

**BADANIE POTENCJAŁU POMIAROWEGO APARATU CYFROWEGO  
TYPU SLR KODAK DCS PRO 14N (13.5 MP)**

**EVALUATION OF THE MEASURING POTENTIAL OF KODAK DCS PRO 14N  
(13.5 MP) SLR DIGITAL CAMERA**

**Piotr Sawicki<sup>1</sup>, Bartosz Ostrowski<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Zakład Fotogrametrii i Teledetekcji, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

<sup>2</sup>Instytut Elektroniki, Politechnika Łódzka

SŁOWA KLUCZOWE: lustrzanka cyfrowa, dystorsja sygnału, samokalibracja, metoda wiązek

STRESZCZENIE: Badanie jakości radiometrycznej sygnału i samokalibrację fotogrametryczną przeprowadzono dla lustrzanki cyfrowej Kodak DCS Pro 14n wyposażonej w sensor CMOS (format 36×24 mm, rozdzielczość 4500×3000). Ocenę poziomu szumów i dystorsji sygnału przetwornika CMOS IBIS4-14000 (FillFactory NV, Belgia) wykonano w autorskim programie "Image Analysis" napisanym w języku Delphi 7. Program oblicza średnią wartość poziomu szarości, wariancję oraz odchylenie standardowe dla każdego piksela w zdefiniowanych obszarach zainteresowania sekwencji obrazów. Na podstawie analizy sekwencji 30 obrazów stwierdzono, że obrazy rejestrowane aparatem Kodak DCS Pro 14n charakteryzują się niskim poziomem szumów i wysoką jakością układu przetwarzającego dane. Dla jasności I średnie odchylenie standardowe wyniosło  $S_{dtDev} = 1.5$  (kanał R:  $S_{dtDev} = 1.7$ , kanał G:  $S_{dtDev} = 1.6$ , kanał B:  $S_{dtDev} = 2.1$ ). Samokalibrację *on-the-job* z dodatkowymi parametrami modelującymi błędy systematyczne obrazu:  $A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2$ , łącznie z wyznaczeniem współrzędnych 3D dla ca 110 sygnalizowanych punktów (30 punktów kodowanych, kod 12 bit) pola testowego, przeprowadzono programem AICON 3D Studio firmy AICON Systems GmbH, Niemcy. Sieć zdjęć tworzyła konfiguracja 11 zdjęć zbieżnych wykonanych z odległości ca  $Y_F = 5$  m. Wszystkie punkty na zdjęciach cyfrowych zostały pomierzone w pełni automatycznie. Średnia wartość Sigma 0 po wyrównaniu metodą wiązek wyniosła  $\sigma_0 = \pm 0.055$  piksela. Podstawowe elementy orientacji wewnętrznej:  $c_K, x'_0, y'_0$  wyznaczone zostały z dokładnością  $\pm 0.2$  piksela. Średnie odchylenie standardowe wyznaczonych współrzędnych wyniosły odpowiednio:  $S_{XY} = \pm 0.03$  mm,  $S_Z = \pm 0.04$  mm. W prezentowanej aplikacji bliskiego zasięgu przy zastosowaniu profesjonalnej lustrzanki cyfrowej Kodak DCS Pro 14n otrzymano względną dokładność opracowania analitycznego rzędu ca 1: 150 000.

## 1. WSTĘP

Cyfrowe sensory optyczno-elektroniczne są podstawowym elementem *hardware* fotogrametrycznych systemów pomiarowych bliskiego zasięgu typu *on-line* i *off-line*. W zależności od rodzaju i dokładności pomiaru stosowane są różne typy wizyjnych sensorów cyfrowych *solid state*. W grupie sensorów z cyfrowym sygnałem na wyjściu klasyfikowane są fotograficzne aparaty cyfrowe typu *still video* (Sawicki, 2006a), które

wyposażone są we własne źródło zasilania, moduł sterowania oraz wewnętrzną kartę pamięci. Ze względu na budowę i parametry techniczne, aparaty cyfrowe można sklasyfikować na następujące trzy typy:

1. Standardowe aparaty cyfrowe typu *compact*.
2. Cyfrowe aparaty hybrydowe typu Prosumer (*Professional and Consumer*).
3. Lustrzanki cyfrowe typu DSLR (*Digital Single-Lens Reflex Camera*).

