

**DZIAŁALNOŚĆ I BADANIA KOMISJI V  
„DETEKCJA BLISKIEGO ZASIĘGU: ANALIZY I APLIKACJE”  
W ŚWIETLE XXI KONGRESU ISPRS**

**COMMISSION V  
"CLOSE RANGE SENSING: ANALYSIS AND APPLICATIONS"  
- ACTIVITY AND RESEARCH IN THE LIGHT  
OF THE 21<sup>st</sup> ISPRS CONGRESS**

**Piotr Sawicki**

Zakład Fotogrametrii i Teledetekcji, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

SŁOWA KLUCZOWE: sensor wizyjny, skaner laserowy, bliski zasięg, detekcja, analiza, aplikacja

STRESZCZENIE: Opracowanie przedstawia syntetyczne omówienie głównych kierunków i zakresu działalności w latach 2004-2008 Komisji Technicznej V „Detekcja bliskiego zasięgu: Analizy i aplikacje” Międzynarodowego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji (ISPRS). W artykule przedstawiono tematykę badań oraz rozwiązań technicznych, które dotyczyły nowych sensorów, systemów, metod i technik pomiarowych oraz aplikacji bliskiego zasięgu. Omówiono wyniki prac naukowo-technicznych, które zaprezentowano w ramach XXI Kongresu ISPRS w Pekinie w 2008 r. i opublikowano (ogółem 189 prac) w cyklu wydawniczym Archiwum ISPRS, Vol. XXXVII, Part B5.

## **1. KOMISJA V – STRUKTURA ORGANIZACYJNA W LATACH 2004-2008**

Komisja Techniczna V Międzynarodowego Towarzystwa Fotogrametrii i Teledetekcji (ISPRS) działała w kadencji 2004-2008 pod nazwą „Detekcja bliskiego zasięgu: Analizy i aplikacje” (*Close Range Sensing: Analysis and Applications*). Jej pracom przewodniczył prof. Hans-Gerd Maas z Instytutu Fotogrametrii i Teledetekcji Uniwersytetu Technicznego w Dreźnie. Komisja V swoją działalność realizowała w następujących 6. podstawowych grupach roboczych WG oraz dodatkowo w 3. międzykomisyjnych grupach roboczych ICWG, utworzonych we współpracy z Komisją I oraz Komisją III:

- WG V/1 – Przemysłowe wizyjne systemy metrologiczne i aplikacje.
- WG V/2 – Dokumentacja dziedzictwa kultury.
- WG V/3 – Naziemny skaning laserowy.
- WG V/4 – Rzeczywistość wirtualna (VR) i animacja komputerowa.
- WG V/5 – Rozwój technologii sensorów obrazowych.
- WG V/6 – Analiza obrazów medycznych, pomiar ruchu i ciała człowieka.
- ICWG V/I – Systemy zintegrowane dla mobilnej kartografii.
- ICWG I/V – Nawigacja autonomicznych pojazdów.
- ICWG III/V – Sekwencja obrazów.

## 2. KOMISJA V – DZIAŁALNOŚĆ W LATACH 2004-2008

Główny obszar aktywności Komisji V w latach 2004-2008, uwzględniając prace przedstawione podczas XXI Kongresu ISPRS w Pekinie (3-11.07.2008 r.), obejmował następującą problematykę naukowo-techniczną:

- Nowe cyfrowe sensory wizyjne oraz techniki ich kalibracji.
- Naziemny skanowanie laserowe (TLS) i jego aplikacje.
- Integracja wielu sensorów w jeden hybrydowy system pomiarowy oraz łączenie danych z różnych sensorów.
- Algorytmy i systemy dla pomiarów *on-line* oraz w czasie rzeczywistym.
- Automatyzacja przetwarzania danych fotogrametrycznych i zaawansowana ekstrakcja informacji o obiektach.
- Technologia metrologii wizyjnej wspomagana systemami CAD/CAAD oraz systemami informacji przestrzennej.
- Metody fotogrametrii bliskiego zasięgu w przemyśle, robotyce, mobilnej kartografii, oraz w innych obszarach zastosowań technicznych.
- Systemy, techniki oraz aplikacje w rejestracji i dokumentowaniu dziedzictwa kultury.
- Techniki fotogrametryczne w aplikacjach medycznych i biometrycznych.
- Akwizycja danych 3D/4D w celu tworzenia aplikacji w środowisku rzeczywistości wirtualnej (VR), wizualizacji i animacji komputerowej.
- Procedury analizy sekwencji obrazów.

