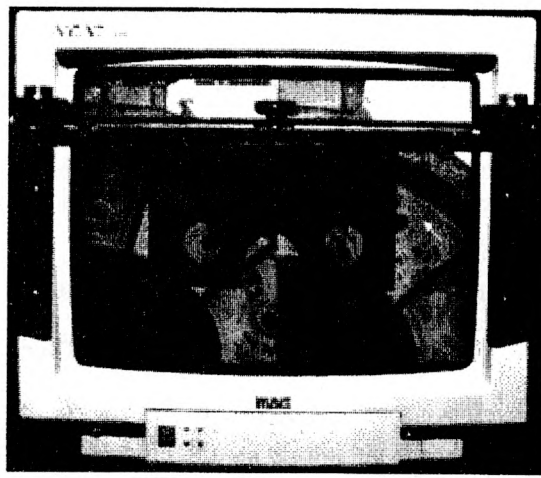


J.Jachimski, A.Boroń, J.M.Zieliński

VIDEO STEREO DIGITIZER I WSTĘPNA OCENA DOKŁADNOŚCI POMIARU WIELKOSKALOWYCH ZDJĘĆ LOTNICZYCH

1. Wstęp

Video Stereo Digitizer, zaprojektowany i uruchomiony w Zakładzie Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej Akademii Górniczo-Hutniczej (VSD AGH), jest analitycznym autografem cyfrowym przeznaczonym do tworzenia mapy wektorowej przy wykorzystaniu czarno-białej lub kolorowej pary cyfrowych obrazów fotogrametrycznych (stereogramy lub stereoortofotogramy). System akceptuje obrazy CCD, obrazy skanerowe, jak i skanowane obrazy satelitarne, lotnicze i naziemne.



Rys.1 Cyfrowy autograf analityczny: Video Stereo Digitizer AGH działa na komputerach PC wyposażonych w kolorowy monitor i kartę SVGA

VSD może być używany do aktualizacji mapy wektorowej w bazie danych SIT i GIS, lecz również nadaje się do opracowywania dokumentacji architektury lub dzieł sztuki jak i do tworzenia dokumentacji archeologicznej i innych opracowań. Szczegóły pary obrazów cyfrowych wyświetlonych na ekranie SVGA komputera osobistego typu PC wybierane są przez operatora przy użyciu pary znaczków pomiarowych (kursorów) animowanych myszą lub klawiaturą. Obserwacja modelu przestrzennego odbywa się za pośrednictwem stereoskopu

zwierciadlanego. Punkty wskazywane kursorem mogą być łączone linią łamaną. Nieregularne krzywe są wykreślane przez rejestrowanie trajektorii kursora. Linie łamane i trajektorie nakładane są na półtonalne obrazy na ekranie monitora PC w wybranym kolorze. Każdemu kolorowi wyświetlanej mapy odpowiada oddzielna warstwa w pamięci komputera (bazie danych) w kodzie DXF lub kodzie binarnym programu VSD.

VSD AGH może być również używany jako mono lub stereokomparator do pomiaru obrazów cyfrowych z dokładnością odpowiadającą ułamkom piksela; dokładność zależy od skali powiększenia obrazu cyfrowego na ekranie monitora.

2. Informacje techniczne o systemie

Obrazy cyfrowe

Program VSD akceptuje następujące formaty obrazów cyfrowych, bez kompresji:

1. TIFF monochromatyczny (maks. 256 półtonów)
2. TIFF kolorowy, indeksowany paletą o 256 kolorach.

Jedynie 248 początkowych pozycji w palecie może być użytych przez obraz cyfrowy, ponieważ pozostałe 8 kolorów jest zarezerwowanych dla numerycznej mapy wektorowej wyświetlanej na ekranie.

3. Monochromatyczny format strumienia pikseli:

Jest to format zorganizowany jako prosty strumień pikseli (maks. 256 półtonów). Dla tego formatu musi być zdefiniowana długość linii obrazu i offset obrazu.

Wymagania sprzętowe i organizacja pamięci dyskowej

Optymalny zestaw to minimum PC 386 z koprocesorem i 8Mb RAM, wyposażony w grafikę SVGA, mysz i stereoskop zwierciadlany przeznaczony do obserwowania ekranu monitora.

Typy obsługiwanych obecnie grafik SVGA:

- standard VESA implementowany na dowolnej karcie graficznej
- karty z procesorami graficznymi TSENG 3000 i 4000, TRIDENT 8900 i 9000, ATI WONDER i ATI ULTRA, WESTERN DIGITAL PARADISE

Możliwe jest użytkowanie programu na komputerze PC 286 z pamięcią RAM od 2Mb przy zmniejszonej sprawności dynamicznej i obniżonej rozdzielczości obrazów.

Pojemność dysku twardego winna być zbieżna z rozmiarami i liczbą przetwarzanych obrazów cyfrowych (np. para zdjęć lotniczych zeskanowanych z rozdzielczością 600 dpi to 2x30 Mb). Parametr szybkości transmisji dysku ma silny wpływ na czas reakcji programu przy wizualizacji obrazów.

Aktualnie system sterowany jest 3-przyciskową myszą i klawiaturą komputera. W przygotowaniu jest wielofunkcyjna podwójna sprzężona mysz oraz P-kursor, które mogą zastąpić mysz i niektóre funkcje klawiatury komputera.

Przed uruchomieniem programu należy utworzyć co najmniej jeden katalog dyskowy, zwany katalogiem roboczym VSD, któremu można nadać dowolną nazwę. Obrazy cyfrowe mogą być umieszczone w dowolnych katalogach. Inne pliki dla VSD (opisane niżej) należy umieszczać w katalogu roboczym. W katalogu roboczym może być ulokowane jedno lub

więcej zadań (projektów). Większość plików tworzących zadanie ma wspólną nazwę zgodną z nazwą zadania uzupełnioną trzyliterowym rozszerzeniem określającym typ pliku.

