

**ZASTOSOWANIE NIEMETRYCZNEGO APARATU CYFROWEGO
CANON EOS 300D DO WIZUALIZACJI 3D
OBIEKTU ARCHITEKTONICZNEGO**

**A NON-METRIC CANON EOS 300 D CAMERA APPLICATION
FOR ARCHITECTURE OBJECT 3D VISUALIZATION**

Bogusława Kwoczyńska, Łukasz Płaczek

Katedra Fotogrametrii i Teledetekcji, Akademia Rolnicza w Krakowie

SŁOWA KLUCZOWE: kamera, kalibracja, wizualizacja 3D, model szkieletowy, model bryłowy, architektura

STRESZCZENIE: W artykule przedstawiono możliwość wykorzystania niemetrycznego aparatu cyfrowego w celu pozyskania danych fotogrametrycznych służących następnie do wizualizacji 3D obiektu architektonicznego. Przedmiotem opracowania był zabytkowy Dworek w Mydlnikach, położony na terenie Akademii Rolniczej w Krakowie. Zdjęcia obiektu wykonano niemetrycznym aparatem cyfrowym CANON EOS 300D o matrycy 6.3 mln pikseli, którego kalibrację przeprowadzono przy wykorzystaniu darmowego oprogramowania Aerosys. Stereogramy zdjęć normalnych opracowano z wykorzystaniem autografu cyfrowego VSD AGH, a na podstawie otrzymanych danych fotogrametrycznych wykonano model szkieletowy i model bryłowy obiektu oraz dokonano jego wizualizacji w programie AutoCAD 2000.

1. WSTĘP

Rozwój technik komputerowych, jaki nastąpił w minionym wieku, zmienił oblicze zarówno fotogrametrii lotniczej jak i fotogrametrii bliskiego zasięgu. W przypadku opracowań architektonicznych wykonywanych metodami fotogrametrycznymi obok dotychczasowych rysunków elewacji, rzutów i przekrojów uzupełnianych rysunkami i zdjęciami detali, pojawiły się opracowania komputerowe modelu obiektu. Było to możliwe dzięki szybkiemu rozwojowi tak sprzętu, jak i stosowaniu oprogramowań umożliwiających tworzenie modeli 3D, a w dalszej kolejności ich wizualizację.

Przegląd literatury światowej i krajowej pozwala na stwierdzenie faktu, że trójwymiarowa rekonstrukcja obiektu jest aktualnie bardzo modną prezentacją dokumentacji architektonicznej, a fotogrametria jako źródło pozyskiwania danych dla tych celów jest ciągle metodą najlepszą.

Dużym ułatwieniem procesu tworzenia modelu trójwymiarowego jest możliwość definiowania powierzchni już w trakcie fotogrametrycznej digitalizacji inwentaryzowanego

obiektu. Powstały oprogramowania, realizujące tę funkcję, przez co etap tworzenia modelu w środowisku CAD jest znacznie krótszy (Borowiec *et al.*, 1998).

Materiałem źródłowym stanowiącym podstawę takich opracowań stają się coraz częściej zdjęcia wykonane obok kamer fotogrametrycznych, niemetrycznymi aparatami cyfrowymi, które ze względu na swoją dostępność, pozwalają w tani sposób pozyskiwać dane do opracowań fotogrametrycznych. Ma to niebagatelny wpływ na koszty opracowania, jak również jego dostępność dla różnych grup odbiorców, powoduje jednak pogorszenie dokładności opracowania w stosunku do metod klasycznych. Przykładem tego typu opracowania jest praca dyplomowa Łukasza Płaczka powstała w Katedrze Fotogrametrii i Teledetekcji Akademii Rolniczej w Krakowie pt. „Zastosowanie cyfrowego aparatu fotograficznego dla potrzeb fotogrametrii architektonicznej” stanowiąca podstawę niniejszej publikacji.

2. OPIS OBIEKTU

Przedmiotem eksperymentalnego opracowania był dwukondygnacyjny Dworek w Mydlnikach położony na terenie Akademii Rolniczej w Krakowie, przy ulicy Balickiej. Obiekt ten został odrestaurowany w 2005 roku i zaadoptowany dla potrzeb Uczelni (rys. 1).

