

Artur Janowski
Piotr Sawicki
Jakub Szulwic

WIZUALIZACJA 3D W STANDARDZIE OpenGL OBIEKTU ARCHITEKTONICZNEGO NA PODSTAWIE DANYCH FOTOGRAMETRYCZNYCH

***Streszczenie** W prezentowanej autorskiej aplikacji do dynamicznej wizualizacji 3D obiektów rejestrowanych w bliskim zasięgu, zastosowano standard OpenGL, ponieważ ta biblioteka graficzna jest dostępna dla wszystkich istotnych platform sprzętowo-systemowych oraz posiada bogatą dokumentację. Dążąc do uproszczenia procedur tworzenia realnych scen 3D zastosowano oprogramowanie narzędziowe Delphi wzbogacone o komponenty GLScene.*

Wysoką dokładność oraz odpowiadającą rzeczywistości jakość modelowania i wizualizacji można otrzymać tylko za pomocą scen 3D wygenerowanych na podstawie danych z kompleksowego opracowania fotogrametrycznego. Rejestrację zabytkowego budynku wykonano niemetrycznym aparatem cyfrowym Kodak DC4800 o matrycy 3.1 mln pikseli za pomocą stereogramów zdjęć nachylonych. Rozwiązanie terratriangulacji z kalibracją równoczesną on-the-job oraz utworzenie numerycznego modelu obiektu i ortorektifikację obrazów przeprowadzono w systemie PICTRAN B/D/E.

Fotogrametryczne dane wektorowo-rastrowe o obiekcie i ich wzajemne relacje stanowiły podstawę informacyjną dla utworzonej wizualizacji. Opracowana aplikacja posiada funkcje, które pozwalają na dynamiczną oraz realistyczną wizualizację 3D obiektu.

1. Wprowadzenie

Podstawowym zadaniem wizualizacji 3D stosowanej w fotogrametrii bliskiego zasięgu jest możliwie fotorealistyczna rekonstrukcja rzeczywistego obiektu. Współczesnym standardem prezentacji wyników analityczno-cyfrowych opracowań są programy CAD, np. AutoCAD, IntelliCAD, MicroStation, z zapisem danych wektorowych w formatach 3D: DXF i odpowiednio DWG i DGN, które wraz z modułem przetwarzania rastra umożliwiają tworzenie dodatkowych konstrukcji geometrycznych i graficznych [Luhmann 2000].

Typowy proces tworzenia sceny 3D w środowisku systemów CAD składa się z następujących podstawowych etapów:

- wygenerowanie modelu 3D obiektu
- wybór wirtualnego punktu projekcji w przestrzeni sceny
- transformacja graficzna na płaszczyznę projekcji
- eliminacja zakrytych fragmentów obiektu (*backface removal, hidden surface removal*)
- tworzenie szablonu oświetlenia i odbicia światła
- radiometryczna zmiana pikseli uwzględniająca parametry projekcji, oświetlenia, odbicia światła i cieni (*ray tracing*)
- projekcja naturalnej lub sztucznej tekstury (*texture mapping*)

Komercyjne programy do projektowania, modelowania i prezentacji trójwymiarowej, np. 3D Studio Max, 3D Studio VIZ, Autodesk VIZ 4, AccuRender i PhotoModeler Pro są systemami zamkniętymi. W konsekwencji są one zbyt mało elastyczne oraz posiadają ograniczone możliwości importu wektorowo-rastrowych danych pochodzących z opracowania fotogrametrycznego.

Obecnie coraz większe znaczenie w fotogrametrycznej wizualizacji 3D zyskują technologie wykorzystujące narzędzia API (*Application Programming Interface*), np. Direct 3D (natywna technologia Windows), Fahrenheit, Java 3D i OpenGL (otwarty standard istotnych platform systemowych) do tworzenia komputerowej grafiki 3D [Fritsch et al. 2004, Liang et al. 2004, Wright et al. 1999] oraz narzędzia internetowe, wykorzystując przede wszystkim język skryptowy VRML [Cöltekin et al. 2000, Huanhg 2004, Jędrzycka et al. 2001] lub inne rodzaje oprogramowania, np. Macromedia Flash, X3D, GeoVRML.

