

**OKREŚLENIE ZAKRESU WYKORZYSTANIA POMIARÓW  
AUTOKORELACYJNYCH W ASPEKCIE WYZNACZENIA  
MODELI 3D BUDYNKÓW**

**THE RANGE OF APPLICATION OF AUTOCORRELATION MEASUREMENTS  
IN VIEW OF MAKING 3D BUILDING MODEL EXTRACTS**

**Artur Karol Karwel**

Instytut Geodezji i Kartografii

**SŁOWA KLUCZOWE:** fotogrametria, pomiar autokorelacyjny, zobrażenia ADS40, NMPT, NMT, ekstrakcja, filtracja

**STRESZCZENIE:** Badania przeprowadzono na podstawie danych pozyskanych z zintegrowanego systemu pomiarowego cyfrowej kamery lotnicza ADS40, dla których wielkość terenowego piksela wynosiła 20 cm. Dane obejmowały obszar nizinny, w większości rolniczy, częściowo pokryty lasem, z czego około 20% badanego obszaru stanowiły tereny zurbanizowane. W oparciu o zobrażenia ADS40 zbudowano modele stereoskopowe, które wykorzystano do pomiarów: manualnych i autokorelacyjnych obiektów przestrzennych. Zobrażenia poddano wstępnej korekcji geometrycznej, a następnie orientacji w procesie aerotriangulacji metodą niezależnych wiązek. Następnie przeprowadzono pomiar półautomatyczny, z którym związany był szereg czynności począwszy od interpolacji, filtracji i klasyfikacji, uzyskując w ten sposób trójwymiarowy model powierzchni dachów, a także wykonano manualny pomiar linii szkieletowych budynków. Stwierdzono, że algorytm autokorelacyjny programu Match-T nie jest w stanie zrealizować pomiaru punktów na powierzchniach bocznych budynku ze względu na zbyt mały stosunek bazy zobrażeń. Dla pomiarów autokorelacyjnych na obrazach cyfrowych obejmujących obszar zurbanizowany o dużym stopniu pokrycia roślinnością procentowe wydobywanie elementów zabudowy wyniosło około 85%.

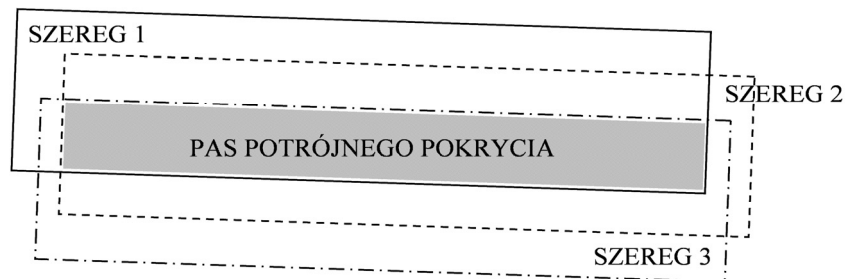
## **1. WPROWADZENIE**

Obecny rynek geoinformatyczny wykazuje duże zainteresowanie modelami 3D miast. Modele takie wykorzystuje się między innymi w: planowaniu przestrzennym, administracji publicznej, komunikacji, bezpieczeństwie narodowym, turystyce itp. Pierwsze próby ekstrakcji obiektów 3D oparte o pomiary półautomatyczne i automatyczne na zdjęciach cyfrowych przeprowadzili m.in. Grun i in. (1997). Wraz z ukazaniem się na rynku fotogrametrycznym zobrażeń ALS (Airborne Laser Scanning) pojawiła się nowa możliwość wykorzystania tych danych przy ekstrakcji warstwy zabudowy. Prace badawcze związane z wydobywaniem struktury zabudowy na podstawie chmury punktów pomierzonych systemami ALS przeprowadzili m.in. Rottensteiner i in. (2002). Technologia ta stała się głównym elementem zasilającym budowę obiektów 3D. W dobie silnego rozwoju techniki skaningu laserowego nie należy zapominać o pomiarach wykonywanych na zdjęciach lotniczych. Pomiary te wykorzystują do tego celu technikę korelacji obrazów tworząc Numeryczne