XXI Kongres ISPRS był odzwierciedleniem szerokiego zakresu prac badawczych i aplikacyjnych realizowanych w obszarze tematycznym związanym z działalnością Komisji V. Przedstawiono ogółem 189 prac (tabela 1), które zakwalifikowano do 7. tematycznych grup roboczych WG V/1÷V/6, ICWG V/I oraz dodatkowo do 1. sesji tematycznej ThS 14 („Kamery 3D”) i 3. sesji specjalnych SS 9 („Rejestracja dziedzictwa kultury i szlaku jedwabnego”), SS 16 („Techniki kalibracji naziemnych skanerów laserowych”), SS 19 („Rejestracja i dokumentacja Akropolu w Atenach – Od klasycznej, antycznej Grecji do współczesnej Olimpiady”). Zaprezentowane na kongresie prace naukowe i techniczne opublikowane zostały w cyklu wydawniczym Archiwum ISPRS Vol. XXXVII, Part B5. Prace międzykomisyjnej grupy roboczej ICWG I/V przyporządkowane zostały Komisji I (7 referatów opublikowano w Vol. XXXVII, Part B1), natomiast prace zaprezentowane w grupie ICWG III/V zostały opublikowane w Komisji III (9 referatów opublikowano w Vol. XXXVII, Part B3b).

Tabela 1. Liczba prac opublikowanych w Archiwum ISPRS Vol. XXXVII, Part B5

Grupa Robocza Sesja Th/SS	WG V/1	WG V/2	WG V/3	WG V/4	WG V/5	WG V/6	ICWG V/I	ThS 14	SS 9	SS 16	SS 19
Liczba prac	33	42	37	15	10	9	15	5	13	5	5

Poniżej, w kolejnych podrozdziałach, omówiona zostanie zasadnicza problematyka naukowo-badawcza realizowana w poszczególnych grupach roboczych Komisji V w latach 2004-2008 (ISPRS Highlights, 2005, 2006, 2007, 2008), ze szczególnym uwzględnieniem tematyki referatów (Archives ISPRS, 2008), które zaprezentowano w trakcie trwania XXI Kongresu ISPRS w Pekinie.

## 2.1. WG V/1 – Przemysłowe wizyjne systemy metrologiczne i aplikacje

W zakresie optycznych systemów metrologicznych i ich przemysłowych aplikacji zakres aktywności grupy roboczej WG V/1 obejmował następujące zagadnienia badawcze:

- Pasywne i aktywne systemy wizyjne w metrologii przemysłowej, automatyzacja w metrologii wizyjnej, inżynieria obrazowa.
- Systemy multisensoralne i hybrydowe.
- Kalibracja sensorów i systemów, szacowanie i weryfikacja dokładności, dyskusja nad standardami.
- Techniki pomiaru powierzchni o dowolnych kształtach, metody projekcji i oświetlenia (światło strukturalne, algorytmy oświetlenia).
- Systemy *on-line* oraz działające w czasie rzeczywistym, procesy dynamiczne o dużej częstotliwości i prędkości zmian.
- Maszynowe widzenie, przemysłowa kontrola jakości i robotyka przemysłowa.
- Integracja i modelowanie CAD/CAM, zastosowanie domeny wiedzy w automatyzacji.
- Określenie nowych obszarów aplikacji.
- Kooperacja z organizacją CMSC (*Coordinate Metrology Systems Conference*) i narodowymi/międzynarodowymi komitetami standaryzacji.
- Integracja producentów systemów i dostawców serwisu.

W ostatnich latach pojawiły się cyfrowe sensory wizyjne nowej jakości: sensory CCD/CMOS nowej generacji, wysokorozdzielcze *still-video* aparaty cyfrowe SLR (*Single Lens-Reflex Camera*) o matrycy 40 MP, wielkoformatowe sensory o rozdzielczości powyżej 100 MP, cyfrowe kamery wideo 1.5 MP. Powstały nowe konstrukcje sensorów: kamery 3D TOF (*Time-of-Flight*), typu SOC/COC (*System/Camera on Chip*), szybkie kamery cyfrowe (*High-Speed Cameras*), kamery „inteligentne” (posiadają wbudowany moduł przetwarzania danych) oraz cyfrowe systemy skanujące (*Line-Scanning Camera*), w tym kamery rotacyjne. Szybkie interfejsy transferu danych (*CameraLink*, karty *Ethernet Gigabit*) umożliwiły rozwój systemów *on-line* oraz działających w czasie rzeczywistym.

Automatyczna kalibracja wizyjnych sensorów cyfrowych jest możliwa przy zastosowaniu różnych strategii, np. przy użyciu płaskiego pola testowego (Douskos *et al.*, 2008) lub przy wykorzystaniu sztucznych sieci neuronowych (Kavzoglu, Karsli, 2008). W kalibracji i ocenie potencjału pomiarowego sensorów zastosowano błąd pomiaru długości (LME), jako podstawową miarę oceny dokładności (Rieke-Zapp *et al.*, 2008) lub dyskusyjną koncepcję średniego błędu RMS współrzędnych obrazowych (Fekete, Schrott, 2008). Ważny przedmiot badań stanowiła ewaluacja sprawności, dokładności i niezawodności optycznych systemów pomiarowych 3D (Li, 2008; Luhmann *et al.*, 2008; Rova *et al.*, 2008; Touminen, Niini, 2008).

Automatyczny pomiar stał się obecnie standardem w zastosowaniach przemysłowych, dzięki sygnalizacji obiektów odbijającymi światło punktami kodowanymi. Nową ideą jest zastosowanie barwnych kodowanych sygnałów i algorytmu do ich detekcji (Moriyama *et al.*, 2008). Powstały systemy hybrydowe, łączące różne sensory i techniki pomiaru (skaner laserowy, metoda projekcji prążków, GPS/INS), które znalazły zastosowanie przede wszystkim w metrologii wielkoskalowej.