Jednoobiektywowe lustrzanki cyfrowe SLR (*Single Lens-Reflex Camera*), są przeznaczone do fotografii amatorskiej i profesjonalnej. Są to konstrukcje oparte na korpusie lustrzanek analogowych, co umożliwia zastosowanie formatów typu *High-End* i wysokorozdzielczych (obecnie max. 39 mln pikseli) przetworników cyfrowych wykonanych w technologii CCD lub CMOS. Aparaty SLR charakteryzują wymienne obiektywy, manualny i automatyczny tryb ustawień parametrów ekspozycji, wewnętrzne wymienne karty pamięci o dużej pojemności (max. 8 GB), możliwość zapisu danych w różnych formatach, bogate wyposażenie dodatkowe i duży komfort użytkowania. Podłączenie do komputera za pomocą jednego z typu interfejsów: SCSI, PCMCIA, USB i ostatnio standardowo IEEE 1394 (*FireWire*), pozwala na bezpośrednią rejestrację obrazów w trybie *on-line*.

Współczesne aparaty cyfrowe typu SLR traktowane są w fotogrametrii bliskiego zasięgu jako niemetryczne kamery cyfrowe. Pomimo tego, są od kilkunastu lat z powodzeniem stosowane jako sensory wizyjne w różnorodnych systemach pomiarowych, działających przede wszystkim w konfiguracji *off-line*.

Ze względu na coraz większą rozdzielczość sensorów oraz wzrastający stopień zaawansowania technicznego nowych konstrukcji aparatów cyfrowych, ciągle aktualnym zagadnieniem pozostaje badanie ich potencjału pomiarowego w aplikacjach bliskiego zasięgu (Sawicki, 2003), przede wszystkim w inwentaryzacji inżynierskiej (*reverse engineering*), architektonicznej, diagnostyce technicznej i medycznej, itd.

Prezentowane poniżej wyniki badań profesjonalnej, wysokorozdzielczej lustrzanki cyfrowej Kodak DCS Pro 14n dotyczyły określenia dystorsji sygnału cyfrowego, parametrów kalibracji oraz dokładności punktowego opracowania w bliskim zasięgu.

## 2. CHARAKTERYSTYKA APARATU CYFROWEGO KODAK DCS PRO 14N

Profesjonalny aparat cyfrowy SLR Kodak DCS Pro 14n został wprowadzony do sprzedaży w Polsce pod koniec 2003 r. w cenie 28 tys. zł (korpus aparatu, bez obiektywu). Był to pierwszy na świecie aparat typu SLR, wyposażony w sensor CMOS typu *High-End*, odpowiadający formatem filmowi 135. Kodak DCS Pro 14n charakteryzują następujące parametry techniczne i użytkowe, szczególnie istotne z fotogrametrycznego punktu widzenia:

- Przetwornik: CMOS IBIS4-14000 firmy "FillFactory NV", Mechelen Belgia.
- Aktywny obszar przetwornika: 36×24 mm.
- Liczba pikseli: całkowita 4560×3048 (13.9 mln), aktywna 4536×3024 (13.7 mln), rejestrująca obraz 4500×3000 (13.5 mln).
- Piksel przetwornika: 7.9×7.9 μm.
- Czułość ISO przetwornika: ISO 80÷400 (rozdzielczość 4500×3000), ISO 80÷800 (niższe rozdzielczości).

- Szybkość migawki: 1/2÷1/4000 s.
- Auto Focus: TTL z detekcją fazy (Nikon Multi-CAM900 *Module*, zakres czułości dla ISO 100: -1÷19 EV).
- Ogniskowanie: jednorazowe (*Single AF*), ciągłe (*Continous AF*), ręczne (MF).
- Tryby naświetlania: program AE - priorytet migawki, priorytet przysłony, AE - ręczny.
- Tryby pracy: zdjęcia pojedyncze, zdjęcia seryjne (1.7 klatki/s÷7 klatek w serii), ze zwłoką czasową (*self-timer*).
- Obiektyw Sigma: f = 28 mm, f1.8, EX DG *Aspherical Macro*, szerokokątny.
- Przysłona: min. 1.8, max. 22.
- Ogniskowanie (*dual focus*): AF, MF.
- Format zapisu danych: preferowany Kodak DCR (RAW) - 12 bit/piksel, dodatkowy format ERI-JPEG (3 poziomy kompresji, 4 rozdzielczości), TIFF (tryb 24 bit - 41 MB, tryb 48 bit - 82 MB), karty pamięci: Compact Flash Typ I i II (IBM Microdrive) - max. 3GB, karty MMC/SD.
- Komunikacja z komputerem: interfejs IEEE1394 (*Firewire*) 400Mbps (12MB/s), port szeregowy, wyjście video, złącze Nikon 10 pin.
- Wymiary korpusu: 131×158×89 mm.
- Masa: korpus aparatu - 907 g, obiektyw - 480 g.