Istniejące mapy wektorowe w formacie DXF mogą być włączane do zadania po transformacji do formatu ABS, właściwego dla VSD. Dla takiej transformacji dołączony jest odpowiedni program DXF_ABS.EXE umożliwiający selekcję warstw i modyfikację ich kolorów.

Katalog roboczy będzie zawierał pliki utworzone w czasie pracy przez VSD oraz pliki, które należy przygotować wcześniej.

Przed rozpoczęciem pracy, dowolnym edytorem tekstu należy przygotować, w zależności od warunków realizowanego zadania, następujące pliki:

<i>NazwaZadania.PKT</i>	dane w formacie ASCII: - nr i współrzędne x,y znaczków tłowych lub węzłów siatki reseau - nr i współrzędne x,y,z punktów kontrolnych w układzie odniesienia
<i>NazwaZadania.DLT</i>	dane w formacie ASCII podające wartości współczynników transformacji DLT dla lewego i prawego zdjęcia (jeśli zostały wcześniej wyznaczone)
<i>NazwaLewegoObrazu.ACT</i>	plik binarny definiujący paletę 256 kolorów dla pary obrazów barwnych (256 trójek bajtów określających poziomy RGB)

W trakcie pracy VSD program tworzy w katalogu roboczym następujące pliki:

<i>NazwaZadania.CFG</i>	parametry zadania, tj. stereogramu lub pojedynczego obrazu
<i>NazwaZadania.ETK</i>	histogram i inne informacje o obrazach cyfrowych
<i>NazwaZadania.S??</i>	zmniejszona para obrazów lub obraz do wybierania obszarów roboczych
<i>NazwaZadania.LU</i>	współrzędne zmierzonych punktów - plik binarny
<i>NazwaZadania.LU1</i>	jak <i>NazwaZadania.LU</i> dla pojedynczego obrazu - plik binarny
<i>NazwaZadania.OR</i>	plik *.LU lub *.LU1 w formacie ASCII, raport wyjściowy
<i>_OR_INT.WYN</i> <i>_OR_REL.WYN</i> <i>_OR_ABS.WYN</i> <i>_OR_DLT.WYN</i> }	pliki tymczasowe zawierające wyniki kolejnych etapów orientacji stereogramów
<i>NazwaZadania.MAP</i>	plik ASCII zawierający linie mapy w układzie obrazu (format wewn.)
<i>NazwaZadania.ABS</i>	plik binarny zawierający linie mapy w układzie odniesienia (form.wewn.)
<i>NazwaZadania.DXF</i>	plik o treści jak w pliku <i>NazwaZadania.ABS</i> w formacie DXF

Ostatnie trzy pliki mogą nosić różne nazwy (przy zachowaniu tych samych trzyliterowych rozszerzeń) w celu umożliwienia wykorzystania różnych plików mapy dla tych samych obrazów.

Uruchomienie programu

Program może być uruchamiany przez wprowadzenie poleceń VSD [L] lub VSD H. VSD [L] wywołuje program dla rozdzielczości 800*600 a VSD H dla rozdzielczości 1024*768 pikseli. W celu pominięcia wyświetlania ekranu tytułowego należy bezpośrednio po uruchomieniu programu nacisnąć klawisz ESCAPE.

Na wstępie program pyta o:

- ścieżkę do katalogu roboczego,
- nazwę zadania,
- nazwy plików z obrazami cyfrowymi oraz ścieżki do tych plików, jeżeli są umieszczone poza katalogiem roboczym, a następnie umożliwia wybór obszaru roboczego obrazów na ich pomniejszonym widoku.

Prostokątne ramki, przesuwane po obrazach na ekranie za pomocą klawiszy kursora lub myszy, lokalizują wybrany obszar jednocześnie na obu obrazach lub niezależnie na lewym i prawym; wybór opcji uzyskuje się poprzez przełączanie klawiszem TAB oraz klawiszem [1].

Wyświetlenie wybranych obszarów z rozdzielczością 1:1 na ekranie następuje po naciśnięciu lewego przycisku myszy lub klawisza ENTER.

Orientacja modelu

- Orientacja wewnętrzna:

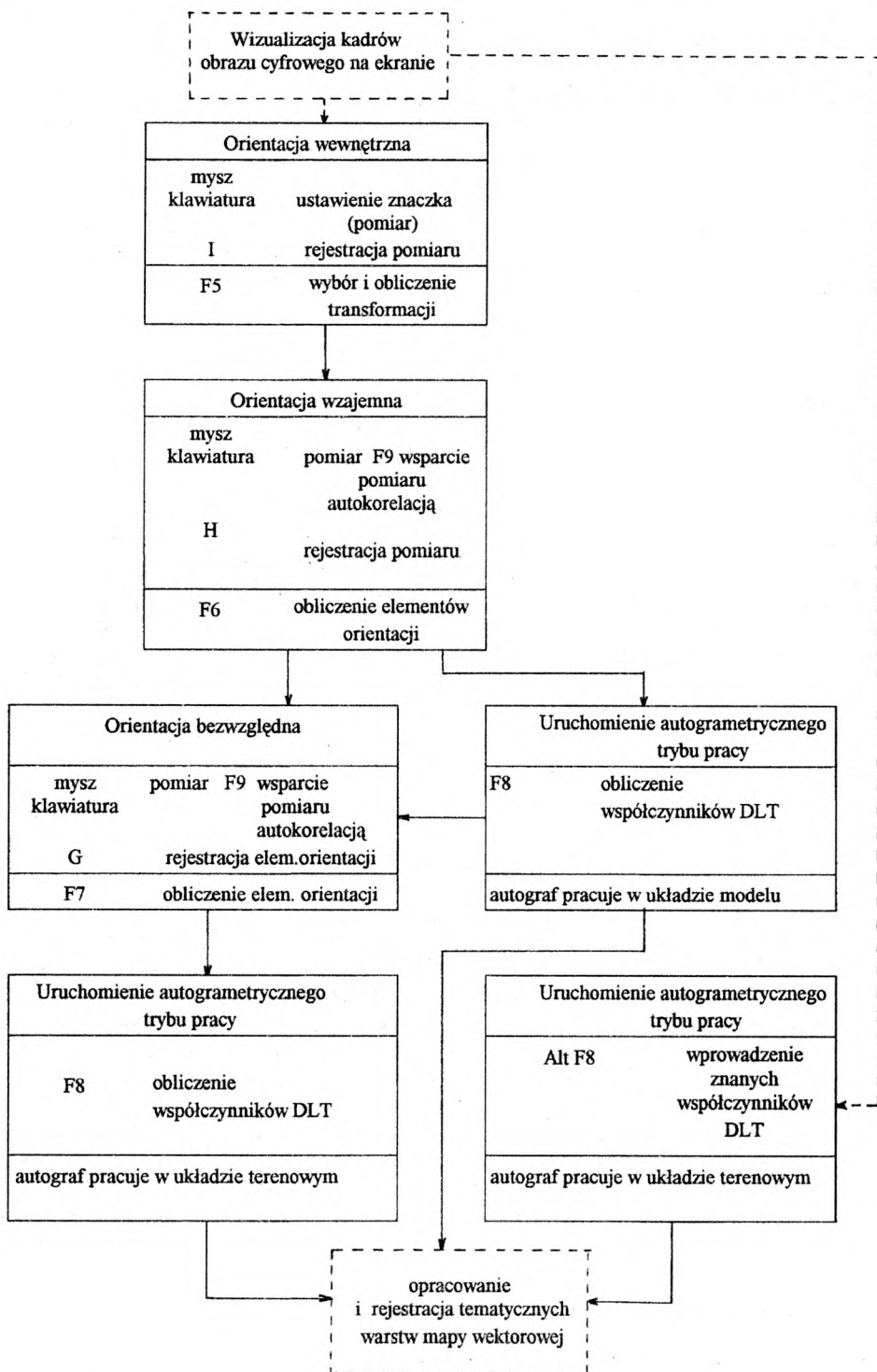
- pomiar 2 lub więcej znaczków tłowych i rejestracja klawiszem I (duże "i" jak Irena). Aby wykorzystać do obliczeń współrzędnych wyniki kalibracji z pliku *NazwaZadania.PKT* należy po wprowadzeniu numeru punktu nacisnąć klawisz INSERT.
- obliczenie współczynników transformacji [F5] (obliczenia mogą być wykonane bezpośrednio po zarejestrowaniu punktów lub po zakończeniu pomiarów dla orientacji wzajemnej i bezwzględnej)

- Orientacja wzajemna:

- pomiar 5 lub więcej punktów i zarejestrowanie ich [H] (pomiar punktu może być wykonany ze wsparciem autokorelacji [F9])
- obliczenie elementów orientacji wzajemnej [F6] z wprowadzeniem z klawiatury elementów orientacji wewnętrznej i ew. numerów i wartości współczynników dystorsji radialnej (nr 0,3,4,37,38 w/g klasyfikacji stosowanej w instrukcji programu ORIENT do wykorzystywania aero lub terotriangulacji) i/lub tangencjalnej (nr 0,5,6) z pliku *NazwaZadania.ADP*, patrz dokumentacja pakietu ORIENT.

- Orientacja bezwzględna (opcjonalna):

- pomiar 3 lub więcej punktów dostosowania (wszystkie punkty muszą posiadać współrzędne x,y,z)
W celu użycia współrzędnych zapisanych w pliku *NazwaZadania.PKT* należy po wprowadzeniu numeru punktu nacisnąć klawisz INSERT.
- obliczenie elementów orientacji bezwzględnej [F7]



Rys.2. Schemat operacyjny pomiarów i orientacji stereogramu na analitycznym autografie VSD

Pomiary związane z orientacją wewnętrzną lub wzajemną wykonywane są przy niezależnym sterowaniu każdym z kursorów lub w trybie stereokomparatorowym. W podobny sposób można wykonać pomiary dla orientacji bezwzględnej lub można uruchomić po orientacji wzajemnej tryb autogrametryczny uzyskując model wolny od paralaks poprzecznych w przestrzennym układzie tłowym lewego zdjęcia przez obliczenie współczynników równań DLT w układzie modelu [F8]. Po obliczeniu elementów orientacji bezwzględnej ponownie należy policzyć współczynniki równań DLT [F8] celem uruchomienia pracy przyrządu w trybie autogrametrycznym w bezwzględnym układzie współrzędnych.

Edycja mapy wektorowej.

Edycja mapy wektorowej odbywa się przez ustawianie kursora na kolejnych punktach rejestrowanej linii. Kolejne naciśnięcia klawisza [P] lub środkowego przycisku myszy powodują łączenie wybranych punktów linią łamaną. Kolor linii można wybrać spośród 7 jaskrawych barw. Zakończenie rejestracji linii łamanej odbywa się przy użyciu klawisza [K] (koniec), który rejestruje aktualne położenie znacznika jako koniec linii łamanej. Jeśli rejestruje się obwód zamknięty, to automatyczne zakończenie linii łamanej na punkcie wyjściowym odbywa się przez ustawienie znacznika w pobliżu punktu początkowego i naciśnięcie klawisza [D] (dołącz). Linię łamaną można też zakończyć przez wyznaczenie końca wektora prostopadłego do wektora już istniejącego; należy w takim przypadku znacznik mierzący ustawić w pobliżu istniejącego wektora do którego ma być wyznaczona linia prostopadła i nacisnąć przycisk [N] (normalna). Dla ułatwienia osadzenia znacznika na powierzchni modelu można korzystać z opcji autokorelacji, którą uruchamia się klawiszem [F9]. Linie krzywe, których kształtu nie chcemy aproksymować linią łamaną można rejestrować piksel po pikselu przez obwodzenie linii znacznikiem mierzącym. Umożliwia to opcja „trajektoria“ [T]. System zapewnia możliwość usuwania wektorów wskazanych kursorem ([U] - usuń). Usunąć można też końcowy fragment trajektorii przez wskazanie kursorem punktu od którego linia krzywa ma być usunięta (przyciski [TU]).