Znaczący rozwój technologii sensorów wizyjnych określił z jednej strony nowe potrzeby w zakresie oprogramowania, metod przetwarzania fotogrametrycznych danych cyfrowych oraz technik kalibracji, z drugiej zwiększył potencjał nowych zastosowań.

## **2.2. WG V/2 – Dokumentacja dziedzictwa kultury**

Działalność grupy roboczej WG V/2 koncentrowała się na zagadnieniach z zakresu fotogrametrii, teledetekcji i GIS, które znajdują zastosowanie w dokumentacji dóbr światowego dziedzictwa kultury. Jako główne zadania do realizacji zdefiniowano:

- Rozwój i integracja wizyjnych technik bliskiego zasięgu i systemów informacji przestrzennej w celu rejestracji, kartografii, modelowania 3D i wizualizacji struktur o architektonicznym znaczeniu oraz obiektów ważnych dla dziedzictwa kultury.
- Promocja innowacyjnych technologii i rozwój nowych produktów wspierających techniki zobrazowania, przetwarzanie danych, modelowanie, wizualizację, zarządzanie informacją w archeologii, architekturze i konserwacji.
- Integracja grafiki komputerowej z wizyjnymi technikami bliskiego zasięgu dla cyfrowej archiwizacji lub tworzenia wirtualnego (VR) muzeum.
- Rozwój i integracja zobrazowań bliskiego zasięgu z obrazami lotniczymi i satelitarnymi oraz systemy informacji przestrzennej w celu rekonstrukcji 3D i dokumentacji obszarów, zabytków oraz budowli o znaczeniu w dziedzictwie kultury.
- Rozwój strategii i rozwiązań w celu wieloletniego przechowywania i archiwizacji cyfrowych zobrazowań z zakresu dziedzictwa kultury.
- Rozwój tanich i szybkich technik dokumentacji i monitorowania dziedzictwa kultury.
- Rozwijanie we współpracy z pokrewnymi dyscyplinami standardowych procedur i produktów.
- Promocja i użycie technik internetowych, technik i animacji VR w celu propagowania dziedzictwa kultury.
- Bliska kooperacja z pokrewnymi dyscyplinami, narodowymi, międzynarodowymi, np. CIPA (*International Committee for Documentation of Cultural Heritage*) oraz regionalnymi organizacjami, jak również grupami roboczymi ISPRS.

Zakres problemów naukowo-technicznych w tej grupie roboczej obejmował badania i praktyczne prace w zakresie modeli matematycznych i algorytmów, pomiaru i przetwarzania danych, integracji różnych sensorów i łączenia danych, dokumentacji, modelowania i wizualizacji obiektów oraz integracji wyników opracowania ze środowiskiem systemów CAD/CAAD oraz GIS/SIP.

W dokumentacji dóbr dziedzictwa kultury światowej stosowane są współcześnie wszystkie nowoczesne fotogrametryczne i geodezyjne techniki pomiaru (Gruenkemeier, 2008). Naziemny skaning laserowy dostarcza danych 4D i jest bardzo często podstawowym źródłem danych (Baz *et al.*, 2008; Egglezos *et al.*, 2008; Grussenmeyer *et al.*, 2008; Kegin *et al.*, 2008; Kersten *et al.*, 2008). Następuje łączenie obrazów bliskiego zasięgu z wieloczasowymi i różnoskalowymi zdjęciami lotniczymi (Alamouri *et al.*, 2008; Zhu *et al.*, 2008;) oraz z wysokorozdzielczymi zobrazowaniami satelitarnymi (Külür, Sahin, 2008), które łączone są w środowisku systemu GIS (Lerma *et al.*, 2008; Mao *et al.*, 2008; Moullou *et al.*, 2008). Połączenie fotogrametrycznej akwizycji

cyfrowej z techniką skanowania laserem umożliwia kompleksową rejestrację i modelowanie obiektów (Chevier, Perrin, 2008), ortorektyfikację obrazów cyfrowych (Agnello *et al.*, 2008) oraz wielkoskalowych cyfrowych ortofotomap (Georgopoulos, Natsis, 2008). Integracja danych ze skaningu laserowego z pomiarami fotogrametrycznymi zapewnia kompletny NMT/NMPT (DTM/DSM) i ułatwia modelowanie 3D (D'Urso, Russo, 2008). Tanią i szybką rejestrację w celu monitoringu i archiwizacji zabytków jest zastosowanie kamer będących na standardowym wyposażeniu współczesnych telefonów komórkowych (Artese, Gencarelli, 2008).