### 3. PROGRAM "IMAGE ANALYSIS"

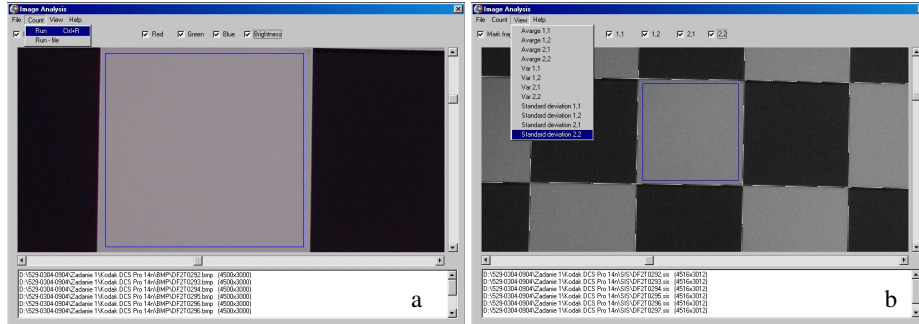
Program o nazwie "Image Analysis" (Rys. 1a) i jego opcja "Image Analysis\_SIS" (Rys. 1b) (Sawicki, 2006b), które napisano w języku programowania Delphi 7, umożliwiają badanie jakości zróżnicowania odpowiedzi sensora wizyjnego w czasie na zadane wymuszenia. Program "Image Analysis" służy do analizy w czterech kanałach: R, G, B, I cech sygnału na obrazach zapisanych w formacie BMP. Wartości w kanale jasności I obliczane są wg rekomendacji (1): Standard Rec 601-1:

$$(1) \quad I=0.299\cdot R + 0.587\cdot G + 0.114\cdot B$$

Do obsługi pierwotnych danych cyfrowych, które zapisywane są bez filtracji maską Bayera w formacie DCR (typ RAW) firmy Kodak stworzono nowy format SIS. Program "Image Analysis\_SIS" analizuje dane w kanałach G, R, G, B. Oba programy umożliwiają badanie w sekwencji obrazów odpowiadających sobie położeniem pikseli w zdefiniowanych obszarach zainteresowania. Dla każdego piksela obliczona jest średnia wartość poziomu szarości (*Average*), wariancja (*Variance*) oraz odchylenie standardowe (*Standard Deviation*). Warunkiem prawidłowości wykonywanych badań jest zachowanie podczas rejestracji serii zdjęć stabilności orientacji wewnętrznej i zewnętrznej kamery oraz warunków oświetlenia. Poza tym sensor cyfrowy kamery musi być rozgrzany do temperatury roboczej.

Program "Image Analysis" automatycznie rozpoznaje rozdzielczość badanych serii obrazów podczas importu plików do analizy i w razie niezgodności informuje o tym użytkownika. W dolnej części głównego okna programu użytkownik ma możliwość sprawdzenia nazw plików, które należą do badanej serii obrazów. Program umożliwia na kolejnych obrazach badanie wszystkich odpowiadających sobie położeniem pikseli lub

tylko pikseli w zdefiniowanym przez użytkownika obszarze zainteresowania. W tym przypadku fragment obrazu musi zostać zdefiniowany przez użytkownika i zaznaczony niebieskim konturem.

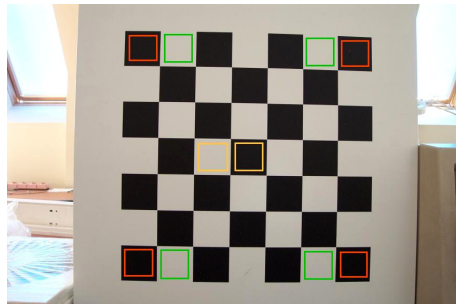


Rys. 1. Okno główne programów "Image Analysis" i "Image Analysis\_SIS"

Wyniki obliczeń dla każdego piksela oraz wartości średnie dla całego badanego obszaru zapisywane są w oddzielnych plikach tekstowych, do których program dodaje rozszerzenie odpowiednio: \_red.txt, \_green.txt, \_blue.txt, \_brightness.txt. Graficzna reprezentacja wartości średniej, wariancji oraz odchylenia standardowego dla badanych czterech kanałów możliwa jest w opcji "View".