Wyświetlanie istniejącej mapy wektorowej na tle obrazów półtonalnych

Wywoływanie wcześniej przygotowanego pliku *.MAP lub *.ABS zawierającego linie mapy wektorowej w kolorach, które wcześniej im przypisano, odbywa się za pośrednictwem przycisku [E] i poprzez podanie nazwy pliku. Wyświetlana na ekranie mapa wektorowa może się zgadzać z obrazem półtonalnym w rzucie środkowym tylko w przypadku, gdy każdy punkt tej mapy dany jest trzema współrzędnymi. W przypadku gdy brak trzeciej współrzędnej w istniejących zbiorach, należy na modelu stereoskopowym pomierzyć punkty wysokościowe, które umożliwiają wyznaczenie brakujących wysokości przez interpolację na numerycznym modelu terenu (DTM) z wykorzystaniem np. programu SCOP lub SURFER. System VSD pozwala uzupełniać wyświetloną mapę wektorową lub usuwać jej fragmenty selektywnie, w ramach 7 warstw tematycznych równocześnie współistniejących na ekranie. Zapisanie ostatniej wersji mapy wektorowej w pliku dyskowym, pod dowolnie wybraną nazwą, może być wykonane w trakcie wychodzenia z programu po zakończeniu pracy.

3. Czynniki warunkujące dokładność opracowania

Dokładność opracowania uwarunkowana jest, podobnie jak w innych przypadkach opracowań fotogrametrycznych, geometrią stereogramu oraz precyzją opracowywanych błędów geor-

dystorsja lub skurcz równomierny, dystorsję - przez wprowadzenie współczynników równań dystorsji, skurcz - przez pomiar znaczków tłowych lub siatki reseau na etapie orientacji wewnętrznej i wyliczenia współczynników transformacji korygującej (operator może wybrać transformację Helmerta, afiniczną, biliniową lub rzutową). Poprzez transformację redukuje się również błędy geometrii skanowania, ale tylko w takim stopniu, w jakim powierzchnia błędów geometrii skanowania może być aproksymowana wybraną transformacją. Lepsze dopasowanie funkcji korygującej do występujących błędów obrazów cyfrowych można osiągnąć przez pomiar gęstszej sieci krzyży siatki reseau w procesie przygotowania stereogramu do opracowania. Badania wykazały, że w używanym przez nas skanerze UMAX UC1200SE należy się liczyć z błędami geometrii skanowania dochodzącymi do kilku pikseli w przypadku, gdy do korekcy stosuje się transformację opartą na czterech narożnych znaczkach tłowych.

Funkcje systemu umożliwiają odczytywanie pozycji kursora na obrazie z dokładnością jednego piksela ekranowego. Jeśli na ekranie wyświetlony jest obraz cyfrowy w n -krotnym powiększeniu, to piksel ekranowy odpowiada $1/n$ piksela oryginalnego. Odczytuje się więc współrzędne obrazowe z dokładnością podpikselową. Aby jednak podpikselowa dokładność odczytu mogła być efektywnie wykorzystywana, trzeba dysponować precyzyjnie zeskanowanym obrazem, co w opisywanym niżej doświadczeniu nie miało miejsca.

Innym czynnikiem warunkującym dokładność pomiaru jest ostrość i kontrastowość konturów na obrazie oryginalnym. Poprawienie tych parametrów już po zeskanowaniu, poprzez filtrowanie obrazu, daje głównie efekt wizualny ułatwiający percepcję szczegółów, nie zwiększając znacząco precyzji odtwarzania detali. Zwiększa się jednak dokładność identyfikacji wizualnej, szczególnie gdy mierzony detal ma kształt symetrycznego sygnału.

4. Testowanie dokładności opracowania mapy wektorowej ze zdjęć w skali 1:5300

W 1993 r. wykonano kamerą RC 20 Wilda w skali 1:5300 zdjęcia czarno-białe fragmentu terenu krakowskiej dzielnicy mieszkaniowej Nowa Huta. Jeden stereogram tych zdjęć posłużył do wstępnego testowania dokładności opracowania z wykorzystaniem VSD. Skanowanie zdjęć lotniczych wykonano w Zakładzie Fotogrametrii i Informatyki Teledetekcyjnej AGH skanerem UMAX przy rozdzielczości 1200 dpi, a następnie zredukowano rozdzielczość do 600 dpi z wykorzystaniem programu Adobe Photoshop. Tak więc testowe opracowanie wykonano na obrazach cyfrowych charakteryzujących się pikselem $\varnothing=43\mu\text{m}$, co odpowiada w terenie $\varnothing=0,23\text{m}$. Na naszym skanerze maksymalny format skanowania w świetle przechodzącym pozwala zarejestrować tylko 75% zdjęcia $23\times 23\text{ cm}$. Dlatego na zdjęciach przed skanowaniem, w narożach obszaru skanowanego, zaznaczono 2 krzyże, które stanowiły dodatkowe, pomocnicze znaczniki tłowe. Współrzędne tych dodatkowych znaczków tłowych pomierzono na Stecometrze wraz z czterema znaczkami tłowymi odfotografowanymi w kamerze. Ostateczne współrzędne dodatkowych znaczków tłowych określono poprzez transformację wyników pomiaru na stereokomparatorze do wzorcowego układu tłowego uzyskanego przez uśrednienie współrzędnych obrazów znaczków tłowych kamery pomierzonych na obu zdjęciach.

Na testowanym stereogramie wyznaczono z pomiaru na Stecometrze i z pomiaru na VSD 116 punktów, którymi były narożniki dachów rozmieszczone w grupach na powierzchni stereogramu.