Modele Pokrycia terenu (ukształtowanie wysokościowe terenu wraz z istniejącymi na nim obiektami wysokościowymi). Kamera ADS40 (Boczar i in., 2006) dzięki możliwości pozornego wychylenia linijek sensorów (F – forward, N – nadir, B – backward) oraz dużemu pokryciu poprzecznemu (obejmując tzw. pas potrójnego pokrycia (rys. 1)), daje możliwość odwzorowania wszystkich zewnętrznych elementów budynku. Wykorzystanie techniki korelacji obrazów cyfrowych do automatycznego pomiaru punktów bądź linii w przestrzeni trójwymiarowej może stanowić doskonały materiał źródłowy do tworzenia modelu zabudowy przestrzennej na obszarach miejskich. W ramach prac badawczych powyższego tematu przeprowadzono szereg czynności mających na celu między innymi: przetestowanie metod i narzędzi opracowania danych pozyskanych z lotniczych zdjęć cyfrowych kamery ADS40 w odniesieniu do techniki manualnego i autokorelacyjnego pomiaru, oraz określenie stopnia przydatności tych danych w podstawowych procesach fotogrametrycznych ze szczególnym uwzględnieniem technologii budowy modeli 3D miast.

## 2. CHARAKTERYSTYKA DANYCH

W badaniach wykorzystano blok zdjęć (rys. 1), pozyskanych z zintegrowanego systemu pomiarowego cyfrowej kamery lotniczej ADS40, składający się z trzech szeregów, z których każdy posiadał: dwa zobrazowania panchromatyczne (pozyskane do przodu i do tyłu) oraz jedno zobrazowanie w kanale czerwonym (pozyskane nadirowo). Średnia szerokość pasa zobrazowania wynosiła 2.3 km, zaś jego długość 10.8 km, przy wysokości lotu około 1.9 km. Między pasami występowało pokrycie podłużne 83÷95% i pokrycie poprzeczne 60÷72%. Rozdzielczość przestrzenna obrazów ADS40 wynosiła 20 cm. Zobrazowania obejmowały obszar nizinny, w większości rolniczy, częściowo pokryty lasem, z czego około 20% badanego obszaru stanowiły tereny zurbanizowane. Współpracujący z kamerą ADS40 system GPS/IMU pomierzył w przestrzeni współrzędne położenia kamery X, Y z dokładnością 10 cm, zaś dla współrzędnej Z z dokładnością 20 cm oraz kątowe wychylenia od nadiru dla  $\omega$ ,  $\varphi$  z dokładnością 0.006<sup>s</sup>, zaś kąt skręcenia  $\kappa$  z dokładności 0.009<sup>s</sup>. W celu umożliwienia obserwacji dowolnego budynku z dowolnej jego strony do pomiaru wykorzystano jak największą liczbę zobrazowań. Dlatego też obszar testowy o powierzchni około 6 ha zlokalizowano w pasie potrójnego pokrycia (rys. 1).



Rys. 1. Obszar potrójnego pokrycia dla zobrazowań ADS40

W skład pakietu oprogramowania narzędziowego wykorzystanego do badań wchodziły: ApilcationMaster – program zarządzający, MATCH-T którym wygenerowano 2 modele NMT: pierwszy o regularnej siatce grid oraz drugi w postaci chmury punktów, a także NMT, DTMaster Stereo służący do filtracji, klasyfikacji oraz wizualizacji danych.

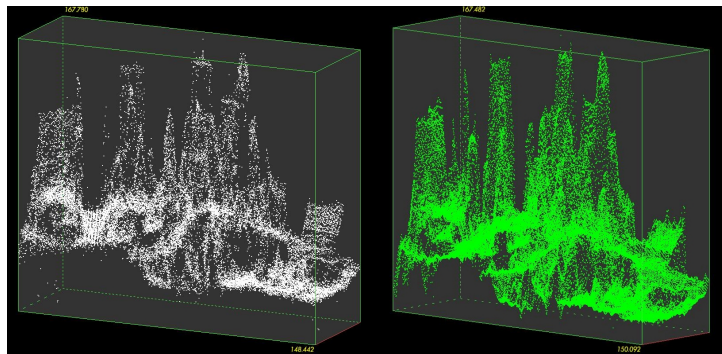
### 3. GEOMETRYZACJA OBRAZÓW

Pierwszy etap geometryzacji obrazów związany był z procesem ich korekcji geometrycznej. Drugi etap dotyczył orientacji zobrażeń w procesie aerotriangulacji metodą niezależnych wiązek. W oparciu o zobrażenia ADS40 zbudowane zostały modele stereoskopowe, które wykorzystano w dalszej części zadania w pomiarach autokorelacyjnych i manualnych obiektów przestrzennych.