#### 4. BADANIE DYSTORSJI SYGNAŁU PRZETWORNIKA CMOS IBIS4-14000

Badanie i analizę cech sygnału cyfrowego wykonano na podstawie sekwencji 30 zdjęć z zarejestrowanym polem testowym w formie czarno-białej szachownicy (Rys. 2), równomiernie oświetlonej światłem naturalnym. Podczas rejestracji sensor CMOS lustrzanki Kodak DCS Pro 14n był rozgrzany do temperatury roboczej a dla aparatu zachowano niezmiennie parametry orientacji wewnętrznej i zewnętrznej. Na obrazach wydzielono do analiz ogółem 10 obszarów badań.

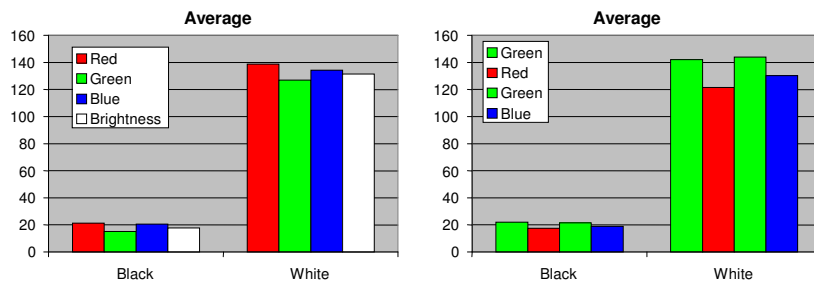


Rys. 2. Obraz cyfrowy – pole testowe i zdefiniowane obszary zainteresowań

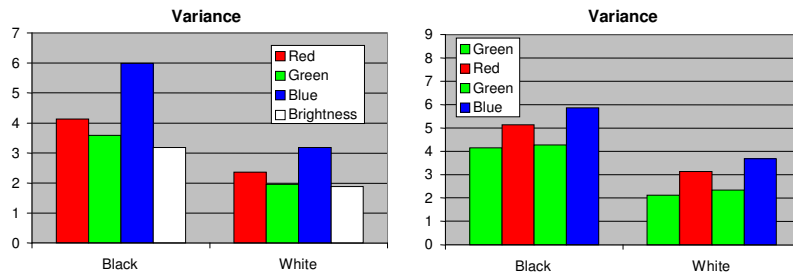
Wyniki analiz przedstawiono w tabeli 1 oraz na rysunkach 3 ÷ 5.

Tab. 1. Wyniki badania dystorsji sygnału lustrzanki Kodak DCS Pro 14n

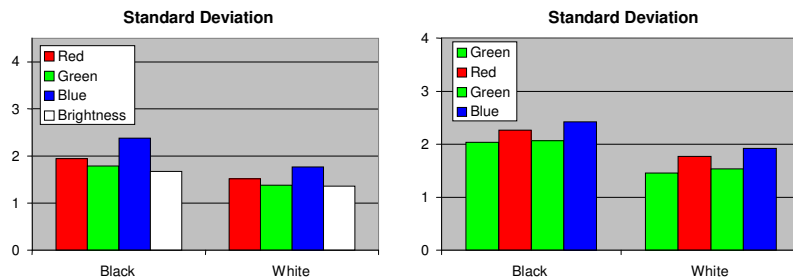
Średnie jasności pikseli w badanych obszarach								
Obszar	R	G	B	I	G	R	G	B
Ciemny	21.09	15.32	20.42	17.62	22.04	17.49	21.54	18.94
Jasny	138.81	126.88	134.20	131.28	142.08	121.32	143.84	130.17
Wariancje jasności pikseli								
Obszar	R	G	B	I	G	R	G	B
Ciemny	4.13	3.59	5.99	3.19	4.15	5.13	4.27	5.87
Jasny	2.37	1.96	3.19	1.89	2.12	3.14	2.34	3.69
Odchylenia standardowe jasności pikseli								
Obszar	R	G	B	I	G	R	G	B
Ciemny	1.94	1.79	2.38	1.67	2.04	2.26	2.07	2.42
Jasny	1.52	1.38	1.77	1.36	1.46	1.77	1.53	1.92