Mury obiektu wykonane są z cegły pokrytej kolorowym tynkiem, dach natomiast wykonany jest z dachówki ceramicznej. Elementy zdobnicze stanowią gipsowe wypusty w formie portali, zarówno okiennych jak i drzwiowych. Naroża ścian ozdobione są boniami w postaci półdiamentów, natomiast przyziemie boniami gładkimi.



Rys. 1. Dworek w Mydlnikach – elewacja frontowa

3. CHARAKTERYSTYKA APARATU CYFROWEGO CANON EOS 300D

Do wykonania zdjęć na potrzeby opracowania użyto lustrzanki cyfrowej Canon EOS 300D o matrycy 6.3 megapikseli, z wymiennym obiektywem EF S 18-55 f/3.5-5.6, odpowiadającym ogniskowej 28-90 mm w małym obrazku.

Model ten posiada 7-polowy system automatycznego pomiaru ostrości. Pola mogą być wybierane ręcznie lub automatycznie. AutoFocus pracuje w trzech trybach. Aparat posiada trzy metody pomiaru światła (ewaluacyjna, częściowa oraz centralnie-ważona uśredniona) wystarczające do dobrania ekspozycji w większości sytuacji.

Innymi funkcjami są: funkcja jednoczesnego zapisywania zdjęć w formacie RAW i JPEG (jakość *middle/fine*), obsługa kart pamięci CompactFlash Typ I i II o pojemności 2GB lub więcej, przestrzeń barw Adobe RGB obok standardowej przestrzeni barw RGB oraz *bracketing* balansu bieli. Ekwiwalenty czułości ISO 100, 200, 400, 800, 1600.

Cechami, które bezpośrednio kwalifikują ten aparat do zastosowań fotogrametrycznych są:

- wysoka rozdzielczość matrycy (6.3 Mpxl)
- wysoka jakość obiektywu (jasność, rozdzielczość, dystorsja)
- możliwość ręcznego nastawiania zoom'a i ostrości, co ma bezpośredni wpływ na powtarzalność nastawiania elementów orientacji wewnętrznej.

4. WYKONANIE ZDJĘĆ

Jak wspomniano powyżej zdjęcia obiektu wykonano aparatem Canon EOS 300D. Wybrano stanowiska dla pięciu baz fotografowania, położonych równolegle do poszczególnych fragmentów opracowywanego obiektu, w odległości 15.0 m. Długość bazy fotografowania wyznaczono mając na uwadze zarówno dokładność opracowania jak i warunki obserwacji stereoskopowej i wyniosła ona 1.5 m. Orientacja zdjęć zbliżona była do przypadku zdjęć normalnych.

W celach doświadczalnych wykonano dwie serie zdjęć. Pierwsza seria zdjęć została wykonana z użyciem statywu, druga seria zdjęć wykonana była z „ręki”. Każda seria wykonywana była bez zmian parametrów orientacji wewnętrznej aparatu, czyli bez zmiany położenia zoom'a oraz pierścienia ostrości, a rozdzielczość zdjęć wynosiła 3072×2048. Zdjęcia wykonano w trybie z priorytetem przysłony tj. takim, w którym aparat na podstawie wbudowanego światłomierza automatycznie dobiera czas migawki. Umożliwiło to uzyskanie takiej samej głębi ostrości na wszystkich zdjęciach. Ze względu na trudne warunki pogodowe dodatkowo zastosowano *bracketing* czasu ekspozycji tak, aby wyeliminować nieprawidłowe naświetlenie.

W pierwszej serii zdjęć do poziomowania aparatu użyto statywu fotograficznego z libelą okrągłą, natomiast centrowanie przeprowadzono za pomocą pionu sznurkowego zawieszzonego w osi statywu. Prostopadłość osi celowej aparatu do płaszczyzny elewacji została w przybliżeniu zapewniona przez „blokade położenia poziomego i pionowego” na statywie. Naciśnięcie spustu migawki zostało zrealizowane za pomocą samowyzwalacza, co wyeliminowało drgania aparatu.

5. OSNOWA GEODEZYJNA I ROZMIESZCZENIE PUNKTÓW KONTROLNYCH

Z uwagi na kształt obiektu założono ciąg poligonowy w postaci czworoboku zamkniętego. Wierzchołki poligonu (stanowiska) rozmieszczono w sposób umożliwiający pomiarzenie wybranych punktów kontrolnych.