Rozwiązania wykorzystujące wymienione narzędzia programistyczne umożliwiają projektowanie, wizualizację, prezentację VR (*Virtual Reality*) oraz dodatkowo, interakcję z modelem 3D. W celu stworzenia profesjonalnej wizualizacji obiektu 3D i jego wirtualnego otoczenia VE (*Virtual Environment*) wymagane są cyfrowe dane obrazowe, ich przetwarzanie oraz rekonstrukcja i geometryczne modelowanie obiektu.

W przypadku prezentacji wyników pomiarów obiektów o skomplikowanym kształcie i strukturze, co jest częstym przypadkiem w aplikacjach bliskiego zasięgu, uzyskanie zaawansowanych technicznie efektów modelowania i wizualizacji 3D wymaga stworzenia aplikacji dedykowanej. Wysoką dokładność oraz odpowiadającą rzeczywistości jakość wizualizacji i modelowania można otrzymać tylko za pomocą scen 3D, wygenerowanych na podstawie danych fotogrametrycznych, pozyskanych z kompleksowego opracowania obiektu.

2. Fotogrametryczne opracowanie obiektu

Przedmiotem eksperymentalnego opracowania był zabytkowy dwukondygnacyjny budynek o wymiarach $39\text{ m} \times 15.5\text{ m} \times 12\text{ m}$ położony na terenie Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, przy ul. Prawocheńskiego 1. Ściany budynku są wykonane z cegły. Mury podzielone lizenami, zawierają ceglane elementy zdobnicze w formie wypustek, ciągów skośnych cegieł, wzbogacone fryzami z jasnych cegieł. Zwieńczenie budynku stanowi dach o niewielkim kącie nachylenia, wykonany z blachy.

Zdjęcia obiektu wykonano niemetrycznym aparatem cyfrowym Kodak DC4800 typu *compact* o matrycy 3.1 mln pikseli zgodnie z wykonanym wcześniej projektem (parametry zdjęć przedstawia tabela 1). Wykonano ogółem 12 stereogramów zdjęć nachylonych. Punkty osnowy fotogrametrycznej zasygnalizowano za pomocą znaków o wymiarach $5 \div 7$ pikseli w skali obrazu cyfrowego. Z 7 punktów założonej i wyrównanej osnowy geodezyjne wyznaczono metodą wielokrotnych kątowych wcięć w przód współrzędne przestrzenne 49 zasygnalizowanych fotopunktów. Dodatkowo jako fotopunkty naturalne wybrano 93

dobrze identyfikowane szczegóły sytuacyjne. Zagęszczenie osnowy fotogrametrycznej obiektu wykonano przez rozwiązanie sieci terratriangulacji metodą wiązek. Wszystkie fotopunkty, w tym punkty kontrolne, otrzymały współrzędne w jednym globalnym układzie obiektu.

Rozwiązanie sieci zdjęć naziemnych przeprowadzono z równoczesną kalibracją *on-the-job* aparatu cyfrowego Kodak DC4800. W procesie kalibracji wyznaczono standardowe elementy orientacji wewnętrznej oraz dodatkowe parametry modelujące błędy systematyczne obrazu cyfrowego - współczynniki dystorsji radialnej A_1 i tangencjalnej B_1 oraz parametr C_1 modelujący zmianę skali wzdłuż osi x sensora CCD.

Punkty numerycznego modelu obiektu (NMO) pomierzono w strukturze TIN (*Triangular Irregular Network*) i wyznaczono metodą fotogrametrycznego wcięcia w przód. Wyznaczone elementy orientacji wewnętrznej i zewnętrznej wszystkich zdjęć oraz NMO umożliwiły wykonanie ortorektyfikacji poszczególnych obrazów. Pomiar punktów i rozwiązanie terratriangulacji z kalibracją równoczesną *on-the-job* oraz pomiar punktów NMO i ortorektyfikację obrazów przeprowadzono w systemie PICTRAN B/D/E.

Dodatkowe opracowanie treści sytuacyjnej wykonano na autografie cyfrowym VSD AGH. Orientację wszystkich stereogramów zdjęć cyfrowych, traktowanych jako niometryczne, przeprowadzono za pomocą bezpośredniej transformacji liniowej DLT.