Rys. 3. Średnie jasności pikseli w badanych polach ciemnych i jasnych



Rys. 4. Wariancje jasności pikseli w badanych obszarach



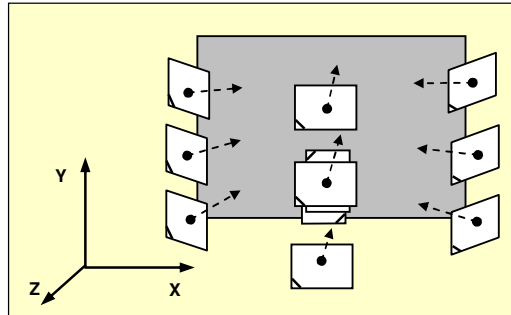
Rys. 5. Odchylenia standardowe jasności pikseli w badanych obszarach

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski dotyczące jakości sygnału cyfrowego generowanego przez sensor CMOS IBIS4-14000:

- Średnie wartości poziomów szarości w poszczególnych kanałach R, G, B dla obszarów ciemnych i jasnych są zbliżone do siebie (Tab. 1, Rys. 3), co świadczy o wysokiej jakości układu przetwarzającego.
- Mniejsze kwantum generowanej energii przez obszary ciemne w stosunku do obszarów jasnych powoduje w poszczególnych kanałach R, G, B zwiększenie o ca 80 % wartość wariancji Var oraz o ca 30 % odchylenie standardowe StdDev; dla jasności wartości Var oraz StdDev wzrastają odpowiednio o ca 70 % i 20 %.
- Max. wartości Var i StdDev we wszystkich badanych obszarach występują w kanale B (ciemne pola: Var = 6.0, StdDev = 2.4 oraz jasne pola: Var = 3.2, StdDev = 1.8) (Tab. 1, Rys. 4, Rys. 5), co wynika z niskiej czułości sensora CMOS dla długości fali ok. 400 nm oraz charakterystyki widmowej filtra Bayera.
- Min. wartości Var i StdDev we wszystkich badanych obszarach występują w kanale G, (ciemne pola: Var = 3.6, StdDev = 1.8 oraz jasne pola: Var = 1.95, StdDev = 1.4), co jest spowodowane najwyższą czułością sensora w zakresie fal o długościach 500÷600 nm oraz charakterystyką filtra Bayera (składowa G przenosi dwukrotnie więcej informacji w porównaniu z kanałami R i B); rozkład szumów zgodny jest ze stosunkiem kolorów 1:2:1, jaki występuje w interpolacji Bayera.
- Wartości StdDev mają podobne wartości w każdym z badanych ciemnych oraz jasnych obszarów zainteresowań, niezależnie od ich położenia na obrazie.
- Wartości Var i StdDev interpolowanych poziomów szarości w kanałach R, G, B w wyniku generowania obrazu bitmapy są nieznacznie mniejsze w stosunku do wartości otrzymanych z "surowych" danych w kanałach G, R, G, B zapisanych w formacie SIS (RAW); wynika to z interpolacji danych w składowych G, R, G, B z detektora (format SIS) podczas tworzenia bitmapy.
- W stosunku do innych przebadanych kompaktowych aparatów cyfrowych, np. Kodak DC4800 (rozdzielczość 2160×1440; 3.2 MP), Sony CyberShot DCS-W17 (3072×2304; 7 MP), wartość szumów (wariancji) jest 2÷3 krotnie mniejsza.
- Obrazy rejestrowane lustrzanką cyfrową Kodak DCS Pro 14n charakteryzują się niskim poziomem szumów i wysoką jakością układu przetwarzającego dane; w kanale jasności I średnie odchylenie standardowe wyniosło SdtDev = 1.5 jasności piksela (kanał R: SdtDev = 1.7, kanał G: SdtDev = 1.6, kanał B: SdtDev = 2.1).
- Wysoka jakość generowanego obrazu wynika przede wszystkim z konstrukcji matrycy CMOS, którą charakteryzuje w porównaniu do sensorów typu CCD znacznie niższy poziom szumów.