W aplikacjach stosowane są nowoczesne metody kalibracji, algorytmy filtracji, automatycznego dopasowania obrazów (*matching*) (Artese, Gencarelli, 2008; Bujakiewicz *at al.*, 2008) oraz techniki teksturowania (El-Hakim *et al.*, 2008; Grün, Hanusch, 2008). Modelowanie (Hanke *et al.*, 2008; Paguet *et al.*, 2008; Remondino *et al.*, 2008; Tsingas *et al.*, 2008), w tym z zastosowaniem hierarchicznej techniki teksturowania powierzchni 3D (Marinov, 2008) oraz wizualizacja scen 3D wspomagana komputerowo (Duran, Aydar, 2008), stały się standardem w prezentacji wyników fotogrametrycznego opracowania obiektów architektonicznych i archeologicznych. Szczególnie dynamicznie rozwija się zastosowanie technik rzeczywistości wirtualnej VR (Bastaniar *et al.*, 2008; Carra *et al.*, 2008; Salemi *et al.*, 2008; Takasa *et al.*, 2008) i rozszerzonej rzeczywistości AR (*Augmented Reality*) (Guo *et al.*, 2008) sprzężonych z systemem GIS. W wielu aplikacjach percepcję stereoskopowych obrazów scen 3D umożliwia wirtualny monitor typu HMD (*Head Mounted Display*).

### 2.3. WG V/3 – Naziemny skaning laserowy

Grupa robocza WG V/3 realizowała następujące zadania z zakresu techniki i aplikacji naziemnego skaningu laserowego (TLS):

- Automacyjne techniki orientacji sensora, łącznie z praktyczną oceną algorytmów rejestracji.
- Klasyfikacja sceny i ekstrakcja cech (współpraca z grupą WG III/3).
- Integracja danych TLS z innymi źródłami danych, szczególnie z zobrazowaniami wideo, w celu opracowania tekstury oraz z innymi sensorami do określenia elementów orientacji zewnętrznej.
- Modelowanie błędów systematycznych i rozwój procedur kalibracji.
- Wewnętrzne i zewnętrzne modelowanie w stosunku do sensora procesu pomiaru skanerem laserowym.
- Praktyczne aplikacje naziemnego skaningu laserowego w inżynierii, dziedzictwie kultury, leśnictwie i innych dziedzinach.
- Współpraca z zespołem zadaniowym FIG „Naziemny skaning laserowy w monitoringu deformacji” (FIG Task Force 6.1.5 „*Terrestrial Laser Scanning for Deformation Monitoring*”).

Pojawienie się naziemnego skaningu laserowego (TLS) stworzyło nowy wymiar aktywności Komisji V. Powstały nowe konstrukcje skanerów i metody ich kalibracji, nowe algorytmy opracowania danych: orientacji, automatycznej rejestracji chmur punktów, automatycznej segmentacji i ekstrakcji cech.

Wśród nowych konstrukcji pojawił się prototypowy naziemny skaner laserowy Riegl LPM-321, który umożliwia skanowanie na odległość do 4 km (Schwalbe *et al.*, 2008). Kalibracja parametrów geometrycznych skanera laserowego może bazować na pomiarze względnej odległości referencyjnej (Salo *et al.*, 2008). Kalibrację

radiometryczną intensywności odbicia przeprowadzono w oparciu o znane wartości odbicia punktów referencyjnych (Pfeifer *et al.*, 2008). Analizowane były też wartości intensywności odbicia od powierzchni z różnych materiałów (Voegtle *et al.*, 2008). Łączenie modelu geometrycznego pozyskanego z danych TSL, z danymi obrazowymi pozyskanymi kamerą wyposażoną w obiektyw typu „rybie oko” (*Fisheye*), pozwoliło na łączną kalibrację obu sensorów w jednym procesie blokowego wyrównania metodą wiązek (Schneider, Schwalbe, 2008).

Automatyczny tryb pomiaru jest możliwy poprzez zastosowanie metod segmentacji grupy punktów w niezależnych skanach laserowych i dopasowanie wydzielonych cech, np. metodą LS3D (*Least Squares 3D Surface Matching*). Jednym z przykładów zastosowania metody LS3D jest *matching* krzywych i powierzchni w pomiarze deformacji (Monserrat *et al.*, 2008). Nowe podejście, to określenie orientacji wzajemnej poszczególnych skanów przy pomocy funkcji oceny (Dold, Brenner, 2008). Inna technika służąca automatyzacji pomiarów polega na wygenerowaniu histogramów orientacji (Chibunichev, Velizhev, 2008) lub zastosowaniu techniki IBR (*Image Based Registration*), tj. oryginalnych panoramicznych obrazów odbicia (Kang, 2008).

Automatyczna procedura generowania z chmury punktów różnych konturów modeli budynków może być wykonana na podstawie znanych cech (Pu, 2008). Pełna automatyczna procedura modelowania linii możliwa jest na podstawie wykonanej ekstrakcji segmentów grupujących lokalne cechy linii (Briese, Pfeifer, 2008). Zastosowanie narzędzia PCA (*Principal Component Analysis*) do przetwarzania chmury punktów polega na określeniu lokalnej charakterystyki punktu poprzez sprawdzenie lokalnego sąsiedztwa punktu i zostało wykorzystane do detekcji krzywych i ich parametrów (Belton, 2008). Automatyczna wektoryzacja obiektów jest realizowana algorytmem do ekstrakcji i wygładzania profili (Bienert, 2008). Algorytm bazujący na M-estymacji służy natomiast do określenia współrzędnych środka obiektów w kształcie kuli (Zhou *et al.*, 2008). Referencję obrazów cyfrowych z naziemnymi danymi LiDAR w środowisku CAD umożliwiają algorytmy *point-to-line* oraz *line-to-line* (Meyerhold *et al.*, 2008).

