

Mirosław Jabłoński\*

## **Inteligentna kamera – podsystem automatycznej kalibracji barwnej\*\***

### **1. Wprowadzenie**

Wraz postępowaniem techniki wytwarzania czujników wizyjnych oraz rozwojem algorytmów przetwarzania i rozpoznawania informacji wizyjnej, systemy obrazowania działające w czasie rzeczywistym znajdują ciągle nowe zastosowania a dotychczasowe domeny ulegają ekspansji. W urządzeniach przemysłowych, medycznych, jak i coraz częściej ogólnego powszechnego użytku, stosuje się cyfrowe systemy wizyjne. Obecnie na rynku dostępne są sensory oraz kamery kolorowe o rozdzielczościach standaryzowanych przez systemy obrazowania np. popularny, SXGA – *Super eXtended Graphics Array* (format obrazu o rozmiarach 1280×1024 pikseli). Pomimo wzrostu rozdzielczości podnosi się również szybkość akwizycji i transmisji obrazu. Istnieją czujniki wizyjne umożliwiające akwizycję ponad 400-tu ramek na sekundę w formacie SXGA oraz znacznie więcej w przypadku zdefiniowania mniejszych rozdzielczości obrazów [3].

Dotychczas wykorzystywane analogowe formaty transmisji sygnału wizyjnego, takie jak PAL (*Phase Alternating Line*) lub NTSC (*National Television System Committee*), z racji na małą przepustowość łącza oraz poziomu szumów nie umożliwiają wykorzystania pełnych możliwości zaawansowanych czujników wizyjnych w praktyce. Istotną przeszkodę w ich użyciu stanowi również format transmisji zorientowany ściśle na wizualizację. Wielokrotna konwersja RGB → YUV → RGB oraz nakładające się szумы analogowe powodują zniekształcenia przestrzeni barw i artefakty w postaci stacjonarnych plam w obrazie wynikowym [9]. Topologiczne zależności pojedynczych pikseli wynikające z przepłotu wprowadzają rozmycie ruchomych obiektów w kolejnych półobrazach, co uniemożliwia efektywne śledzenie obiektów szybkozmiennych. Ma to krytyczne znaczenie w przypadku niektórych zastosowań przemysłowych i specyficznych zadań badawczych [5].

Zapewnienie dobrej jakości sygnału wizyjnego oraz możliwość dopasowania jego parametrów do warunków środowiskowych i właściwości analizowanej sceny stworzyła realną potrzebę standaryzacji komunikacji i sterowania urządzeń komputerowej analizy

---

\* Katedra Automatyki, Laboratorium Biocybernetyki, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

\*\* Praca wykonana w ramach badań własnych – umowa AGH nr 10.10.120.39

obrazów (*Machine Vision, Computer Vision*). Obecnie w użyciu są dwie oficjalne definicje promowane przez stowarzyszenie Automated Imaging Association: „Camera Link” oraz „GigaE Vision”. Powszechnie występują również zaawansowane kamery cyfrowe wyposażone w interfejsy „IEEE1394” (określany jak *FireWire*) oraz „USB 2.0”. Wszystkie z wymienionych interfejsów cechują się dobrze zdefiniowaną i sprawdzoną warstwą fizyczną łącza transmisyjnego, umożliwiającą połączenie z typowymi platformami komputerów PC. Każdy typ łącza, oprócz styku fizycznego, zawiera również określony protokół i interfejs programistyczny do sterowania parametrami akwizycji obrazu. API (*Application Programmin Interface*) udostępnia procedury do konfiguracji parametrów czujnika wizyjnego (wzmocnienie, poziomy referencyjne, ustawienia elektronicznej migawki) jak i do ustalania parametrów transmisji i próbkowania sygnału (współrzędne i rozmiar obszaru próbkowania ROI (*Region Of Interest*), format piksela i ilość ramek przechwytywanych w sekundzie).

## 2. Inteligentna kamera

Odrębną kategorię systemów wizyjnych stanowią tzw. „inteligentne kamery” (*Smart Camera*). W użyciu występują również pojęcia „kamera jednoukładowa” (*Single Chip Camera*) i wymiennie SoC (*System On Chip*) w odniesieniu do rozwiązań zawierających czujnik wizyjny, układy formowania sygnału wizyjnego, oraz elementy obliczeniowe w postaci mikroprocesora lub specjalizowanej architektury sprzętowej.

Określenia *Smart Sensor* używa się najczęściej w odniesieniu do urządzenia o nietypowej konstrukcji i szczególnych właściwościach czujnika wizyjnego wykonanego w określonej technologii (CMOS lub CCD). Istotą takich rozwiązań jest zastąpienie skomplikowanych obliczeń (zazwyczaj realizowanych za pomocą mikroprocesorów, komputerów lub dedykowanych architektur sprzętowych) wyrafinowanymi konstrukcjami półprzewodnikowych komórek matrycy czujnika [8].