## 5. SAMOKALIBRACJA *ON-THE-JOB* W APLIKACJI BLISKIEGO ZASIĘGU

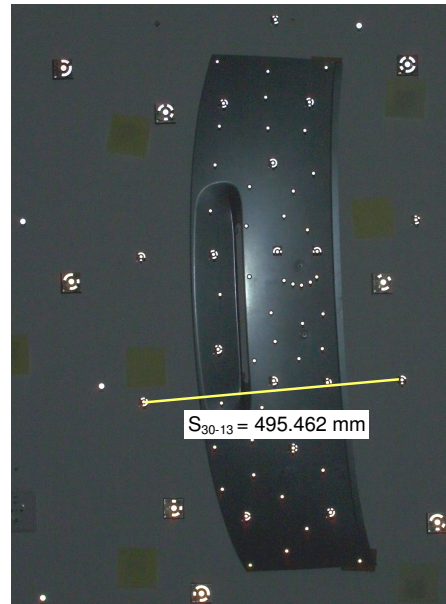
Samokalibrację równoczesną (*on-the-job*) aparatu Kodak DCS Pro 14n połączoną z wyznaczeniem współrzędnych 3D punktów obiektu, wykonano programem AICON 3D Studio firmy AICON Systems GmbH (AICON, 2007) na podstawie zdjęć pola testowego Instytutu Fotogrametrii i Teledetekcji Uniwersytetu Technicznego w Dreźnie.



Rys. 6. Konfiguracja sieci zdjęć cyfrowych

Tab. 2. Parametry rejestracji

Kodak DCS Pro 14n	
Rozdzielczość obrazu	4500 × 3000
Wymiar piksela $p'_H \times p'_V$	7.9 × 7.9 $\mu\text{m}$
Format obrazu	36 × 24 mm
Ogniskowa $f$	~ 28 mm
Format zapisu obrazu	JPEG
Obiektyw	SIGMA
Przysłona	22
Migawka	$t = 1/125 \text{ s}$
Lampa błyskowa	Korekcja: -2
Ogniskowanie	MF: ~ 5 m
$Y_F$	~ 5 m
1: $M_Z$	~ 1: 180
Stosunek bazowy $v = B/Y_F$	1/1 ÷ 1/2
Wielkość piksela w terenie	~ 1.5 mm
Zakres fotografowania H×V	~ 6.45 × 4.3 m



Rys. 7. Badany element karoserii z punktami pomiarowymi (fragment zdjęcia)

Pole testowe (Rys. 6) tworzyło ogółem ca 110 sygnalizowanych punktów (Rys. 7), w tym 30 punktów kodowanych (kod 12 bit), rozmieszczonych na ścianie i badanym elemencie karoserii samochodowej (pokrywa bagażnika samochodu marki Porsche). Dla badanego elementu, w kolejnych epokach, wyznaczano deformację spowodowaną zewnętrznym naciskiem. Pole testowe nie posiadało typowych fotopunktów o współrzędnych 3D wyznaczonych na podstawie pomiarów geodezyjnych.

W programie AICON 3D Studio zaimplementowany został 10. parametrowy model kalibracji oraz aproksymacji błędów systematycznych stosowany aktualnie standardowo dla niemetrycznych kamer i aparatów cyfrowych (Luhmann, 2003). Program

AICON 3D Studio umożliwia orientację zdjęć (translacja i obrót) do układu współrzędnych obiektu za pomocą min. 5 punktów kodowanych o znanych, przybliżonych współrzędnych, wyznaczonych z dokładnością ca 0.1 m. Do określenia skali układu wystarcza jeden znany odcinek skalowy. W badaniach przyjęto niezależnie pomierzoną odległość między dwoma kodowanymi punktami  $S_{13-30} = 495.462$  mm.

Sieć zdjęć do rozwiązania terratriangulacji tworzyła konfiguracja 11 zdjęć zbieżnych (Rys. 6), w tym na stanowisku centralnym zdjęcia były obrócone w lewo i prawo o kąt ca 100 grad, przy wypełnieniu kadru obrazu wszystkimi punktami pomiarowymi. Rejestrację pola testowego wykonano z odległości ca  $Y_F = 5$  m, stosując w kolejnych, powtarzalnych seriach pomiarowych niezależne ustawienie ogniskowania obiektywu. Parametry rejestracji dla wykonanej aplikacji bliskiego zasięgu przedstawia tabela 2. Pomiar wszystkich punktów na zdjęciach cyfrowych został wykonany w systemie AICON 3D Studio w pełni automatycznie, bez udziału operatora.