Tabela 1

Parametry zdjęć i dokładności opracowania

PARAMETRY REJESTRACJI ZDJĘĆ	
Aparat cyfrowy <i>compact</i>	Kodak DC 4800
Ogniskowa	6 mm
Tryb ogniskowania i zoom	<i>Fix Focus</i> 0.5 m ÷ ∞; zoom = 1
Rozdzielczość	2160 × 1440
Liczba zdjęć	24
Odległość fotografowania Y_F	~ 16 m
Skala zdjęć 1: Mz	~ 1: 2600
Stosunek bazowy u	1/4 ÷ 1/5
Pokrycie podłużne p_x	~ 80 %
DOKŁADNOŚĆ POMIARU I OPRACOWANIA	
49 fotopunkty sygnalizowane	$m_{P_{Fs}} = \pm 7.8$ mm
93 fotopunkty naturalne	$m_{P_{Fn}} = \pm 13.2$ mm
Pomiar punktów na obrazach	$m_{x',y'} = \pm 0.33$ pxl
Ortoobrazy	$m_{P_{Ort}} = \pm 23$ mm
Orientacja zdjęć metodą DLT	$m_{P_{DLT}} = \pm 15.7$ mm
Stereodigitalizacja	$m_{P_{Sd}} = \pm 25$ mm

Stereodigitalizację treści sytuacyjnej poszczególnych elewacji wykonano w zdefiniowanych warstwach tematycznych. Pliki z danymi wektorowymi zapisano w formacie DXF. Numeryczne pierworisy map wektorowych elewacji podano dalszej

obróbce i opracowaniu w programie MicroStation. Ostatecznie zredagowano mapy wektorowe elewacji w stopniu generalizacji odpowiadającym edycji w skali 1: 50.

Wyniki kompleksowego opracowania fotogrametrycznego (Tabela 1) stanowiły podstawę informacyjną dla tworzonej wizualizacji obiektu. Danymi wejściowymi do wygenerowania scen 3D były współrzędne fotopunktów sygnalizowanych i naturalnych, elementy orientacji zewnętrznej zdjęć, współrzędne szczegółów sytuacyjnych z NMO i map wektorowych zapisanych w formacie DXF oraz ortoobrazy wybranych zdjęć.

3. Aplikacja w standardzie OpenGL

W prezentowanej autorskiej aplikacji do dynamicznej wizualizacji 3D zastosowano standard OpenGL. O wyborze tego standardu zdecydował fakt, że ta biblioteka graficzna jest dostępna dla istotnych platform sprzętowo-systemowych i posiada bogatą dokumentację. Dążąc do uproszczenia procedur tworzenia realnych scen 3D zastosowano oprogramowanie narzędziowe Delphi [Jacobs 1999], wzbogacone o komponenty GLScene [Sechidis et al. 2004].

Język oprogramowania Delphi został wybrany celowo ze względu na jego 3 zasadnicze cechy:

- jest narzędziem typu RAD (*Rapid Application Development*), co wpływa na szybkość i prostotę tworzenia aplikacji
- tworzy efektywny kod wynikowy
- posiada skalowalny dostęp do baz danych, co stanowi ważny argument w planowanym rozwoju prezentowanej aplikacji

W pierwszym etapie tworzenia wizualizacji 3D zbudowano model szkieletowy (*wire frame*) obiektu. Ze względu na stosunkowo mało skomplikowany kształt budynku wykorzystanie komponentów modelu szkieletowego zostało ograniczone do prymitywów w postaci prostokątnych wycinków płaszczyzn (*plane*), służących do reprezentacji elementów elewacji. Na podstawie danych z NMO, map wektorowych elewacji i współrzędnych fotopunktów zwymiarowano fragmenty elewacji oraz określono ich przestrzenne położenie w globalnym układzie współrzędnych obiektu. Przygotowany w ten sposób model szkieletowy i zdefiniowane poligony posłużyły jako podstawa do nakładania tekstur, które wymagały odpowiedniego przygotowania. Z kolejnych ortoobrazów wycięto obszary odpowiadające poszczególnym prymitywom modelu szkieletowego. Ze względu na duże pokrycie podłużne p_x te same fragmenty elewacji zostały zarejestrowane na kolejnych zdjęciach cyfrowych, co umożliwiło wybór obszarów położonych najbliżej środka rzutów, a więc o najmniejszych zniekształceniach. Fragmenty zdjęć nie będące widokiem elewacji zostały wypełnione transparentnym tłem.