W celu maksymalnego wyeliminowania „błędu osnowy geodezyjnej” do pomiaru użyto wysokiej klasy tachimetru elektronicznego Trimble 5600, który zapewnia wysoką dokładność wyznaczenia współrzędnych sytuacyjno-wysokościowych. Współrzędne sytuacyjne ciągu poligonowego wyznaczono metodą poligonizacji, a wysokościowe metodą niwelacji trygonometrycznej. Łączna ilość punktów kontrolnych rozmieszczonych na wszystkich elewacjach obiektu wynosiła 60. Punkty te stanowiły jednoznaczne do identyfikacji szczegóły i zostały rozmieszczone symetrycznie na każdej elewacji. Współrzędne punktów kontrolnych wyznaczono metodą tachimetrii bezlustrowej i obliczono w jednym wspólnym układzie, co pozwoliło na późniejsze opracowanie numeryczne modelu obiektu.

6. KALIBRACJA CYFROWEGO APARATU CANON EOS 300D

Aparat niemetryczny w opracowaniach fotogrametrycznych można wykorzystywać w trojaki sposób: albo kalibrować zdjęcia w trakcie prowadzonych obliczeń współrzędnych punktów odfotografowanego obiektu (samokalibracja) albo wyznaczać elementy orientacji wewnętrznej i dystorsję dla aparatu, a następnie przyjmować wyznaczone wartości jako znane i postępować tak jak przy opracowaniu zdjęć metrycznych albo wykorzystywać zdjęcia niekalibrowane i funkcję DLT (Boroń, 1998).

Często podstawową barierą samodzielnego wykonania kalibracji jest dostępność oprogramowania służącego do obliczeń. W przypadku autorów wykorzystano darmową wersję programu Aerosys, którego podstawowym zastosowaniem jest aerotriangulacja. Przed przystąpieniem do wyznaczenia elementów orientacji wewnętrznej aparatu sprawdzono stabilność rejestracji obrazu na matrycy CMOS. Wyznaczenie elementów orientacji odbyło się dwuetapowo, stosując moduły *Direct Linear Transformation* i *Close Range Camera Calibration* programu Aerosys.

W wyniku zastosowania pierwszego z nich dla każdego zdjęcia obliczane są współczynniki DLT, a następnie dokonywane jest obliczenie docelowych niewiadomych współrzędnych punktów mierzonego obiektu (wymagana jest obecność na każdym zdjęciu minimum 6 przestrzennie rozmieszczonych punktów dostosowania). Na tym etapie obliczeń otrzymano następujące wartości elementów orientacji wyrażone w pikselach: $c_k = 660.166$, $x_o = 18.075$ i $y_o = 7.649$. Wyniki te posłużyły następnie jako źródło wartości przybliżonych dla kolejnego etapu obliczeń.

W module *Close Range Camera Calibration* elementy orientacji wewnętrznej obliczane są na podstawie obecności na zdjęciu punktów dostosowania wykorzystując równanie kolinearności, z czym wiąże się iteracyjny sposób obliczeń i konieczność wprowadzenia przybliżeń niewiadomych (uzyskano je z poprzedniego etapu obliczeń). W wyniku procesu iteracyjnego otrzymano następujące wartości wyrażone w pikselach:

$c_k = 662.630$, $x_o = 2.524$ i $y_o = -0.499$. Wartości te uznano za ostateczne i wykorzystano w procesie orientacji stereogramów. Opracowanie to miało na celu zbadanie możliwości wykorzystania tego typu aparatu fotograficznego do wizualizacji 3D obiektu architektonicznego w programie AutoCad, analiza dokładności miała charakter pobieżny, w związku z tym nie uwzględniono wpływu czynników fizycznych (w tym dystorsji).

7. OPRAWOWANIE ZDJĘĆ CYFROWYCH

Stereogramy zdjęć cyfrowych opracowane zostały przy zastosowaniu autografu cyfrowego VSD przyjmując następujące założenia:

- zdjęcia, zarówno te wykonane z ręki jak i ze statywu, traktowano jako metryczne, a do orientacji użyto parametrów wyznaczonych w procesie kalibracji,
- orientacje wzajemną i bezwzględną oraz opracowanie punktowe wykonano względem „pojedynczych płaszczyzn”, co pozwoliło w pewnym stopniu wyeliminować błędy orientacji zdjęć.

