

**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, 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].

Proces tworzenia sceny 3D w środowiskach 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 i prezentacji trójwymiarowej, np. 3D Studio Max i PhotoModeler Pro są systemami zamkniętymi, które w konsekwencji w niektórych warunkach opracowania są zbyt mało elastyczne i posiadają ograniczone możliwości importu danych fotogrametrycznych.

Obecnie coraz większe znaczenie w fotogrametrycznej wizualizacji 3D zyskują technologie wykorzystujące API (*Application Programming Interface*), np. DirectX (natywna technologia Windows) i OpenGL (otwarty standard istotnych platform systemowych) do tworzenia komputerowej grafiki 3D [Fritsch et al. 2004, Lliang et al. 2004, Wright et al. 1999] oraz narzędzia internetowe wykorzystujące języki skryptowe, np. VRML [Cöltekin et al. 2000, Huanhg 2004, Jędrzycka et al. 2001]. Rozwiązania wykorzystujące wymienione narzędzia programistyczne umożliwiają wizualizację, prezentację VR (*Virtual Reality*) i dodatkowo interakcję z modelem 3D. W celu stworzenia profesjonalnej wizualizacji obiektu 3D i jego wirtualnego otoczenia VE (*Virtual Enviroment*) 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 często występuje 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 m × 15.5 m × 12 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 niometrycznym aparatem cyfrowym Kodak DC4800 typu *compact* o matrycy 3.1 mln pikseli zgodnie z wykonanym wcześniej projektem. Wykonano ogółem 12 stereogramów zdjęć nachylonych. Punkty osnowy fotogrametrycznej zasygnalizowano za pomocą znacznika o wymiarach 5 ÷ 7 pikseli w skali obrazu cyfrowego. Współrzędne przestrzenne 49 sygnalizowanych fotopunktów określono metodą wielokrotnych kątowych wcięć w przód z 7 punktów założonej i wyrównanej osnowy geodezyjnej. Dodatkowo jako fotopunkty naturalne wybrano 93 dobrze identyfikowane szczegóły sytuacyjne.

Zagęszczenie osnowy fotogrametrycznej obiektu wykonano przez rozwiązanie sieci terratriangulacji metodą wiązek. Wszystkie fotopunkty 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 niemetryczne, przeprowadzono za pomocą bezpośredniej transformacji liniowej DLT. 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.

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	Fix Focus 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 $\nu$	1/4 ÷ 1/5
Pokrycie podłużne $p_x$	~ 80 %
DOKŁADNOŚĆ POMIARU I OPRACOWANIA	
49 fotopunkty sygnalizowane	$m_{PFs} = \pm 7.8$ mm
93 fotopunkty naturalne	$m_{PFn} = \pm 13.2$ mm
Pomiar punktów na obrazach	$m_{x',y'} = \pm 0.33$ pxl
Ortoobrazy	$m_{Ort} = \pm 23$ mm
Orientacja zdjęć metodą DLT	$m_p = \pm 15.7$ mm
Stereodigitalizacja	$m_{Sd} = \pm 25$ mm

Wyniki kompleksowego opracowania fotogrametrycznego stanowiły osnowę 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 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].