Terenowe współrzędne punktów pomierzonych na stecometrze obliczono programem działającym na zasadzie niezależnych wiązek, opartym na algorytmie Schuta. Orientację bezwzględną oparto na tych samych punktach dostosowania, które wykorzystano przy orientacji modelu na VSD.

	transformacja Helmerta			transformacja afiniczna		
	m_x	m_y	m_p	m_x	m_y	m_p
zdz. lewe w mm	0.170	0.116	0.206	0.066	0.035	0.075
w pikselach	3.9	2.8	4.9	1.5	0.8	1.8
zdz. prawe w mm	0.192	0.120	0.226	0.055	0.009	0.055
w pikselach	4.5	2.8	5.3	1.3	0.2	1.3

Tab.1 Dokładność wpasowania czterech znaczków tłowych obrazu cyfrowego do znaczków tłowych zdjęć oryginalnych testowego stereogramu obiektu N.Huta

Opracowanie w VSD na etapie orientacji wewnętrznej wykazało błędy średnie wpasowania obrazów cyfrowych do układu tłowego na znaczkach tłowych podane w tabeli 1. Jak widać transformacja afiniczna znacznie poprawiła wpasowanie, ale błąd średni transformacji przekracza znacznie wymiar piksela ($m_p=1.4$ do 1.8 piksela). Jest tak, pomimo że znaczki tłowe mierzono przy 15 krotnym powiększeniu, a więc odczytywano współrzędne środka krzyży z dokładnością do $1/15$ piksela. Taka dokładność odczytu może być rzeczywiście osiągnięta przy pomiarze, bowiem mechanizm animacji wektora na ekranie, jakim dysponuje VSD, pozwala zaznaczyć wektory aproksymujące ramiona krzyża; umieszczenie kursora dokładnie w przecięciu wektorów może być bardzo precyzyjne. Niska dokładność transformacji może być wytłumaczona tylko błędami obrazu cyfrowego, powstałymi w procesie skanowania skanerem UMAX.

Orientację wzajemną wykonano na 6 standardowych punktach Grubera i uzyskano średnią wartość paralaksy szczątkowej $q_k=0.010\text{mm}$ co odpowiada $1/4$ piksela. Orientacja bezwzględna wykonana została na 4 punktach z błędem średnim $m_x=0.09\text{m}$, $m_y=0.17\text{m}$, $m_z=0.18\text{m}$, co w pikselach daje $m_x=0.4$, $m_y=0.7$, $m_z=0.8$ piksela. Zestawienie odchylek uzyskanych na punktach dostosowania po orientacji bezwzględnej na podstawie pomiaru wykonanego na Stecometrze i na VSD podaje tabela 2.

Nr punktu	Stecometr			VSD		
	dx	dy	dz	dx	dy	dz
OL	-	-	-	-1.328	-1.628	-0.279
OP	-	-	-	-1.539	-0.834	0.683
11	0.287	-0.084	-0.006	0.124	-0.018	-0.019
12	0.192	0.226	0.003	-0.085	0.111	0.011
13	-0.115	-0.022	-0.055	0.051	-0.276	0.258
14	0.023	-0.12	0.058	-0.09	0.183	-0.25
m_{sr}	0.179	0.135	0.04	0.091	0.174	0.179

Tab.2 Odchyłki na punktach dostosowania wyznaczone przy orientacji modelu budowanego ze zdjęć srebrzych (Stecometr) i obrazów cyfrowych (VSD). Podano również różnice współrzędnych środków rzutów wyznaczonych na VSD w stosunku do wzorcowej metody analitycznej (Stecometr)

Program sterujący pracą VSD w czasie rzeczywistym określa relacje między modelem a zdjęciami z wykorzystaniem równań DLT. Współczynniki tych równań wyznaczone są z wykorzystaniem zarówno punktów użytych do obliczenia orientacji bezwzględnej, jak i punktów mierzonych dla potrzeb orientacji wzajemnej. Błąd średni określenia tych punktów z DLT w porównaniu ze współrzędnymi określonymi w terenie i z modelu po orientacji bezwzględnej modelu wyniósł $m_x=0.3$, $m_y=0.5$, $m_z=0.5$ piksela.

Te bardzo dobre dokładności orientacji modelu nie są reprezentatywne dla dokładności opracowania. Świadczą dobrze o elastyczności procedur zastosowanych w VSD, które jednak mogą kompensować tylko jednorodne deformacje. Dobre dopasowanie modelu na małej grupie 4 punktów uzyskane zostało kosztem pozostałej powierzchni zdjęć. Poniżej podane porównanie współrzędnych 116 punktów wyznaczonych na modelu wprost ze zdjęć srebrowych i z uzyskanych na ich podstawie obrazów cyfrowych (tab.3) obarczone jest silnie niejednorodnością geometrii wprowadzoną do obrazów cyfrowych przez skaner UMAX. Wykonano 2 porównania.

Proste odjęcie współrzędnych analizowanych punktów, uzyskanych z obliczeń wykonanych w oparciu o pomiar zdjęć srebrowych na Stecometrze i uzyskanych z VSD na podstawie obrazów cyfrowych dało w wyniku błędy średnie $m_x=m_y=0.30m$, $m_z=0.82m$, co odpowiada $m_x=m_y=1.3$ piksela.

Równoczesna przestrzenna transformacja Helmerta 116 punktów określonych z obrazów cyfrowych na VSD na 116 punktów wyznaczonych ze zdjęć oryginalnych wykazała błędy średnie wpasowania $m_x=0.24m$, $m_y=0.22m$, $m_z=0.45m$ co odpowiada $m_x=m_z=1.0$ piksela.