Ze względu na eksperymentalny charakter opracowania, zdecydowano się na przeprowadzenie analizy dokładności zdjęć wykonywanych ze statywu oraz zdjęć wykonywanych z „ręki”. Wyniki przeprowadzonej analizy pozwoliły określić dokładność odwzorowania obiektu przy pomocy cyfrowego aparatu fotograficznego oraz przedstawić w sposób praktyczny wpływ centrowania i orientacji aparatu fotograficznego na uzyskiwane dokładności opracowania.

Za miarę dokładności opracowania przyjęto średni błąd kwadratowy współrzędnych punktów dostosowania otrzymany po orientacji bezwzględnej oraz średni błąd wpasowania współrzędnych (X, Y, Z) punktów kontrolnych pomierzonych na podstawie przeprowadzonych orientacji. Otrzymane wyniki zestawiono w tabelach 1 i 2.

Tabela 1. Zestawienie błędów średniokwadratowych położenia punktu dla dwóch serii zdjęć

Stereogramy	Błędy średniokwadratowe położenia punktu [m]	
	Seria 1	Seria 2
1	0.022	0.028
2	0.009	0.010
3	0.034	0.031
4	0.028	0.036

Na podstawie tabeli 1 można zaobserwować spadek dokładności wykonania orientacji bezwzględnej zdjęć z serii 2 (z „ręki”) w stosunku do serii 1 (ze statywu), co było spowodowane utrudnionym centrowaniem, poziomowaniem i orientowaniem zdjęć „z ręki”.

Dla każdej z serii zdjęć, pomierzono na stereogramach punkty kontrolne, a średnie błędy wpasowania m_x , m_z i m_y zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Średnie błędy wpasowania współrzędnych: m_x , m_z i m_y dla dwóch serii zdjęć

Stereogramy	Średnie błędy wpasowania współrzędnych [m]					
	Seria 1			Seria 2		
	m_x	m_z	m_y	m_x	m_z	m_y
1	0.023	0.018	0.059	0.035	0.023	0.063
2	0.021	0.012	0.068	0.022	0.013	0.071
3	0.015	0.013	0.077	0.013	0.007	0.070
4	0.007	0.014	0.044	0.010	0.009	0.056

Z tabeli 2 wynika, iż największy błąd wpasowania występuje na współrzędnej Y, która to odpowiada za głębię obiektu i większy jest dla serii zdjęć wykonanych „z ręki”.

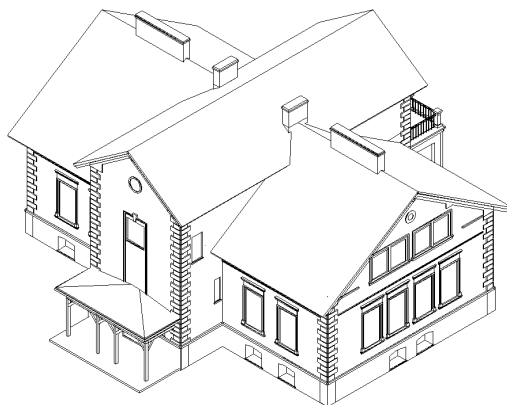
Mając na uwadze powyższe wyniki, do opracowania punktowego na VSD wybrano stereogramy zdjęć wykonanych ze statywu cechujących się wyższą dokładnością, otrzymując punkty w jednolitym układzie odniesienia, stanowiące osnowę informacyjną dla późniejszej wizualizacji obiektu.

8. WYKONANIE MODELI 3D W PROGRAMIE AUTOCAD 2000

W celu pozyskania osnowy informacyjnej na potrzeby budowy numerycznego modelu obiektu w programie AutoCAD 2000, wykonano następujące czynności:

- dokonano importu współrzędnych punktów z plików tekstowych do programu MIKROMAP,
- przeprowadzono konwersję współrzędnych punktów do formatu DXF, będącego uniwersalnym formatem rysunkowym, co umożliwiło ich odczytanie w programie AutoCAD 2000,
- zestawiono punkty poszczególnych elewacji na osobnych warstwach.

Tak przygotowany model punktowy stanowił podstawę do wykonania trójwymiarowego modelu szkieletowego obiektu (*wireframe*) będącego reprezentacją obiektu utworzoną przez jego krawędzie lub inne linie służące do przedstawienia jego kształtu (rys. 2).