Technika naziemnego skaningu laserowego znalazła zastosowanie w inwentaryzacji inżynierskiej (Kim *et al.*, 2008; Lovas *et al.*, 2008; Sithole, 2008), w tworzeniu dokumentacji typu *as-built* (Seo *et al.*, 2008), w rejestracji dziedzictwa kultury (Becker *et al.*, 2008), monitoringu deformacji 3D obiektów inżynierskich (Alba *et al.*, 2008; Bu, Zhang, 2008; Miller *et al.*, 2008; Qiu, Wu, 2008; Zogg, Ingensand, 2008) i specjalnych, np. lodowców (Schwalbe *et al.*, 2008), w modelowaniu obiektów 3D (Hu *et al.*, 2008; Pop, 2008), detekcji upraw rolniczych (Lumme *et al.*, 2008), w leśnictwie, itd.

Integracja danych TLS z sensorami GPS oraz IMU/INS pozwala na skaningu dynamiczny (rejestracja chmur punktów z pojazdu będącego w ruchu), np. do kolekcji danych 3D w obszarach zurbanizowanych (Haala *et al.*, 2008) lub wsparcie naziemnych, zintegrowanych systemów nawigacji GPS/INS/pseudolity (Wang *et al.*, 2008).

Należy oczekiwać, że w najbliższej przyszłości wiodącym tematem badań dotyczących naziemnego skaningu laserowego będzie dopasowanie (*matching*) wieloczasowych chmur punktów 3D.

## 2.4. WG V/4 – Rzeczywistość wirtualna (VR) i animacja komputerowa

W obszarze badawczym grupy roboczej WG V/4 działalność odnosiła się do integracji metod fotogrametrii, przetwarzania obrazów cyfrowych, metod grafiki komputerowej i technik internetowych. W tym obszarze realizowano następujące zadania:

- Automatyzacja w kreowaniu treści wirtualnego środowiska VE, zwiększanie efektywności procesu kreowania kompleksowych środowisk na podstawie różnorodnych źródeł danych, definiowanie i ocena dokładności.
- Wizualizacja w czasie rzeczywistym oraz interaktywne manipulowanie szczegółowymi i mocno teksturowanymi powierzchniami, określenie i ocena realizmu oraz stopnia szczegółowości.
- Użycie wizyjnych technik fotogrametrycznych i komputerowych w celu analizy ruchu człowieka oraz animacji o wirtualnym charakterze.
- Promocja aplikacji VR, dotyczących człowieka kreowanego w przestrzeni scen 3D, które wymagają modeli 3D zrekonstruowanych fotogrametrycznymi albo innymi zintegrowanymi technikami.
- Usługi lokalizacyjne (*Location Based Services*) (kombinacja możliwości mobilnych obliczeń, zobrazowań, urządzeń do pozycjonowania i dostępu do sieci), aplikacje dla technik wirtualnej i rozszerzonej rzeczywistości AR (miks obrazów żywych z grafiką komputerową) oraz mobilnych systemów informacji.
- Współpraca ze środowiskiem grafiki komputerowej, widzenia komputerowego, inżynierii medycznej i biomedycznej, inżynierii zajmującej się istotą ludzką (projektowanie odzieży, ergonomia), współpraca z organizacjami CIPA (*International Committee for Documentation of Cultural Heritage*), ISB (*International Society of Biomechanics*) oraz ACM-SIGGRAPH (*Association for Computing Machinery's Special Interest Group on Graphics and Interactive Techniques*).

Wzrastający realizm wizualizowanych scen jest uzyskiwany przez zwiększony poziom szczegółowości detali geometrycznych. Efekt ten uzyskiwany jest przez stosowanie specjalnych metod dopasowania obrazów (*stereomatching* lub *multimatching*). Nowym obszarem badań staje się poszukiwanie odpowiednich i intuicyjnych metod reprezentacji danych i kreacji modelu, szczególnie dla modeli 4D (3D + czas).

Skaning laserowy stał się często stosowanym narzędziem do akwizycji danych 4D dla aplikacji tworzących rzeczywistość wirtualną VR (Böhm, 2008; Brechtken *et al.*, 2008). Rejestracja sekwencji zdjęć jest możliwa za pomocą małego, lekkiego systemu UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) z kamerą 1 MP. Dopasowanie obrazów metodą LSM (*Least Squares Matching*) pozwala na automatyczną rekonstrukcję 3D obiektu (Mayer, Bartelsen, 2008). W praktyce stosowane są zaawansowane metody geometrycznego modelowania: technika modelowania LOD (*Level of Detail*) (Du *et al.*, 2008), metoda pojedynczego zdjęcia oparta na rekonstrukcji punktów zbiegu (Wang, Ferie, 2008). Zaawansowane techniki przetwarzania obejmują: teksturowanie, mapowanie oraz rendering obiektów i scen 3D.