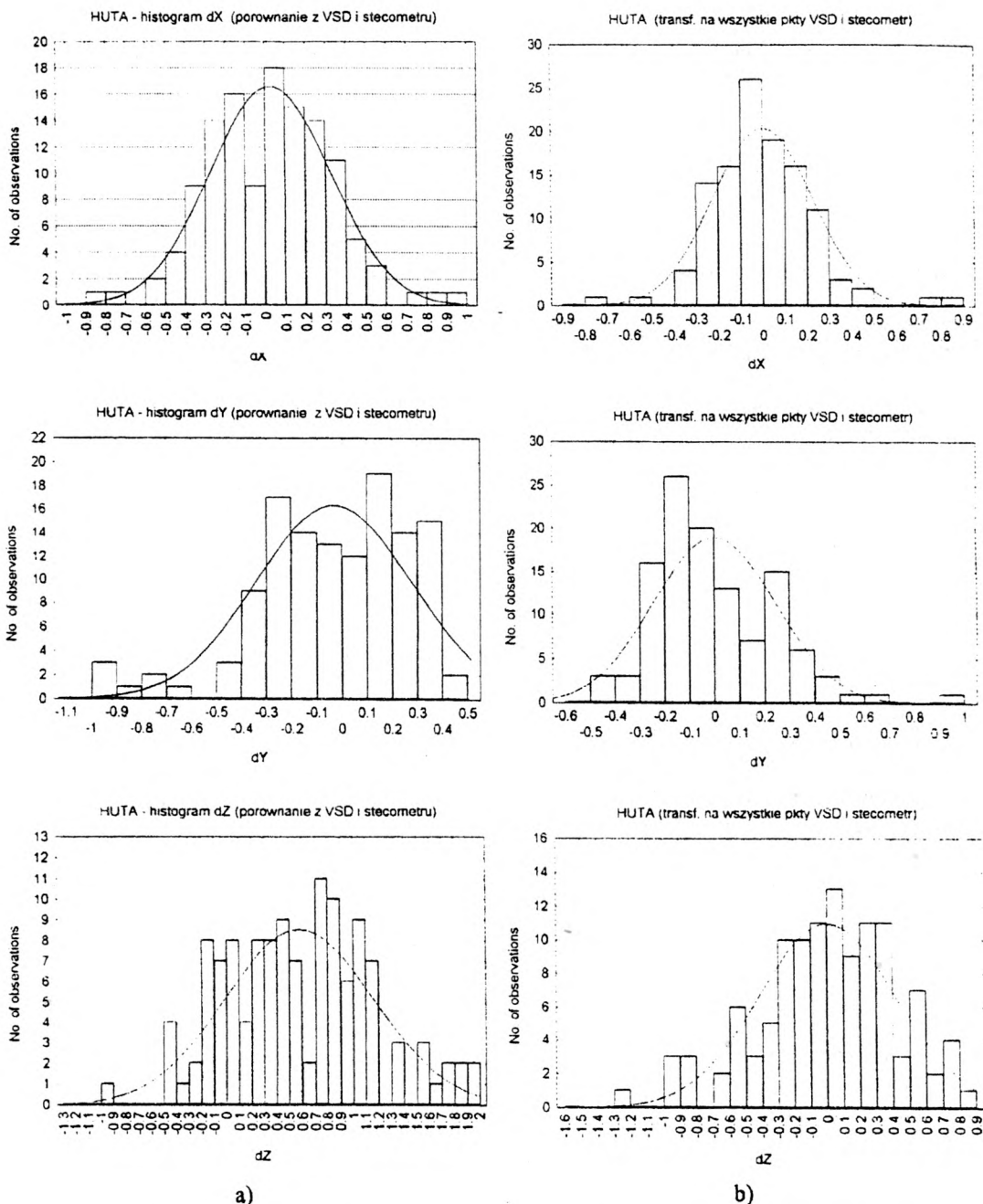
Skokowy pikselowy charakter pomiaru na VSD obrazują dobrze histogramy (np. 3).

Zakładając, że wartość $m_x=m_y=1.3$ piksela (co w terenie odpowiada $m_x=m_y=0.3m$) dobrze obrazuje średni błąd określenia punktu na naszym obrazie cyfrowym, przewidywany błąd średni wysokości możemy obliczyć, przy stosunku bazowym $c_k/b=1.6$, z zależności $m_H=0.3x\sqrt{2} \times 1.6=0.67m$. Znajduje to potwierdzenie w wynikach przeprowadzonej analizy, szczególnie po usunięciu przez równoczesną transformację trudnego do wytłumaczenia systematycznego błędu wysokości.

Można się spodziewać, że gdy wypracowana zostanie ostatecznie metoda korygowania błędów systematycznych skanowania, to dokładność opracowania stereogramów na VSD może wzrosnąć w stosunku znaczącym, szczególnie jeśli opracowywać się będzie zdjęcia o rozdzielczości 1200 dpi. Wyniki analizy zestawiono w tabeli 3.

	VSD - Stecometr				VSD - SIT			
	n	m_x	m_y	m_z	n	m_x	m_y	
Odchyłki obciążone błędem systematycznym	116	0.30 1.3	0.30 1.3	0.82 -	139	0.60 2.6	0.41 1.8	w metrach w pikselach
Błędy systematyczne	116	0.03 0	-0.02 0	0.57 -	139	-0.27 1.2	-0.03 0	w metrach w pikselach
Odchyłki wolne od błędów systematycznych	116	0.24 1.0	0.22 1.0	0.45 -	139	0.53 2.3	0.41 1.8	w metrach w pikselach