Kolejnym etapem była zmiana rozmiaru tekstur, związana z dostosowaniem do standardu OpenGL, który wymaga ich określonego rozmiaru. Wymiar tekstury musi być równy dowolnej całkowitej potęgze liczby 2, (2, 4, 8, 16...). Tekstury zapisane jako 24-bitowe BMP wraz z opisem transparentności posłużyły do renderowania przygotowanego wcześniej modelu szkieletowego.

Za pomocą pojedynczych kwadryk (*sphere*) wskazano charakterystyczne elementy wizualizowanej sceny. Stanowiły je stanowiska fotografowania aparatu cyfrowego, którym wykonano rejestrację budynku oraz środek przestrzennego układu współrzędnych sceny 3D.

W stworzonej aplikacji o nazwie 3D Visualization wprowadzono szereg funkcji pozwalających na modyfikację wizualizowanej sceny 3D (Rys. 1) i nadanie jej dynamicznego charakteru. Wybór opcji dokonuje się z rozwijanego menu oraz przez użycie rolki (*scroll*) lub klawiszy myszy. Możliwy jest m. in.:

- wybór i import projektu
- włączenie/wyłączenie położenia stanowisk kamer fotogrametrycznych
- import/zapis współrzędnych środka rzutów i kątów kierunkowych projekcji
- zmiana skali wizualizacji
- translacja prezentowanego modelu 3D
- rotacja prezentowanego modelu 3D

4. Proponowany schemat wizualizacji 3D

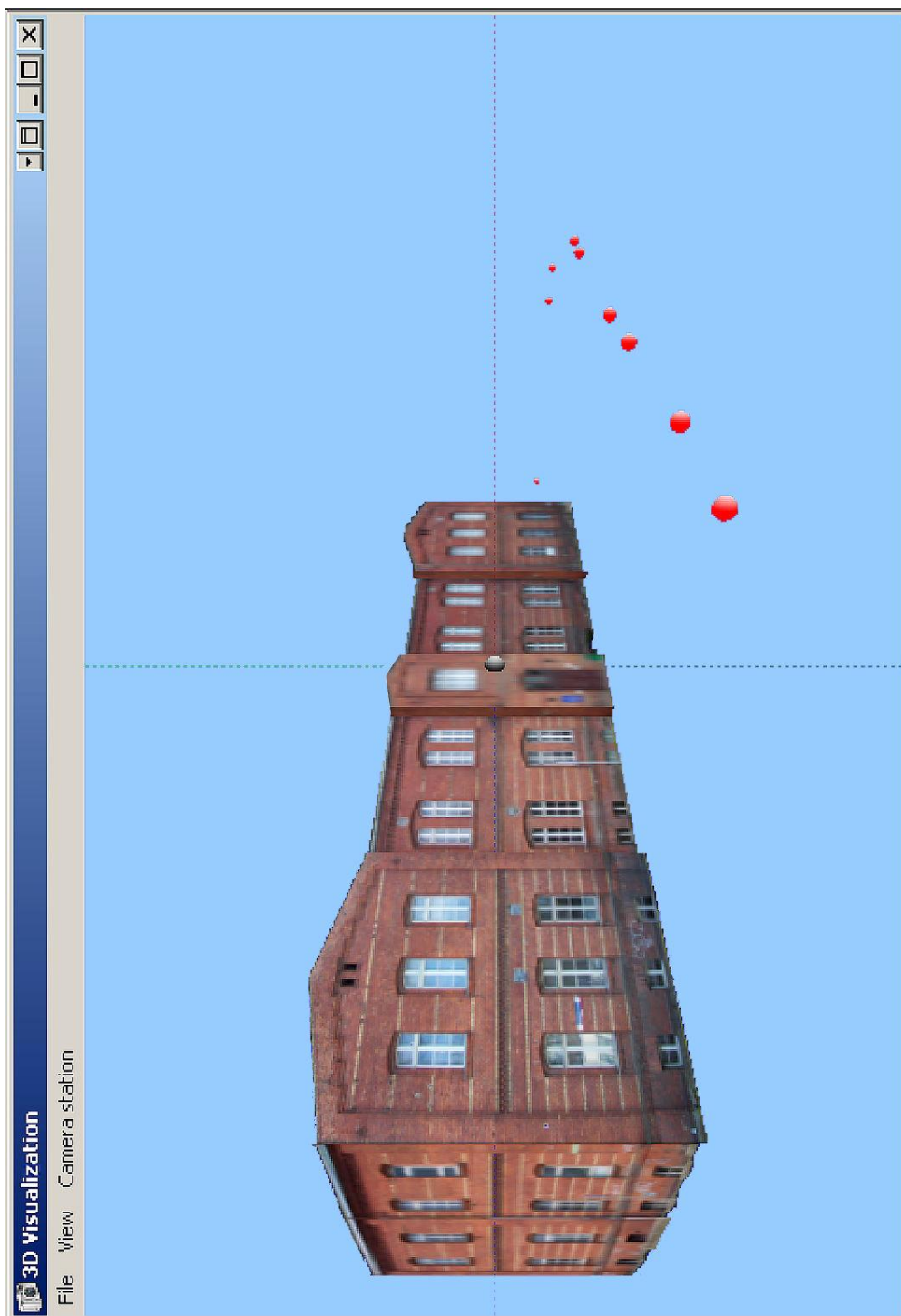
Na podstawie doświadczeń uzyskanych podczas fotogrametrycznego opracowania obiektu architektonicznego na podstawie niemetrycznych zdjęć cyfrowych średniej rozdzielczości oraz tworzenia aplikacji w standardzie OpenGL do dynamicznej wizualizacji 3D obiektów bliskiego zasięgu autorzy proponują następujący schemat technologiczny (Rys. 2) przebiegu opracowania.