Technika VR umożliwia łączenie danych 2D pochodzących z systemów CAD/GIS z wizualizacją 3D obiektów inżynierskich (Li *et al.*, 2008). Wizualizacja obiektów

geograficznych, dzięki wykorzystaniu falkowej kompresji typu SPIHT (*Set Partitioning in Hierarchical Trees*), ewoluuje w kierunku VR-GIS (Li, Gong, 2008).

W odniesieniu do geometrii i tekstury dużych modeli (charakteryzuje je bardzo duża liczba poligonów) problem fotorealizmu i ruchu w czasie rzeczywistym w przestrzeni sceny został rozwiązany przez opracowanie wydajnych metod teksturowania (Hanusch, 2008; Tan *et al.*, 2008) oraz renderingu (Web *et al.*, 2008).

Jednak przy obecnym stanie wiedzy, w pełni realistyczne oświetlenie i odbicie w czasie rzeczywistym jest jeszcze trudne do implementacji. Metody wizualizacji, animacji i prezentacji VR, powszechnie używane w środowisku grafiki komputerowej, nie są jednak dostatecznie często stosowane w rzeczywistych fotogrametrycznych aplikacjach bliskiego zasięgu.

## 2.5. WG V/5 – Rozwój technologii sensorów obrazowych

Zakres aktywności w grupie roboczej WG V/5 koncentrował się na rozwiązaniu problemów związanych z konstrukcją nowych sensorów wizyjnych:

- Projektowanie, charakterystyka, kalibracja i ocena sensorów obrazowych dla fotogrametrii i aplikacji bliskiego zasięgu.
- Ocena sensorów obrazowych (CCD, CMOS, IR-Balometr ), systemów termalnych i kamer 3D, bazujących na pomiarze odległości według zasady TOF (*Time-of-Flight*).
- Ocena niestandardowych zasad obrazowania (kamery panoramiczne, systemy wyposażone w obiektywy typu „rybie oko” (*Fisheye*), sensory katadioptryczne i inne wielokierunkowe systemy wizyjne).
- Integracja sensorów i systemów, aplikacja sieci sensorów.
- Ocena geometrycznych i radiometrycznych właściwości danych obrazowych, standardów jakości oraz czynników, które wpływają na jakość danych.

Grupa WG V/5 koncentrowała swoje prace na konstrukcji nowych sensorów obrazowych. Nowatorskie kamery 3D typu LRC (*Laser Range Camera*) bazują na sensorach *solid state* i działają według zasady TOF (*Time-of-Flight*), co umożliwia jednoczesny pomiar odległości i akwizycję obrazu (Lichti, 2008). W tej konstrukcji sensor obrazowy posiada max. rozdzielczość 180×140 pikseli a pomiar odległości możliwy jest w zakresie do 40 m. Systemy tego typu wytwarzają obecnie 2 firmy: CSEM Swiss Ranger (SR-3000) i PMD Technologies GmbH (PMD[vision]®). W przyszłości należy oczekiwać kombinacji techniki PMD (*Photonic Mixer Device*) z sensorami obrazowymi RGB, o wyższej rozdzielczości, co umożliwi aplikację kamery 3D, np. w robotyce. Główne problemy badawcze dotyczą kalibracji (Karel, 2008; Lichti, 2008; Westfeld, Hempel, 2008), ewaluacji systemu (Weyer *et al.*, 2008) i aplikacji kamer 3D (Katabira *et al.*, 2008).

Przełomem w konstrukcji wielkoformatowych sensorów obrazowych jest nowy sensor 4×4 cal firmy DALSA o rozdzielczości > 100 MP (10560×10560 pikseli;  $p'_{HV} = 9 \mu\text{m}$ ). W ostatnich latach pojawiły się na rynku aparaty cyfrowe (Mamiya, Hasselblad, Jenoptik, Sinar) lub przystawki cyfrowe (*digital back*) (Mamiya, Jenoptik, Imacon, Leaf, PhaseOne, Sinar, ALPA), które wyposażone zostały w wysokiej rozdzielczości (20÷60 MP) matryce CCD/CMOS o formacie typu *High-End*.



W konstrukcji kamer panoramicznych problemem jest otrzymanie dużej czułości radiometrycznej przy zachowaniu minimalnego czasu ciągłej rejestracji. Jest to możliwe przy zastosowaniu sensora zbudowanego w technologii TDI (*Time Delay and Integration*), który stanowi linijkę CCD o dużej czułości. Firma Seitz zbudowała kamerę panoramiczną wyposażoną w sensor TDI firmy DALSA (linijka posiada 7500 pikseli), który pozwala na rejestrację panoramy 360° w czasie 2 sekund. Nową koncepcję obrotowej rejestracji stanowi stereopanoramiczny przenośny multispektralny skaner MPMS (*Mobile Panoramic Multispectral Scanner*) zbudowany z 2. kamer panoramicznych RGB (Li, 2008).

