokładności wyników integracji obu zestawów danych. Co więcej, opracowana metoda musi uwzględniać fakt, iż dane z lotniczego i naziemnego skaningu laserowego nie zawsze przedstawiają dokładnie te same fragmenty obiektów – lotniczy skaningu rejestruje zazwyczaj ich górne części, natomiast naziemny skaningu laserowy głównie dolne i boczne. Bowiemy np. dla obiektów o dużej wysokości (na granicy zasięgu naziemnego skaningu laserowego) istnieje bardzo niewiele punktów „jednoznacznie homologicznych”.

Rysunek 4 przedstawia wyniki integracji danych z lotniczego i naziemnego skaningu laserowego.



Rys. 4. Wynik integracji danych z LSL i NSL

Barwa biała reprezentuje dane z naziemnego skaningu laserowego, pozostałe zaś to dane z lotniczego skaningu laserowego.

Obecnie większość systemów skanujących dostępnych na rynku wyposażonych jest w kamery cyfrowe, które jednocześnie pozyskują chmury punktów oraz dane obrazowe w postaci zdjęć naziemnych lub lotniczych. Dlatego też integracja danych uwzględnia zarówno dane w postaci chmury punktów jak i same zdjęcia cyfrowe (Habib *et al.*, 2008). Ponadto, oprócz współrzędnych przestrzennych X, Y, Z chmury punktów możemy pozyskać również dodatkowy parametr – intensywność odbitego sygnału (bądź kilku sygnałów w postaci wielokrotnego echa). Zarówno zdjęcia cyfrowe jak i intensywność pozwolą nam na uzupełnienie trójwymiarowego modelu miasta teksturą, bądź ułatwią klasyfikację chmury punktów.

4. PODSUMOWANIE I DALSZE BADANIA

Jak wykazały powyższe analizy na dokładność łączenia chmur punktów mają wpływ zarówno jakość wyboru punktów wiążących (metoda) jak i samo ich rozmieszczenie przestrzenne. W miejscach, gdzie możliwymi punktami wiążącymi były punkty skupione na jednym tylko obiekcie odchyłki te sięgały wartości nawet 3 metrów. Kluczowym problemem integracji danych z lotniczego i naziemnego skaningu laserowego jest różna rozdzielczość i dokładność pozyskanych danych. Istnieje wiele metod i algorytmów służących do wyszukiwania punktów wiążących, ale są one zazwyczaj stosowane dla chmur punktów pochodzących z jednego rodzaju skaningu. W związku z tym dane przedstawiają teoretycznie te same elementy obiektów (np. lotniczy skaningu laserowego pozyskuje informację głównie o górnych płaszczyznach budynku, zaś naziemny skaningu laserowego o elewacji bądź wnętrzu budynku). Jak wykazały dotychczasowe badania wykonane przez Autorów, bardzo duży wpływ na identyfikację punktów homologicznych mają: metoda i dokładność pozyskanych danych, a także typ i elementy obiektu zarejestrowane przez dany rodzaj skaningu laserowego. Dlatego, często dostępne algorytmy wyszukiwania punktów wiążących nie zapewniają dostatecznej dokładności opracowania danych, w tym wyboru punktów homologicznych z danych o różnej rozdzielczości i o różnej dokładności, a czasami nawet nie są możliwe do zastosowania. Zatem, aby przeprowadzić integrację danych z oczekiwaną dokładnością (na poziomie co najmniej dokładności pomiaru obiektu za pomocą lotniczego lub naziemnego skaningu laserowego), konieczne jest opracowanie innych metod i algorytmów doboru punktów wiążących. Dlatego też Autorzy opracowują rozwiązania obejmujące uzupełnienie obu zestawów danych o nowe punkty wiążące wybrane na podstawie chmur punktów – autorska metoda bazująca na wyborze punktów wiążących na powierzchni innych (niż modelowane) obiektów z pozyskanej chmury punktów. Zdaniem Autorów istotnym problemem jest jakość wyboru punktów wiążących w ujęciu skuteczności istniejących i przeznaczonych do tego algorytmów. Dlatego, rozwiązaniem koniecznym do opracowania i zastosowania będzie dodanie do obu zestawów danych nowych punktów wiążących wybranych na podstawie odpowiednio zaprojektowanych fotopunktów (zlokalizowanych na mierzonym obszarze przed wykonaniem skanowania). Ważnym aspektem integracji danych skaningu laserowego jest również zwrócenie uwagi na istniejące już metody łączenia obu zestawów danych za pomocą punktów wybranych na podstawie aproksymacji krawędzi i płaszczyzny czy też automatycznego wyszukiwania

wierzchołków lub narożników budynków. Modyfikacja istniejących metod może być przydatna w ujęciu podniesienia dokładności i skuteczności ich działania.