### 4. METODYKA WYDOBYCIA POWIERZCHNI DACHÓW BUDYNKÓW

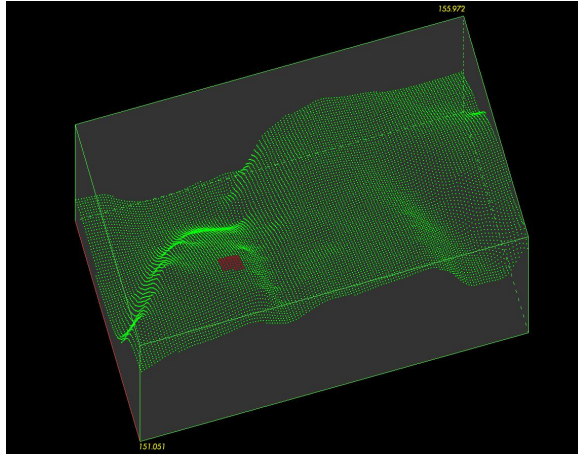
#### 4.1. Pomiar korelacyjny

W pierwszym etapie tworzenia modelu przestrzennego zabudowy wykonano pomiar autokorelacyjny (Ewiak i in., 2008) przy pomocy modułu oprogramowania MATCH-T firmy Inpho, w wyniku którego otrzymano dwa NMPT (Numeryczne Model Pokrycia Terenu). Punkty tego produktu odtwarzały zarówno powierzchnię terenu, jak również wszystkie obiekty terenowe (drogi, budynki, drzewa) (rys. 2).



Rys. 2. NMPT obejmujący obszar testowy: z prawej w postaci chmury punktów, z lewej w postaci regularnej siatki

Pierwszy NMPT został utworzony w postaci chmury punktów rozproszonych (o gęstości 2 punkty/m<sup>2</sup>). Chmura ta reprezentuje punkty rozproszone powstałe w wyniku pomiaru korelacyjnego. W przeciwieństwie do punktów powstałych z pomiaru techniką ALS nie zawierają one informacji o intensywności odbicia wiązki lasera od rejestrowanej powierzchni. Drugi NMPT wyznaczono w postaci regularnej siatki, której wielkość oczka wynosiła 20 cm. W wyniku pomiaru autokorelacyjnego wygenerowano także Numeryczny Model Terenu (rys. 3), dla którego wielkość oczka siatki GRID wyniosła 20 cm. Do generowania chmury punktów wykorzystano funkcję – „*Additionally generate point Cloud*” ekstrahującą punkty znacznie lepiej opisujące cechy obiektów takich jak krawędzie budynków, w stosunku do interpolowanej struktury gridu. W funkcję tą włączono również w wewnętrzny algorytm filtracyjny w celu eliminacji błędnie wygenerowanych punktów. W badaniach uwzględniono obszar położony w pasie potrójnego pokrycia (rys. 1), dlatego też przy generowaniu NMT i NMPT na podstawie pomiarów korelacyjnych wykorzystano wszystkie dostępne zobrażenia. Do wygenerowania Numerycznego Modelu Terenu zdefiniowano następujące parametry: typ generacji, typ terenu, stopień wygładzenia, stopień gęstości punktów, próg paralaks.



Rys. 3. NMT pokrywający obszar testowy

Dzięki pozornym wychyleniom linijek sensorów kamery ADS40 do przodu ( $27^\circ$ ) i do tyłu ( $14^\circ$ ) oraz dużemu pokryciu poprzecznemu zobrazowań możliwe było wygenerowanie punktów w procesie dopasowania obrazów na powierzchniach bocznych budynków. Pomiar autokorelacyjny bazował na algorytmie „*sequential least square multi-image matching*”.