Kombinowane wyrównanie metodą wiązek z dodatkowymi obserwacjami oraz parametrami modelującymi błędy systematyczne obrazu prowadziło do wyznaczenia następujących niewiadomych:

- elementy orientacji wewnętrznej:  $c_K, x'_o, y'_o, A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2, (A_3 = 0)$
- elementy orientacji zewnętrznej zdjęć:  $X_{0i}, Y_{0i}, Z_{0i}, \omega_i, \phi_i, \kappa_i$  współrzędne przestrzenne wyznaczanych punktów:  $X_n, Y_n, Z_n$

Wyniki wyrównania analizowano na podstawie następujących miar i parametrów oceny dokładności:

- test *data-snooping*
- wartość Sigma 0:  $s_0$
- macierz korelacji dla wyznaczonych parametrów dodatkowych
- odchylenia standardowe wyznaczonych parametrów kalibracji:  
 $s_{c_K}, s_{x'_o}, s_{y'_o}, s_{A_1}, s_{A_2}, s_{B_1}, s_{B_2}, s_{C_1}, s_{C_2}$
- odchylenia standardowe współrzędnych X, Y, Z dla wyznaczonych punktów:  
 $s_{X_n}, s_{Y_n}, s_{Z_n}$  oraz dodatkowo obliczone ich średnie wartości:  $s_X, s_Y, s_Z$

W wyniku niezależnego wyrównania sieci zdjęć metodą wiązek połączonego z kalibracją równoczesną *on-the-job* lustrzanki cyfrowej Kodak DCS Pro 14n otrzymano w kolejnych epokach pomiarowych następujące dokładności:

1. Średnia wartość sigma 0 po wyrównaniu wyniosła  $\sigma_0 = \pm 0.055$  wymiaru piksela
2. Podstawowe elementy orientacji wewnętrznej:  $c_K, x'_o, y'_o$  wyznaczone zostały z dokładnością  $\pm 0.2$  piksela (Rys. 8).
3. Średnie wartości różnic wyznaczenia podstawowych elementów orientacji wewnętrznej  $c_K, x'_o, y'_o$  przy niezależnym ogniskowaniu obiektywu w kolejnych epokach pomiarowych wyniosły:  $\Delta c_K = 2$  piksele,  $\Delta x'_o = \Delta y'_o = 1$  piksel (Rys. 8).
4. Odchylenia standardowe wyznaczonych współrzędnych wyniosły odpowiednio:  $S_{XY} = \pm 0.03$  mm,  $S_Z = \pm 0.04$  mm.
5. Średnia wartość różnic długości analizowanych odcinków, obliczonych na podstawie wyznaczonych w kolejnych seriach pomiarowych współrzędnych fotogrametrycznych, wyniosła  $\Delta s = \pm 0.02$  mm.



```

Start of bundle adjustment: Fr 25.05.2007 11:09:49
S0:      0.000436      (S0 apriori: 0.001)
norm: 0.000001
Number of observations      : 2227
Number of unknowns        : 414
Redundancy                 : 1813
Testvalue for blundertest  : 4.230221
Current testvalue          : 4.230221
*** Interior orientations ***
Camera/R0:
Ck      :      1      13.5
      Ck      :      -26.8215      0.00163538
      Xh      :      0.120884      0.00174618
      Yh      :      -0.0215744      0.00173888
      A1      :      -0.000116611      3.26954e-007
      A2      :      2.01735e-007      6.54392e-010
      A3      :      0      fix
      B1      :      2.95758e-006      5.59382e-007
      B2      :      -3.57567e-006      5.44367e-007
      C1      :      2.69376e-005      6.37729e-006
      C2      :      -5.83173e-006      6.12833e-006
Start of bundle adjustment: Fr 25.05.2007 13:18:29
S0:      0.000432      (S0 apriori: 0.001)
Camera/R0:
Ck      :      1      13.5
      Ck      :      -26.8068      0.00138608
      Xh      :      0.11286      0.00175658
      Yh      :      -0.0319284      0.00171030
      A1      :      -0.000117689      2.9914e-007
      A2      :      2.04152e-007      7.18721e-010
      A3      :      0      fix
      B1      :      4.43431e-006      5.70898e-007
      B2      :      -2.5318e-006      5.55367e-007
      C1      :      2.28804e-005      6.59271e-006
      C2      :      -3.3884e-005      6.28758e-006
      ΔCK = 0.0147 => 2 pxl
      Δx'o = 0.0080 => 1 pxl
      Δy'o = 0.0104 => 1 pxl
    
```

Rys. 8. Fragmenty protokołów programu AICON 3D Studio z wynikami kalibracji

## 6. PODSUMOWANIE

Obrazy rejestrowane profesjonalną lustrzanką cyfrową Kodak DCS Pro 14n wyposażoną w sensor CMOS (format 36×24 mm, efektywna rozdzielczość 4500×3000) charakteryzują się niskim poziomem szumów i wysoką jakością układu przetwarzającego dane. Na podstawie badań sekwencji 30 obrazów otrzymano w kanale jasności I średnie odchylenie standardowe  $SdtDev = 1.5$  jasności piksela. W kanałach R, G, B rozkład szumów był w przybliżeniu zgodny z czułością detektora CMOS IBIS4-14000 oraz przede wszystkim z charakterystyką filtru Bayera (stosunek kolorów R:G:B wynosi ca 1:2:1).