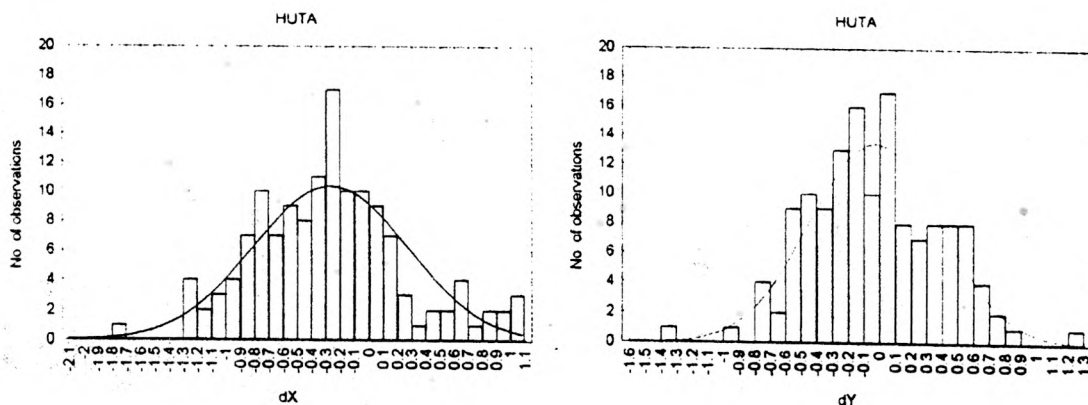
Tab.3. Porównanie wyników pomiaru VSD na modelu zbudowanym z obrazów cyfrowych z pomiarami wykonanymi na modelu zbudowanym analitycznie z oryginalnych zdjęć metrycznych 1:5300 (VSD - Stecometr) i z danymi geodezyjnymi zaczerpniętymi z warstwy tematycznej Systemu Informacji Terenowej (VSD - SIT)



Rys.3 Histogramy obrazujące rozkład odchyłek współrzędnych punktów określonych ze stereogramu zdjęć lotniczych metodą analityczną dwukrotnie : wprost ze zdjęć srebrowych (Stecometr) oraz na podstawie pomiaru obrazów cyfrowych uzyskanych na drodze skanowania i opracowanych na VSD. a) analiza odchyłek uzyskanych przez odjęcie badanych zbiorów współrzędnych, b) analiza odchyłek po wyrugowaniu czynnika systematycznego (zob. tabela 3). Obiekt Nowa Huta.

5. Porównanie mapy wektorowej opracowanej na VSD ze zdjęć metrycznych z mapą wykonaną metodami geodezyjnymi

W analizie tej, podobnie jak w analizie opisanej powyżej, posłużono się obrazami naroży budynków. Analizowaną już wcześniej grupę 116 punktów uzupełniono jeszcze dodatkowymi 23 punktami. Łącznie 139 naroży budynków pomierzono na stereogramie cyfrowym z wykorzystaniem VSD. Dzięki uprzejmości dyrektora Wydz. Geodezji i Gospodarki Gruntami Urzędu Wojewódzkiego w Krakowie dr inż. Kazimierza Bujakowskiego, Krakowski Ośrodek Dokumentacji Geodezyjno - Kartograficznej udostępnił nam numeryczną mapę wektorową z bazy danych SIT. Na tej mapie zidentyfikowano odpowiedniki 139 analizowanych punktów. Porównanie zbiorów przez odjęcie współrzędnych pozyskanych z mapy numerycznej od współrzędnych pomierzonych na VSD umożliwiło obliczenie błędu średniego, który wyniósł $m_x = 0.599\text{ m}$, $m_y = 0.412\text{ m}$. Okazało się jednak, że istnieje błąd systematyczny obu zbiorów wynoszący $dx = -0.270\text{ m}$, $dy = -0.033\text{ m}$; błąd systematyczny dx równy jest w przybliżeniu 1.2 piksela. Po uwzględnieniu czynników systematycznych błędy średnie z porównania zbiorów nieco zmalały: $m_x = 0.533\text{ m}$, $m_y = 0.412\text{ m}$, co w przeliczeniu na piksele wynosi $m_x = 2.3\text{ piksele}$, $m_y = 1.8\text{ piksele}$. Wyniki analizy zestawiono w tabeli 3 i na histogramach (rys.4) Dwukrotnie mniejszą zgodność sytuacyjną obrazów cyfrowych na VSD w porównaniu z numeryczną mapą miejską (SIT) niż zgodność z bezpośrednim opracowaniem analitycznym obrazów srebrowych można próbować wytłumaczyć. W pomiarach bezpośrednich (SIT) mierzono przyziemie budynków, zaś metodą fotogrametryczną (VSD i Stecometr) mierzono okapy dachów. Po wyrugowaniu systematycznych błędów odwzorowania (szczątkowa translacja układu) błąd położenia punktu w stosunku do SIT wynosi $m_p = 0.67\text{ m}$, gdy w stosunku do wzorcowej fotogrametrycznej metody analitycznej (Stecometr) $m_p = 0.32\text{ m}$.



rys.4 Histogramy odchylek wyznaczonych przez porównanie wyników pomiaru VSD na obrazach cyfrowych z zaczerpniętymi z SIT wynikami pomiarów. Obiekt Nowa Huta.

6. Ocena dokładności próbnego opracowania na VSD mapy wektorowej ze zdjęć lotniczych wykonanych aparatem fotograficznym Hasselblad

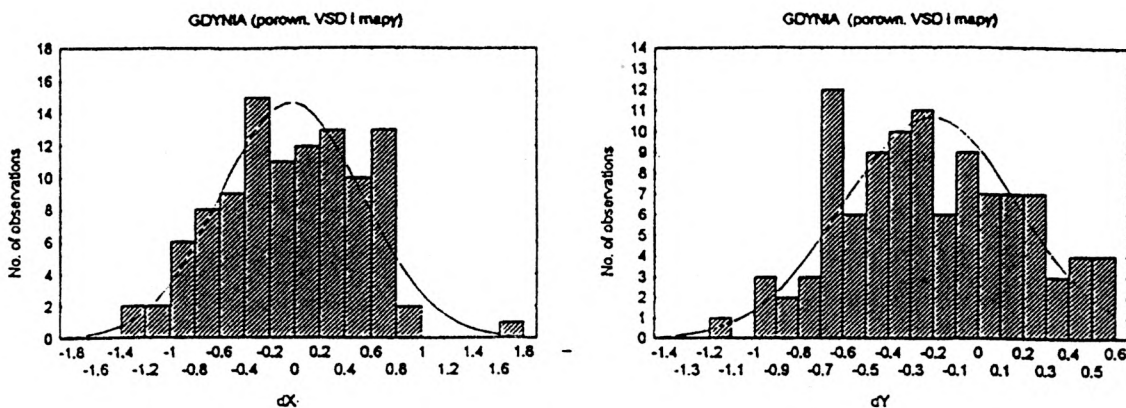
Dzięki uprzejmości dr Bogdana Szczechowskiego udostępniono nam barwny stereogram zdjęć lotniczych w skali 1:11700 terenu miasta Gdyni, wykonanych aparatem Hasselblad 60x60 mm, o ogniskowej 80 mm, oraz sytuacyjną mapę numeryczną fragmentu terenu objętego zdjęciami z bazy danych SIT.