#### 4.2. Filtracja

Pierwszym etapem wydobycia elementów zabudowy była filtracja punktów mieszczących się w granicach błędu grubego. Wykonano to za pomocą filtra „*Gross Filter*” poprzez nadanie odpowiednich wartości dla parametrów wysokości. Punkty uznane za błędne zostały usunięte, a poprawne zostały zapisane do odpowiedniej warstwy tematycznej. Następnie sklasyfikowane punkty poddane zostały kolejnej filtracji z wykorzystaniem filtra „*LIDAR\_Building*” uzyskując w ten sposób powierzchnie płaskie budynków. Wartości parametrów związane z tym filtrem określały: gęstość punktów, minimalną wielkość powierzchni, minimalny kąt potrzebny do wykrycia krawędzi budynku. Wydobyte punkty zapisano w odpowiedniej warstwie tematycznej. W następnej kolejności dane poddano filtracji na podstawie filtra „*LIDAR\_Low\_veg\_flat*” dzięki któremu uzyskano informacje dotyczącą punktów związanych bezpośrednio z roślinnością. Pozyskane punkty przypisano do odpowiedniej warstwy tematycznej. Do ekstrakcji elementów zabudowy użyto również filtra związanego bezpośrednio z wegetacją. Poprzez modyfikacje niektórych wartości parametrów filtra „*LIDAR\_Low\_veg\_flat*”, możliwy był pomiar punktów położonych na powierzchniach dachów budynków. Parametry filtrów użytych do ekstrakcji elementów zabudowy bazowały głównie na relacjach wzajemnego położenia punktów. Parametry użyte do filtracji chmury punktów nie różniły się znacząco od parametrów stosowanych do filtracji NMPT o regularnej siatce.

#### 4.3. Pomiar manualny

Pomiar manualny wykonano na modelach stereoskopowych przy zachowaniu tej samej orientacji bloku jak dla pomiarów autokorelacyjnych i obejmujący ten sam obszar testowy. Dzięki trzem linijkom sensorów kamery ADS40 dającym możliwość tworzenia

trzech par stereoskopowych dla jednego szeregu, jak również dużemu pokryciu poprzecznemu pasów zobrazowań, możliwa była obserwacja dowolnego elementu budynku z dowolnej jego strony, co pozwoliło na pomiar zarówno powierzchni dachu budynku, jak również i jego przyziemia (rys. 4).



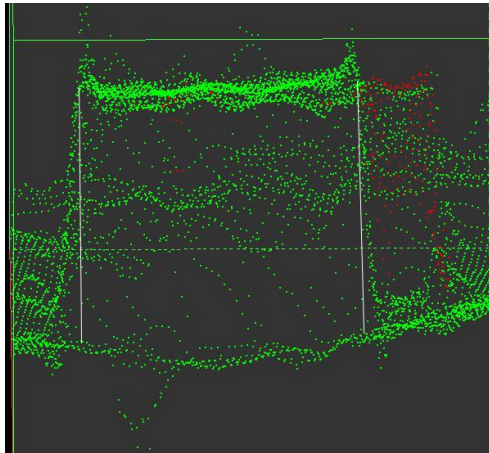
Rys. 4. Zasięgu pomiaru przyziemia dowolnego budynku w pasie potrójnego pokrycia: szereg 1, 2, 3, F – widok do przodu, N – widok w nadirze, B – widok do tyłu

## 5. WYNIKI

W wyniku przeprowadzonych pomiarów autokorelacyjnych oraz pomiarów manualnych na obrazach stereoskopowych pozyskana została informacja dotycząca powierzchni dachów i ścian bocznych budynków niezbędnych przy tworzeniu trójwymiarowego modelu. Dla NMPT utworzonego w postaci regularnej siatki punkty położone na powierzchni dachów odwzorowały się poprawnie, natomiast punkty położone na powierzchniach bocznych budynków leżały poza ich płaszczyznami (rys. 5).