5. Podsumowanie

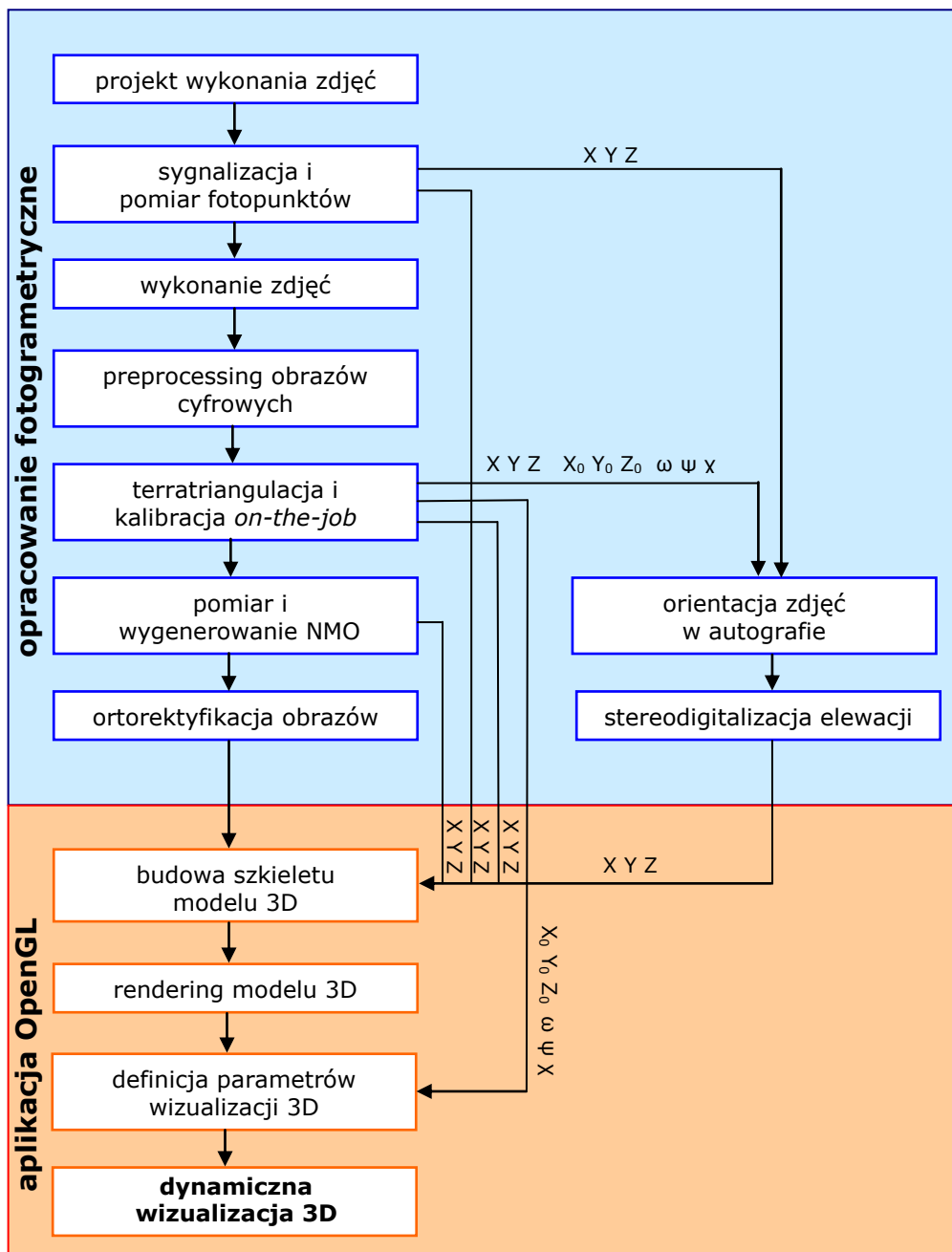
Integracja metod fotogrametrycznych, cyfrowego przetwarzania obrazów oraz technik grafiki komputerowej lub internetu tworzy we współczesnej fotogrametrii nową jakość fotorealisticznej wizualizacji 3D i prezentacji VR (*Virtual Reality*) wyników opracowania. Dzięki zastosowaniu tych technik zwiększa się atrakcyjność prezentacji wyników cyfrowych opracowań fotogrametrycznych.