Występowanie szumów i brak stabilności jasności pikseli w odpowiedzi sensora cyfrowego mogą mieć znaczący wpływ na wynik automatycznego pomiaru przy zastosowaniu niektórych metod korelacji obrazów (*matching*).

W prezentowanej aplikacji bliskiego zasięgu (badanie deformacji elementu karoserii samochodowej) przy zastosowaniu lustrzanki cyfrowej Kodak DCS Pro 14n oraz fotogrametrycznego programu AICON 3D Studio otrzymano w wyniku wyrównania metodą wiązek, połączonego z samokalibracją równoczesną *on-the-job* względną dokładność opracowania analitycznego rzędu ca 1: 150 000. Podstawowe elementy orientacji wewnętrznej:  $c_K, x'_0, y'_0$  wyznaczone zostały z dokładnością  $\pm 0.2$  piksela.

## 7. LITERATURA

AICON, 2007. <http://www.aicon.de>

Luhmann T., 2003. *Nahbereichsphotogrammetrie - Grundlagen, Methoden und Anwendungen*. Wichman Verlag, Heidelberg.

Sawicki P., 2003. Kalibracja równoczesna aparatu cyfrowego Kodak DC4800 w procesie fotogrametrycznego pomiaru punktów w bliskim zasięgu. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 13, s. 457-466.

Sawicki P., 2006a. Współczesne cyfrowe sensory wizyjne w fotogrametrii bliskiego zasięgu. *Geodezja - Półrocznik AGH w Krakowie*, Tom 12, Zeszyt 2/1, s. 397-406.

Sawicki P., 2006b. Opracowanie zaawansowanych technik przetwarzania multisensorycznych obrazów cyfrowych dla fotogrametrycznych aplikacji bliskiego zasięgu. Raport merytoryczny z projektu badawczego KBN 4T12E00326.

### EVALUATION OF THE MEASURING POTENTIAL OF KODAK DCS PRO 14N (13.5 MP) SLR DIGITAL CAMERA

KEY WORDS: digital SLR camera, signal distortion, self-calibration, bundle adjustment

SUMMARY: The study on the radiometric signal quality and the photogrammetric self-calibration was performed for the Kodak DCS Pro 14n SLR digital camera with the CMOS sensor (format size of 36×24 mm, full resolution of 4500×3000). The examination of noise level and the signal distortion in the CMOS IBIS4-14000 (Fill Factory NV, Belgium) converter was determined in the "Image Analysis" authors' software, which was written with the Delphi 7 programming tools. The program calculates mean grey level value, variance and standard deviation for each pixel in the defined areas of interest in the image sequences. Based on the analysis of 30 image sequences, it was found that low noise level and high quality of data processing module were characteristic for the Kodak DCS Pro 14n camera. In the brightness channel I, the mean standard deviation amounted to  $SdtDev = 1.5$  (channel R:  $SdtDev = 1.7$ , channel G:  $SdtDev = 1.6$ , channel B:  $SdtDev = 2.1$ ). The on-the-job self-calibration with additional digital imaging systematic errors modelling parameters:  $A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2$  and the calculation with ca 110 signalised points 3D coordinates (30 coded points, 12 bit code) on a test field, was determined in the AICON 3D Studio program (AICON Systems GmbH, Germany). The digital image network was created by the configuration of eleven convergent photos registered from the distance of ca  $Y_F = 5$  m. All points in digital images were measured completely automatically. The Sigma 0 mean value after the combined bundle adjustment amounted to  $\sigma_0 = \pm 0.055$  pxl. Basic parameters of interior orientation:  $c_K, x'_0, y'_0$  were determined with the accuracy of  $\pm 0.2$  pxl. The mean standard deviation of calculated coordinates amounted to:  $S_{XY} = \pm 0.03$  mm,  $S_Z = \pm 0.04$  mm. In the presented close range application, when the Kodak DCS Pro 14n SLR digital camera was used, a relative accuracy of 3D coordinates analytical estimation of 1: 150 000 in the object space was achieved.

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

Mgr inż. Bartosz Ostrowski  
e-mail: [bartosz.ostrowski@p.lodz.pl](mailto:bartosz.ostrowski@p.lodz.pl)  
tel. +42 6312642