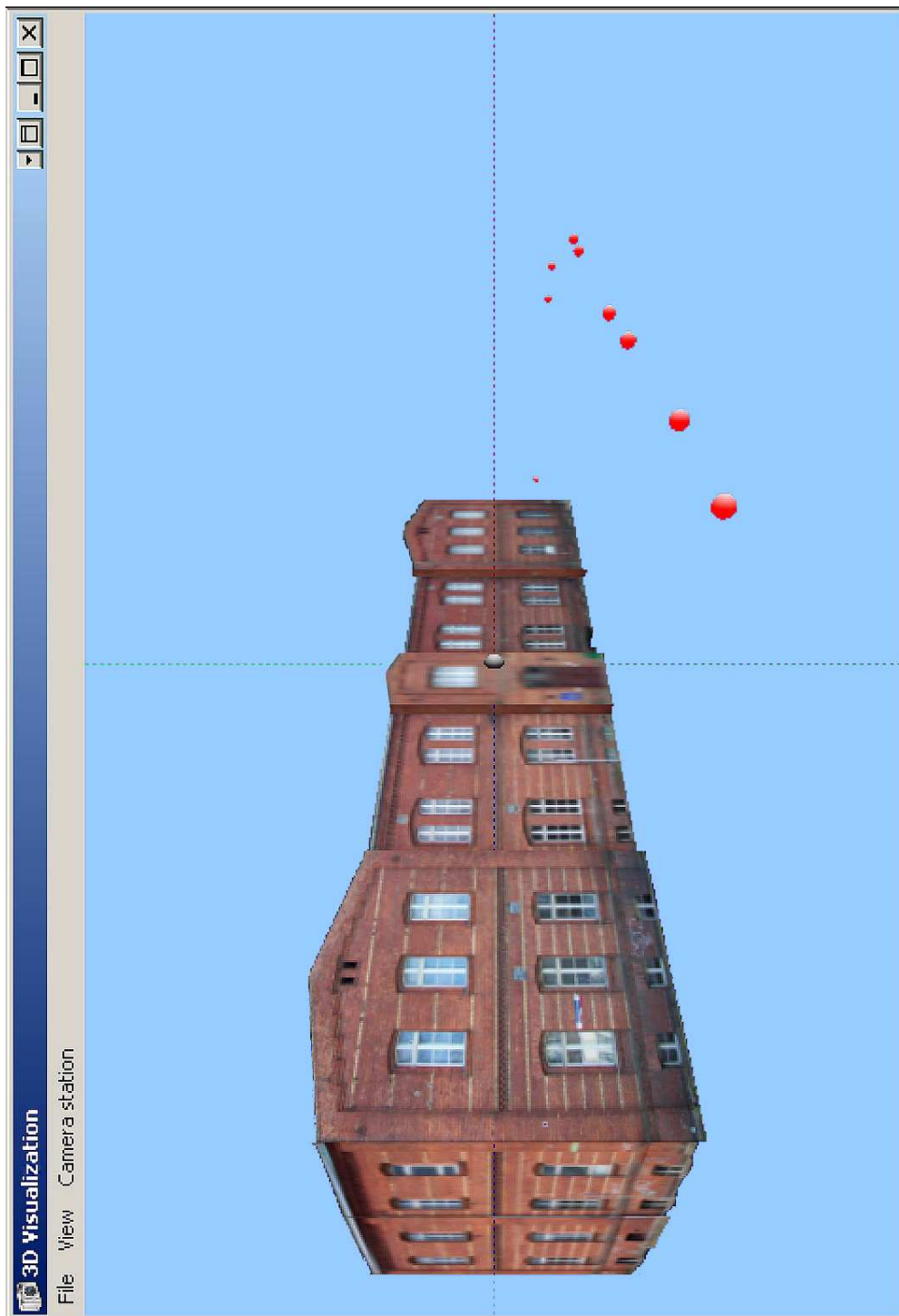
Narzędzie Delphi zostało wybrane celowo ze względu na jego 3 zasadnicze cechy:

- 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

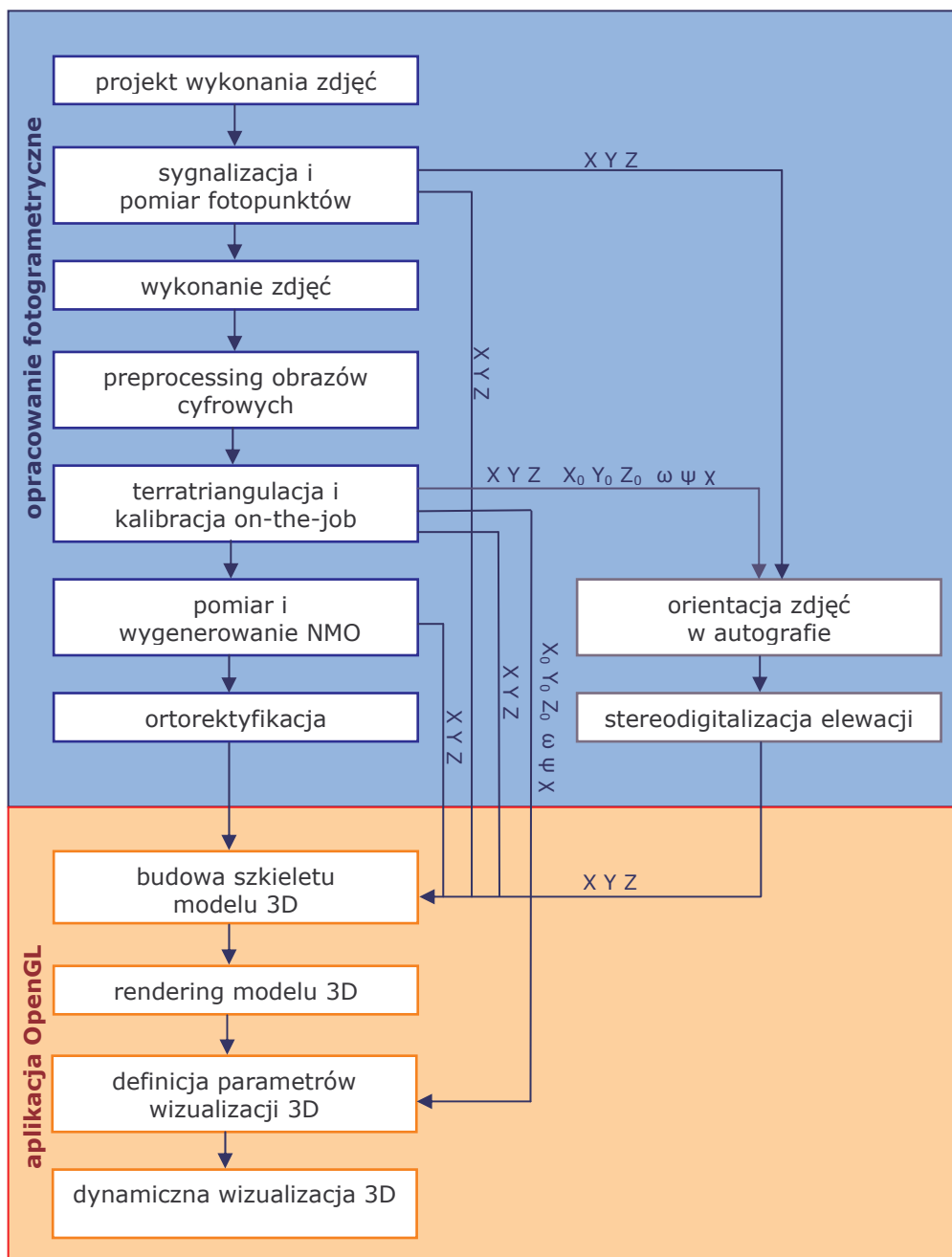
W pierwszym etapie tworzenia wizualizacji 3D zbudowano model szkieletowy (*wire frame*) obiektu. Ze względu na stosunkowo mało skomplikowany kształt budynku wykorzystanie komponentów modelu szkieletowego zostało ograniczone do prymitywów w postaci prostokątnych wycinków płaszczyzn (*plane*), służących do reprezentacji elementów elewacji. Za pomocą pojedynczych kwadryk (*sphere*) wskazano charakterystyczne elementy wizualizowanej sceny. Stanowiły je stanowiska cyfrowego aparatu fotograficznego, którym wykonano rejestrację budynku oraz środek przestrzennego układu współrzędnych sceny 3D.

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 ortobrazów wycięto obszary odpowiadające poszczególnym prymitywom modelu szkieletowego. Ze względu na duże pokrycie podłużne  $p_x$  te same fragmenty elewacji zostały zarejestrowane na kolejnych zdjęciach, co umożliwiło na ortoobrazach wybór obszarów położonych najbliżej środka rzutów, a więc o najmniejszych zniekształceniach. Fragmenty ortoobrazów nie będące widokiem elewacji zostały wypełnione transparentnym tłem.

Kolejnym etapem była zmiana rozmiaru tekstur (najczęściej następowało ich zwiększanie) ze względu na standard OpenGL, który wymaga ich określonego rozmiaru. Wielkości te muszą być równe 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.



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



Rys. 2. Schemat wizualizacji 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 tworzenia aplikacji OpenGL do dynamicznej wizualizacji 3D obiektów bliskiego zasięgu autorzy proponują następujący schemat technologiczny (Rys. 2) opracowania.

#### **5. Podsumowanie**

Integracja metod fotogrametrycznych, cyfrowego przetwarzania obrazów oraz technik grafiki komputerowej lub internetu tworzy we współczesnej fotogrametrii nową jakość fotorealistycznej 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 opracowania fotogrametrycznego.

Opracowanie specjalizowanych technik wizualizacji 3D, szczególnie dla zastosowań 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 realistyczną wizualizację 3D obiektów rejestrowanych w bliskim zasięgu.

## 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.
- Liang 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., Gemenetis 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.
- 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.