Wysoką dokładność oraz odpowiadającą rzeczywistości jakość modelowania i wizualizacji obiektów bliskiego zasięgu można otrzymać tylko na podstawie scen 3D wygenerowanych na podstawie danych wektorowo-rastrowych pozyskanych w procesie cyfrowego opracowania fotogrametrycznego. Zastosowanie specjalizowanych technik wizualizacji 3D, szczególnie w fotogrametrii bliskiego zasięgu, wymaga aplikacji dedykowanych, które będą mogły uwzględnić nietypowe parametry opracowania.

W prezentowanej autorskiej aplikacji do dynamicznej wizualizacji 3D zastosowano bibliotekę graficzną w standardzie OpenGL oraz oprogramowanie narzędziowe Delphi wzbogacone o komponenty GLScene. Testowanie programu przeprowadzono na podstawie wyników analityczno-cyfrowego opracowania obiektu architektonicznego. Stworzona aplikacja pozwala na dynamiczną i fotorealisticzną wizualizację 3D obiektów zarejestrowanych w bliskim zasięgu.



Rys. 1. Opracowany obiekt architektoniczny w oknie programu 3D Visualization



Rys. 2. Schemat dynamicznej wizualizacji 3D

Literatura

- Cöltekin A., Haggren H. 2000. VRML as a Tool for WEB-based , 3D, Photo-realistic GIS. Archiwum ISPRS Vol. XXXIII, B5/1.
- Fritsch D., Kada M. 2004. Visualisation Using Game Engines. Archiwum ISPRS Vol. XXXV, B5.
- Huanhg H.H. 2004. Reconstruction and Representation in Virtual reality of a 3D Model. Archiwum ISPRS Vol. XXXV, B5.
- Jacobs J.Q. 1999. Delphi Developer's Guide to OpenGL. Wordware Publishing, Inc.
- Jędryczka R., Skrzypczyk L. 2001. Wizualizacja numerycznego modelu terenu i ortofoto w czasie rzeczywistym. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji Vol. 11, s.3/48-3/52.
- Luliang T., Qingquan L. 2004. The Research of Transect-Based Three-Dimensional Road Model. Archiwum ISPRS Vol. XXXV, B5.
- Luhmann T., 2000. Nahbereichsphotogrammetrie - Grundlagen, Methoden und Anwendungen. Wichman Verlag. Heidelberg.
- Sechidis L.A., Gemenetzi D., Sylaiou S., Patias P., Tsioukas V. 2004. Openview a Free System for Stereoscopic Representation of 3D Models or Scene. Archiwum ISPRS Vol. XXXV, B5.
- Woo M., Neider J., Davis T. Schreiner D. 2004. OpenGL Programming Guide. Addison Wesley
- Wright jr R.S., Sweet M. 1999. OpenGL Księga eksperta.

Praca naukowa finansowana ze środków Komitetu Badań Naukowych w latach 2004-2006 jako projekt badawczy Nr 4T12E 003 26.

Recenzował: dr inż. Władysław Mierzwa