Nową koncepcją jest pozycjonowanie punktów za pomocą sensorów CMOS (2 MP) standardowo montowanych w telefonach komórkowych. Współrzędne planarne można określić z błędem względnym 1: 8 000, odległość z błędem 0.03%, a przy zastosowaniu swobodnego wyrównania sieci odpowiednio 1: 25 000 i 0.009% (Grün, Akca, 2008).

## **2.6. WG V/6 – Analiza obrazów medycznych, pomiar ruchu i ciała człowieka**

Realizowany zakres badań w grupie roboczej WG V/6 obejmował przede wszystkim następujące zagadnienia:

- Badanie, rozwój technik i systemów do analizy oraz 3D rekonstrukcji w medycynie, stomatologii, inżynierii biomateriałów, biomedycynie, inżynierii biomechanicznej, telemedycynie, medycynie VR/AR, oraz badanie zaawansowanych wizyjnych 3D technik komputerowych.
- Badanie i rozwój technik oraz systemów do rekonstrukcji 3D i analizy w medycynie sportowej, w ocenie sprawności fizycznej człowieka (np. rejestracja ruchu, pomiar ciała, analiza chodu, śledzenie postaci), w analizie twarzy i jej ekspresji.
- Techniki wizyjne w badaniach biometrycznych, w aplikacjach z zakresu bezpieczeństwa pracy i medycyny sądowej.
- Zastosowanie technik pomiaru powierzchni w aplikacjach medycznych z zakresu stomatologii, ortodoncji, protetyki, ortopedii, chirurgii plastycznej, otorynolaryngologii (ORL), kosmetologii, medycyny sądowej.
- Zastosowanie technik rejestracji ruchu 3D do klinicznej analizy ruchu, rejestracji charakterystycznych cech pacjenta.
- Adaptacja technik fotogrametrycznych do geometrycznego modelowania i samokalibracji systemów rentgenowskich oraz tomograficznych.
- Kooperacja i współpraca między ISPRS a towarzystwami medycznymi oraz inżynierii biomedycznej, rozwój i animacja wzajemnego oddziaływania człowiek/użytkownik.

Współczesne metody i techniki fotogrametryczne oraz wizyjne systemy do rekonstrukcji 3D i analizy są obecnie szeroko stosowane w aplikacjach z zakresu medycyny, np. stomatologii (Knyaz, Zheltow, 2008; Mitchell, Chadwick, 2008). Połączenie stereofotogrametrycznych obrazów cyfrowych ze skanowaniem laserowym pozwoliło zbudować system rekonstrukcji 3D do diagnozy morfologii twarzoczaszki pacjenta (Majid *et al.*, 2008). Zastosowanie metod fotogrametrii cyfrowej do opracowania stereoobrazów rentgenowskich umożliwia rekonstrukcję 3D (Seker *et al.*, 2008) lub automatyczne określenie postawy pacjenta (Selby *et al.*, 2008). Dopasowanie obrazów i rekonstrukcja modeli 3D twarzy pacjenta możliwa jest przy

zastosowaniu konstrukcji taniego systemu stereo, który bazuje na metodzie projekcji prążków (Chang, Habib, 2008).

Analiza obrazów medycznych jest sprawdzoną i skuteczną techniką diagnozy w różnych specjalnościach medycyny. Przykładem nowych rozwiązań jest użycie dyskretnej transformacji Schrödingera do ekstrakcji granic obiektów na cyfrowych obrazach gradientowych (Lou *et al.*, 2008). Opracowanie danych z tomografii komputerowej CT (*Computed Tomography*) i spektroskopii NMR (*Nuclear Magnetic Resonance*) jest udoskonalane i ewoluuje w kierunku automatycznej detekcji i segmentacji danych 3D (Shahbazi *et al.*, 2008).

Komputerowe techniki wizualizacji 3D oraz techniki VR/AR są coraz częściej używane w różnych zastosowaniach medycznych, w tym w telemedycynie. Fotogrametryczne systemy śledzenia obiektów i scen 3D są obecnie uważane, jako podstawowe narzędzia diagnozy i analizy, np. przy rejestracji ruchu człowieka, liczeniu liczby widzów na imprezach masowych, śledzeniu ruchu narzędzi chirurgicznych w trakcie operacji, itd.

## 2.7. ICWG V/I – Systemy zintegrowane dla mobilnej kartografii

Zakres aktywności międzykomisyjnej grupy roboczej ICWG V/I koncertował się na następujących zadaniach:

- Zintegrowane systemy nawigacji do bezpośredniego wyznaczenia georeferencji.
- Integracja z innymi źródłami danych, zwłaszcza z danymi ze skaningu laserowego.
- Łączenie danych z naziemnych i lotniczych mobilnych systemów kartograficznych.
- Najnowsze, inteligentne techniki przetwarzania.
- Przyszłe trendy rozwoju systemów MMS (*Mobile Mapping Systems*) oraz ISMM (*Integrated Systems for Mobile Mapping*).
- Nowe obszary zastosowań systemów ISMM.

Współczesny system MMS posiada zamontowane na platformie pojazdu lub pokładzie UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) sensory: GPS, IMU, kamery cyfrowe, skaner laserowy oraz opcjonalnie: kamerę termalną IR oraz moduły: wspierający integrację sensorów, stabilizacji, transmisji i archiwizacji danych.