Zdjęcia opracowano jak zdjęcia metryczne, w braku danych kalibracyjnych przyjęto przybliżoną wartość stałej kamery $c_x \sim 80$ mm i założono, że punkt główny znajduje się w środku kadru. Założenia takie uznano za dopuszczalne, bowiem teren objęty zdjęciami jest słabo ukształtowany wysokościowo, a opracowanie obejmowało tylko wyznaczenie współrzędnych sytuacyjnych.

Zdjęcia zeskanowano z rozdzielczością 1200 dpi, a następnie zredukowano rozdzielczość do 600 dpi. Orientacja wewnętrzna obrazów cyfrowych na VSD wykazała błędy średnie wpasowania obrazu cyfrowego do wymiarów kadru z wykorzystaniem transformacji afinicznej dla lewego obrazu $m_x = 0.032$ mm, $m_y = 0.015$ mm, a dla prawego obrazu $m_x = 0.087$ mm, $m_y = 0.035$ mm. W wyniku orientacji wzajemnej na 13 punktach uzyskano średnią wartość szcztątkowej paralaksy poprzecznej $q_x = 0.009$ mm. Orientacja bezwzględna na 7 punktach dostosowania wykazała średnie błędy wpasowania sytuacyjnego $m_x = 0.33$ m, $m_y = 0.25$ m (oraz błąd wysokościowy $m_z = 0.59$ m).

Na modelu cyfrowym pomierzono 104 narożniki domów (okapy) i porównano 104 ich współrzędne z mapą numeryczną SIT. Średnia kwadratowa wartość różnic współrzędnych wyniosła $m_x = 0.56$ m, $m_y = 0.44$ m, co należy uznać za błąd średni mapy opracowania na VSD w stosunku do mapy numerycznej SIT przyjętej za bezbłędną. Histogramy odchyłek zestawiono na rys.5.

Zważywszy, że skala zdjęć była około 1:11700, błędy sytuacyjne położenia punktu w odniesieniu do zdjęcia oryginalnego wyniosły $m_x = 0.048$ mm = 1.1 piksela, $m_y = 0.038$ mm = 0.9 piksela. Uzyskane wyniki dokładnościowe należy uznać za bardzo dobre, znacznie lepsze od dokładności zestawionych w tab.3 dla obiektu Nowa Huta.



Rys.5 Histogramy odchyłek współrzędnych naroży budynków uzyskanych z mapy numerycznej SIT (miasto Gdynia) wyznaczonych przy użyciu VSD z obrazów cyfrowych 600 dpi uzyskanych przez skanowanie zdjęć 60x60 mm (Hasselblad, $f=80$ mm, skala 1:11700).

Zakończenie

Eksperymentalne opracowanie fragmentu mapy wektorowej z wykorzystaniem zeskanowanych zdjęć lotniczych formatu 23x23 cm i 6x6 cm wykazało przydatność Video Stereo Digitizera do sporządzania tematycznych map numerycznych dla potrzeb SIT. Uzyskano dokładność opracowania w granicach jeden do dwu pikseli. Należy się spodziewać, że zastosowanie bardziej precyzyjnego skanera, niż będący w naszej dyspozycji UMAX UC1200SE spowoduje zmniejszenie błędów średnich opracowania. Poważne nadzieje wiązać można również z wynikami badań nad możliwością programowego poprawiania geometrii obrazów cyfrowych uzyskanych na drodze skanowania fotogramów, a także wstępnego doboru najważniejszych parametrów czytelności obrazów.

Zasada działania analitycznego autografu ekranowego VSD opiera się na identyfikacji pikseli, a nie na ich pomiarze. Wobec tego, że VSD nie ma własnych błędów geometrycznych (nie wymaga kalibracji), więc źródła błędów opracowania tkwią wyłącznie w analitycznych obrazach cyfrowych, w ich geometrii i czytelności. Interesujący ewenement, polegający na uzyskaniu mniejszych błędów sytuacyjnych opracowania zdjęć wykonanych aparatem Hasselblad (60x60mm, $f=80\text{mm}$, obiekt Gdynia) niż zdjęć wykonanych kamerą fotogrametryczną RC 20 (230x230 mm, $c_k=152\text{ mm}$, obiekt Nowa Huta) należy tłumaczyć tym, że dla mniejszego zdjęcia skaner daje obraz bardziej spójny geometrycznie, a błędy takiego obrazu dokładniej można opisać transformacją afiniczną. Dodać tu jeszcze należy, że mapa numeryczna SIT w naszym eksperymencie pokrywała tylko część obszaru stereogramu zarejestrowanego Hasselbladem, natomiast cały obszar stereogramu wykonanego RC 20, co dodatkowo zapewniało mniejszą zmienność geometrii obrazu cyfrowego stereogramu obiektu Gdynia.

Reasumując wyrażamy przekonanie, że zapoczątkowane niedawno w Polsce badania nad zakresem zastosowań i dokładnością analitycznych autografów cyfrowych dają interesujące rezultaty i należy je kontynuować.

Recenzował: dr inż. Andrzej Wróbel

prof.dr hab.inż. Józef Jachimski

dr inż. Adam Boroń

mgr inż. Janusz M. Zieliński

Wydział Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

al.Mickiewicza 30, paw.c-4, tel.338100, w.3826