Rys. 2. Widok perspektywiczny modelu szkieletowego elewacji północno-zachodniej

Kolejnym etapem w procesie modelowania 3D było nałożenie tekstur na wcześniej utworzony model szkieletowy. Posłużono się w tym celu standardową biblioteką tekstur dostępną w programie AutoCAD. Do tak utworzonego modelu bryłowego dołączono odpowiednie cieniowanie i oświetlenie oraz dokonano *renderingu* całej sceny. W efekcie uzyskano końcową wizualizację przestrzenną opracowywanego obiektu przedstawioną na rysunku 3.



Rys. 3. *Rendering* perspektywy elewacji północno-zachodniej

9. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania potwierdziły pełną przydatność niemetrycznego aparatu cyfrowego Canon EOS 300D do wizualizacji 3D obiektów architektonicznych. Rekonstrukcja obiektów w środowisku CAD zawierająca pełny opis geometrii 3D może być podstawą przestrzennej projekcji obrazów półtonalnych w dowolnym odwzorowaniu, bardzo użytecznych w prezentacji dokumentacji, np. obiektów zabytkowych. Staje się ona jedną z popularnych metod prezentacji wyników inwentaryzacji architektonicznej zarówno w kraju (Gul *et al.*, 1999; Janowski *et al.*, 2004) jak i za granicą.

10. LITERATURA

Boroń A., 1998. Przydatność aparatu cyfrowego Minolta RD 175 w fotogrametrycznych opracowaniach cyfrowych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 8, s. 12/1-12/10.

Borowiec M., Tokarczyk R., 1998. Komputerowa prezentacja wyników inwentaryzacji architektonicznej. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 8, s. 24/1-24/8.

Gul M., Tokarczyk R., 1999. Przestrzenna rekonstrukcja zabytkowego obiektu. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 9, s. 173-181.

Janowski A., Sawicki P., Szulwic J., 2004. Wizualizacja 3D w standardzie OpenGL obiektu architektonicznego na podstawie danych fotogrametrycznych. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 14, s. 271-278.

A NON-METRIC CANON EOS 300 D CAMERA APPLICATION FOR ARCHITECTURE OBJECT 3D VISUALIZATION

KEY WORDS: camera, calibration, wire frame model, solid model, architecture

Summary

This article presents the possibilities of non-metric camera application for photogrammetric data obtainment for 3D architectural object visualization. An historical building of the Cracow Agricultural University in Mydlniki was studied.

Photographs of the objects were taken with a Canon EOS 300 D camera with a 6.3 megapixels matrix and a EFS 18-55f/3.5 – 5.6 removable lens. For the studies, two series of photos were taken. The first was taken from the tripod (support stand), and the second one by hand. Each of series was taken without changes of internal orientation of the camera and the resolution was 3072×2048. The orientation of the photos was similar to normal photos. Stations for five bases were chosen in a similar manner for the ordering fragments of the elaborated object from a distance of 15.0 m. The base of the photos (1.5m) was designed by the accuracy of elaborating and stereo-visualization conditions. Control points were symmetrical on the all elevations of the object. There were unequivocal details. Control points coordinates were designed by “non-mirror tachymetry” in a common system for digital elaboration of the object.

The camera was calibrated by Aerosys software. Standard internal orientation elements and additional enhanced parameters for systematic errors of the digital image were designed. Orientation elements were designed in two stages by: Direct Linear Transformation and Close Range Camera Calibration – Aerosys modules. The results were used in orientation of the stereopairs process. 8 normal stereopairs were elaborated by Video Stereo Digitizer "VSD-AGH" and were then performed based on a photogrammetric data skeleton (wire frame) and solid model of the object. The mean square error of points coordinates in past absolute orientation and mean error of control points coordinates (X, Y, Z) based on two series of photos orientations (results in the tables) were taken for the accuracy value. Finally, for VSD elaboration, stereopairs taken from a tripod of higher accuracy were chosen.

Complex photogrammetric elaboration to give necessary vector and raster data and their mutual relations formed the basis of this elaboration. Visualization of this object was archived in AutoCad 2000 software. The performed research affirmed the utility of the non-metric digital camera Canon EOS 300D for 3D visualization of architectural objects.

Dr inż. Bogusława Kwoczyńska
e-mail: rmkwoczy@cyf-kr.edu.pl
tel. +12 6624505

Mgr inż. Łukasz Płaczek
e-mail: lukasz_placzek@o2.pl