Z uwagi na fakt, iż na terenie zurbanizowanym znajduje się szereg obiektów innego typu niż zabudowania np. mosty, wiadukty, tunele, infrastruktura, w tym koleje, linie energetyczne itp., jak również roślinność, w zagadnieniu integracji danych pojawią się również inne problemy, wynikające z natury tych obiektów. Przykładowo, wybór punktów homologicznych z chmur punktów dla lotniczego i naziemnego skaningu laserowego będzie kłopotliwy i będzie wprowadzał kwestię niejednoznaczności w przypadku mostów czy terenów zadrzewionych (parki, ogrody itp.), dlatego ważnym aspektem jest także uniwersalność algorytmów łączenia danych.

LITERATURA

Böhm Jan, 2006 *Terrestrial Laser Scanning – A Supplementary Approach for 3D Documentation and Animation*, Stuttgart.

Haala, N., and C. Brenner, 1999 *Extraction of building and trees in urban environments*, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 54 (2-3): 130–137.

Habib A. F., Kersting J., Mccaffrey T.M., Jarvis A.M.Y., 2008, *Integration of LIDAR and airborne imagery for realistic visualization of 3d urban environments*, ISPRS proceedings, vol. XXVII, part b2, pp. 617–624.

Kędziński M., Walczykowski P., Fryškowska A., 2010 *Aspekty pozyskiwania danych z naziemnego skaningu laserowego*; Biuletyn WAT, VOL. LIX, NR 2, str. 211–221.

Mayer, H., 1999, *Automatic object extraction from aerial imagery: a survey focusing on buildings*, Computer Vision and Image Understanding, 74(2): 138–149

Marmol U., 2003, *Pozyskiwanie Numerycznego Modelu Powierzchni Topograficznej (NMPT) w oparciu o dane wysokościowe pochodzące z lotniczego skanera laserowego*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji vol. 13b „Fotogrametria bliskiego i dalekiego zasięgu”. Wrocław.

Osada E., 1998, *Analiza wyrównanie i modelowanie geo-danych*, Wrocław.

Różycki S., *Trójwymiarowe modele miast – tworzenie i zastosowania*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 17b, 2007.

Shan J., Toth C., 2009, *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing*, USA.

Sohn, G., Dowman, I., 2002, *Terrain surface reconstruction by the use of tetrahedron model with the MDL Criterion*. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXIV Pt. 3A, pp. 336–344.

www.riegl-usa.com

**CHOSEN ASPECTS OF TERRESTRIAL AND AERIAL LASER SCANNING
DATA INTEGRATION**

KEY WORDS: terrestrial laser scanning, aerial laser scanning, 3D model, integration, close range photogrammetry, aerial photogrammetry

SUMMARY: Visualization techniques have been greatly developed in the past few years. Three-dimensional models based on satellite and aerial imagery are now being replaced by models generated on aerial laser scanning (ALS). The most modern of such scanning systems have the ability to acquire over 50 points per m² and to register a multiple echo, which allows reconstruction of the terrain together with the terrain cover. However, ALS data accuracy is greater than 10cm and the data is often incomplete: there is no information about the ground level (true for most scanning systems) and often about the facade or objects which are covered by other objects. There is also no data on beneath the object. However, the terrestrial Laser Scanning (TSL) obtains higher accuracy data (1÷5cm) on all of those elements which are incomplete or not visible with ALS methods (facades, complicated structures, interiors, bridges, etc.).

This paper presents chosen aspects and methods for combining data from aerial and terrestrial laser scanning for the purpose of creating three-dimensional models of cities. This will be done based on data acquired using the Lite Mapper Q680i aerial scanner and the ScanStation2 terrestrial laser scanner. Methods for choosing tie points to combine point clouds in different data (UTM from aerial measurements and a local datum from terrestrial scanning) will be analyzed. The results of transformations will also be evaluated. The problem of modeling point clouds and combining created models with ortho-images will also be dealt with.

mgr inż. Anna Fryškowska
e-mail: afryskowska@wat.edu.pl
telefon: +48 22 683 71 48
fax: +48 22 683 77 18

dr hab. inż. Michał Kędzierski
e-mail: mkedzierski@wat.edu.pl
telefon: +48 22 683 77 18
fax: +48 22 683 77 18