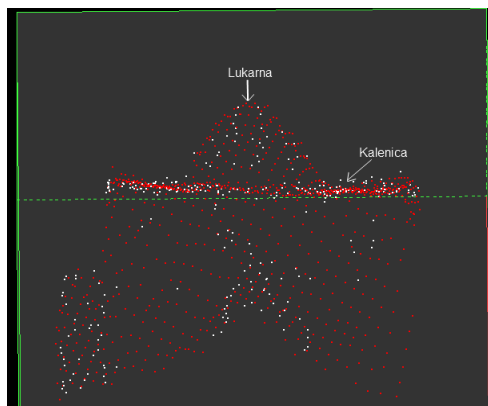
Błąd położenia punktów na powierzchniach bocznych budynku był tym większy im punkty znajdowały się bliżej jego podstawy i wynosił on w obrębie przyziemia średnio 40 cm (rys. 5). Błąd ten dotyczył każdego budynku i był związany bezpośrednio z użytym algorytmem w procesie autokorelacyjnym, który nie był w stanie uwzględnić przy pomiarze punktów obejmujących powierzchnie boczne budynku małego stosunku bazowego zobrazowań ADS40. W przypadku chmury punktów (dla której średni błąd położenia dowolnego punktu w ocenie względnej wyniósł 9 cm) poprawnie odwzorowały się punkty położone na dachach, ścianach bocznych oraz przyziemiach budynków. W tym przypadku

najwięcej punktów wygenerowano na powierzchniach dachów, a zwłaszcza na kalenicach, znacznie mniej na ścian bocznych, a najmniej w obrębie przyziemia budynku. Dlatego też, ze względu na zbyt małą liczbę odwzorowanych punktów na powierzchniach ścian bocznych, nie jest możliwe utworzenie powierzchni tych elementów.



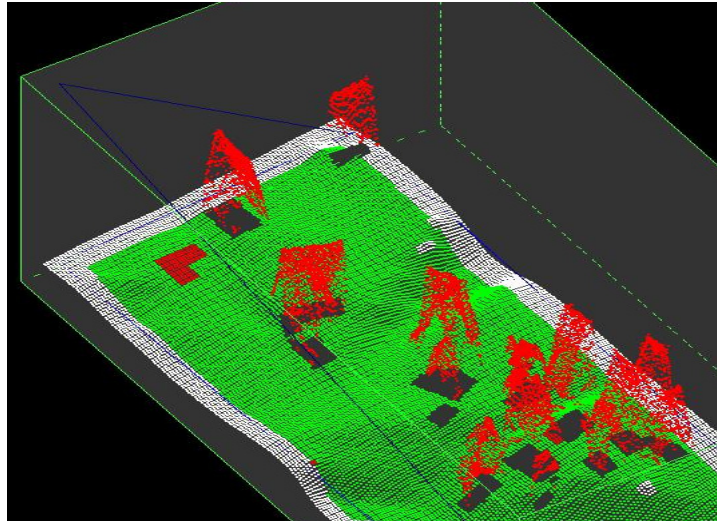
Rys. 5. Obraz odwzorowania punktów powierzchni ściany bocznych budynku dla pomiaru autokorelacyjnego NMPT o regularnej siatce GRID oraz rzeczywiste położenie ścian bocznych budynku – linia biała

Na podstawie przeprowadzonej filtracji modeli pokrycia terenu uzyskano zbiór punktów reprezentujących powierzchnie dachów (rys. 7). Wygenerowane w pomiarze autokorelacyjnym punkty dla obu NMPT poprawnie odwzorowały powierzchnię dachu, jego krawędzie wraz z kalenicą, a także takie elementy dachu jak: lukarny (rys. 6) i większe kominy. Ze względu na duży stopień pokrycia roślinnością obszaru testowego w trakcie pomiarów autokorelacyjnych nastąpiła częściowa utrata danych dotycząca położenia niektórych elementów zabudowy na skutek przesłonięcia ich przez roślinność, w związku z tym procent wydobywania tych elementów wyniósł około 85%.



Rys. 6. Punkty wygenerowane w procesie autokorelacyjnym reprezentujące powierzchnię dachu

Dla pomiarów manualnych na modelach stereoskopowych możliwe było odtworzenie wszystkich elementów budynku, zarówno dachu, ścian bocznych jak i przyziemia. Dzięki dużej liczbie tworzonych par stereoskopowych (18 par obejmujących obszar testowy) obserwator nie miał najmniejszych trudności w pomiarze każdego elementów zabudowy, nawet przysłoniętego częściowo przez roślinność. Procent wydobycia budynków w tym pomiarze wyniósł 100%.