Mobilny system opracowania map drogowych typu LMMS (*Land Mobile Mapping System*), który bazuje na połączeniu nawigacji, rejestracji obrazów stereo i skaningu, umożliwia wykrycie, rozpoznanie, pozycjonowanie i kolekcję obiektów technicznej infrastruktury pasa drogowego (Shi *et al.*, 2008). Prototypowa wersja systemu nawigacji dla pieszego integruje sensory GPS, INS, magnetometr i barometr (Grejner-Brzezińska *et al.*, 2008). Wyznaczenie błędów systematycznych sensora INS w systemie MMS wykonuje się np. za pomocą kalibracji z wielu stanowisk (Artese, Trecroci, 2008).

Teledetekcyjny lotniczy system typu AMMS (*Airborne Mobile Mapping System*) pozwala na rejestrację zdjęć wysokiej rozdzielczości: panchromatycznych, wielospektralnych i hyperspektralnych oraz danych LiDAR (Xu *et al.*, 2008). Koncepcja taniego systemu AMMS, który wykorzystuje platformę UAV (model helikoptera), służy

do rejestracji barwnych obrazów cyfrowych wraz z ich georeferencjami (Coppa *et al.*, 2008).

Współczesne algorytmy przetwarzania danych w systemach MMS dotyczą przede wszystkim dwóch zagadnień: integracji danych z nawigacji z fotogrametrycznymi programami wyrównania metodą wiązek oraz wykorzystania współczesnej technologii MEMS (*Microelectromechanical Systems*), występującej w sensorach inercjalnych do bezpośredniego określenia georeferencji DG (*Direct Georeferencing*). W celu ulepszenia algorytmu nawigacji w procesie przetwarzania danych stosuje się filtr Kalmana lub sztuczne sieci neuronowe i logikę rozmytą (Grejner-Brzezińska *et al.*, 2008). Łączne wyrównanie danych pozyskanych zintegrowanymi systemami LMMS i AMMS możliwe jest poprzez dopasowanie (*matching*) obiektów liniowych, co w konsekwencji pozwala na kilkukrotne zwiększenie dokładności pozycjonowania (Hassan, El-Sheimy, 2008).

### 3. KIERUNKI DALSZYCH BADAŃ I ROZWOJU W LATACH 2008-2012

Komisja V ISPRS funkcjonować będzie w latach 2008-2012 nadal pod nazwą „Detekcja bliskiego zasięgu: Analizy i aplikacje”. Działalności i pracom Komisji V przewodniczyć będzie prof. Jon Mills z Uniwersytetu w Newcastle. Zakres aktywności Komisji V dotyczyć będzie wszystkich technicznych aspektów i aplikacji pomiarów bliskiego zasięgu. Komisja V powinna realizować w najbliższych latach 3 główne rezolucje sformułowane na XXI Kongresie ISPRS.

Rezolucja V.1 – Naziemny skaning laserowy, przetwarzanie zobrazowań 3D oraz chmur punktów:

- Intensyfikacja prac dotyczących geometrycznego modelowania danych z naziemnego skaningu laserowego.
- Rozwój automatycznych technik przetwarzania chmury punktów oraz integracja technik przetwarzania chmury punktów z danymi obrazowymi.
- Badanie dokładności i rozwój technik samokalibracji zintegrowanych sensorów.

Rezolucja V.2 – Inżynieria obrazowa:

- Koncentracja prac nad technikami inżynierii obrazowej w metrologii optycznej.
- Umocnienie wiodącej roli ISPRS w ocenie technologii sensorów, w modelowaniu i kalibracji sensorów.
- Praktyczne wdrożenie nowych typów sensorów, takich jak systemy wielokierunkowe (*omnidirectional*), kamery 3D i systemy multisensoralne (*multiocular*).

Rezolucja V.3 – Dziedzictwo kultury, rzeczywistość wirtualna (VR) i animacja:

- Promocja innowacyjnych technologii do rejestracji, przetwarzania danych, zarządzania informacją oraz rozwój nowych produktów z zakresu modelowania obiektów 3D, rzeczywistości wirtualnej i animacji w archeologii, architekturze i konserwacji zabytków.
- Definiowanie i zastosowanie akceptowalnych standardów oraz procedur oceny jakości wynikowych modeli 3D.
- Umocnienie aktywności w zakresie kartografii mobilnej i usług lokalizacyjnych (*Location Based Services*).

#### **4. LITERATURA**

- Archives ISPRS, 2008. Vol. XXXVII, Part B5. <http://www.isprs.org>  
ISPRS Highlights, 2005. Vol. 10, N° 1. <http://www.isprs.org>  
ISPRS Highlights, 2006. Vol. 11, N° 1. <http://www.isprs.org>  
ISPRS Highlights, 2007. Vol. 12, N° 1. <http://www.isprs.org>  
ISPRS Highlights, 2008. Vol. 12, N° 4. <http://www.isprs.org>

dr inż. Piotr Sawicki  
e-mail: [piotr.sawicki@geodezja.pl](mailto:piotr.sawicki@geodezja.pl)  
tel. +89 5233282