Rys. 7. Model przestrzenny (po filtracji) reprezentujący powierzchnię dachów wraz z modelem terenu

## 6. WNIOSKI

Kamera ADS40 dzięki trzem linijkom obrazowym realizującym pozorne wychylenia kątowe ( $27^\circ$ ,  $2^\circ$ ,  $14^\circ$ ) oraz przy zastosowaniu pokrycia poprzecznego pasów zobrazowań  $60\div 72\%$  umożliwia pomiar elementów zabudowy, z uwzględnieniem powierzchni dachów i ścian bocznych.

W przeciwieństwie do percepcji pomiaru obserwatora, który w łatwy sposób może być odniesiony do pomiaru dowolnej powierzchni, algorytm autokorelacyjny programu Match-T nie jest w stanie zrealizować pomiaru punktów na powierzchniach bocznych budynku ze względu na zbyt mały stosunek bazy obrazów.

Dla pomiarów autokorelacyjnych na obrazach cyfrowych obejmujących obszar testowy o dużym stopniu pokrycia roślinnością procentowe wydobywanie elementów zabudowy wyniosło około 85%.

Algorytm programu MATCH-T umożliwiający tworzenie chmury punktów na podstawie zdjęć lotniczych i odpowiedniej jej filtracji, doskonale nadaje się do budowy modelu przestrzennego. Powstały model reprezentujący zbiór punktów obejmujących powierzchnię dachów budynków wraz z powierzchnią terenu stanowi podstawę do ich wizualizacji jako jeden z głównych elementów wspomagających modelowanie przestrzenne miast.

## 7. LITERATURA

Boczar S., Dąbrowski R., Fedorowicz-Jackowski W., Zych J., 2006. Kamera cyfrowa Leica ADS40, skaner laserowy Leica ALS50 – doświadczenia produkcyjne. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 16, s. 41–51. Olsztyn.

Ewiak E., Karwel A.K., Kraszewski B., 2008. Aspekty dokładności generowania NMT na podstawie obrazów z cyfrowej kamery ADS40. *Archiwum fotogrametrii, kartografii i Teledetekcji*, Vol. 18, s. 111–118. Szczecin.

Grün, A., Baltsavias, E. P., 1997. Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images (II). Birkhäuser Verlag, Basel.

Rottensteiner, F. and Briese, Ch., 2002. A new method for building extraction in urban areas from high-resolution LIDAR data. *International Archive of Photogrammetry, Remote Sensing*, Vol. XXXIV, Part 3A, ISSN 1682-1750; pp. 295–301. Graz, Austria.

### THE RANGE OF APPLICATION OF AUTOCORRELATION MEASUREMENTS IN VIEW OF MAKING 3D BUILDING MODEL EXTRACTS

KEY WORDS: photogrammetry, autocorrelation, ADS40 imagery, DSM, DTM, extraction, filtration

SUMMARY: The research presented is based on data acquired by the integrate measuring system of ADS40 digital camera. The data were collected from a lowland area, mostly agricultural, partly covered with forest, of which about 20% was urbanized area. Base on the ADS40 imagery, stereoscopic models were built and used to manual and autocorrelation measurements of three-dimensional objects. Before the correct orientation of stereoscopic models was obtained, the images were submitted to geometrical correction, and next to orientation in the process of aerotriangulation with the method of bundle adjustment. Next, a semi-automatic measurement was conducted which was connected to interpolation, filtration and classification, obtaining a three-dimensional model of the surface of roofs, and also performing a manual measurement of the skeletal line of buildings. It was found that the autocorrelation algorithm of the program Match-T could not realize the measurement of points on the lateral faces of the building because of a too small base relation of images. For autocorrelation measurements on digital images that included an urbanized area with high degree of vegetation cover the extraction of the building elements amounted to about 85%.

mgr inż. Artur Karol Karwel  
e-mail: karwel@igik.edu.pl  
telefon: 223291986  
fax: 223291950