Odmienne zastosowanie nazwy *Smart Sensor*, zbliżone do treści pojęcia *Smart Camera*, przyjęło się dla określenia urządzenia wizyjnego które integruje w sobie czujnik wizyjny oraz element przetwarzający. Rodzaj elementu przetwarzającego (specjalizowany czujnik, mikroprocesor, dedykowana architektura sprzętowa) nie stanowi tutaj wyróżnika. Kluczowy jest raczej realizowany algorytm pozwalający na pozyskiwanie istotnej informacji z ruchomej sceny oraz jej komunikacja z innymi urządzeniami systemu [10].

Od kilku lat, na świecie prowadzi się wiele badań związanych z tematyką inteligentnej kamery. Rynek oferuje coraz więcej takich urządzeń o zróżnicowanych parametrach i różnych przeznaczeniach. Wspólną cechą wszystkich propozycji jest przeniesienie ciężaru obliczeń do zintegrowanej kamery oraz wyposażenie w powszechnie stosowany interfejs komunikacyjny (np.: Ethernet, USB, i inne łącza szeregowo) umożliwiający współdzielenie medium w systemach rozproszonych. Urządzenia produkowane są w różnych technologiach i z zastosowaniem różnych architektur obliczeniowych (mikrokontrolery, mikroprocesory, komputery przemysłowe, układy specjalizowane ASIC, układy reprogramowalne PLD – *Programmable Logical Devices*). Szczegółowy przegląd rozwiązań kamer inteligentnych stosowanych w nauce, technice, biometrii, medycynie i przemyśle motoryzacyj-

nym przekracza zakres niniejszej publikacji. Należy jednak zaznaczyć ogólne oczekiwania, jakie stawiane są wobec taki rozwiązań:

- działanie w czasie rzeczywistym,
- adaptacja to zmiennych warunków otoczenia,
- małe rozmiary,
- niskie zużycie mocy,
- niski koszt,
- elastyczność i łatwość programowania,
- integrowalność z systemami akwizycji danych i sterowania.

Spełnienie wszystkich powyższych wymagań wydaje się być szczególnie trudne zwłaszcza że szereg systemów komputerowych opartych o klasyczny model (kamera – karta przechwytyjąca – komputer) z trudnością realizują nawet średnio-zaawansowane algorytmy przetwarzania obrazów i analizy informacji wizyjnej. Implementacja szeregu wyrafinowanych algorytmów rozpoznawania obrazów jak np. PCA (*Principal Component Analysis*) wymaga stosowania specjalizowanych akceleratorów i metod programowania [2], co istotnie narusza większość postawionych wymagań.

Istotną zaletą idei inteligentnej kamery jest przesunięcie zasobów obliczeniowych bliżej źródła pobierania danych nie tylko ze względu na odciążenie jednostek roboczych (komputer, specjalizowana karta). W przypadku kamer o wielkich rozdzielczościach i dużych szybkościach (kilkaset fps (*frames per second*)) transmisja nieskompresowanego stratnie obrazu jest trudna do wykonania, lub nawet niemożliwa w powszechnie stosowanych sieciach komputerowych. W inteligentnej kamerze komunikacja odbywa się bezpośrednio pomiędzy czujnikiem a elementem przetwarzającym, więc na zewnątrz wysyłane są jedynie rezultaty analizy ze znacznym współczynnikiem redukcji ilości danych. Dodatkowo, bliskie sąsiedztwo elementu przetwarzającego i czujnika wizyjnego, umożliwia taki dostęp do danych wizyjnych, który zorientowany jest cechami pożądanej informacji a nie jest zdeterminowany paradygmatem przetwarzania wszystkich pikseli, niezależnie od ich wkładu w ostateczny rezultat analizy.

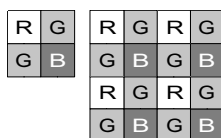
## 2.1. Model inteligentnej kamery

Przedmiotem opisywanych badań jest opracowanie modelu inteligentnej kamery w oparciu o wykorzystanie szczególnych własności omówionych wcześniej, zaawansowanych kamer cyfrowych. Są one są w znacznym stopniu parametryzowalne i umożliwiają łatwy dostęp do nieprzetworzonych danych czujnika wizyjnego. Prezentowana idea modelu inteligentnej kamery polega na połączeniu zaawansowanej kamery cyfrowej z komputerem PC poprzez wydajne łącze komunikacyjne. Taki prototyp umożliwia dużą elastyczność, ułatwia symulację i weryfikację na etapie projektowania algorytmów. Niektóre źródła [7], już samo zestawienie takiego toru określają jako inteligentną kamerę samą w sobie. Szczególną uwagę poświęcono adaptacji inteligentnej kamery do zmiennych warunków akwizycji strumienia wizyjnego. Problem dopasowania ustawień do tła i oświetlenia, w przypadku analizy obrazów barwnych wielokrotnie występował we wcześniejszych badaniach autora

i współpracowników nad systemami rozpoznawania obrazów barwnych w czasie rzeczywistym [6]. W publikacjach poświęconych specjalizowanym architekturom i zaawansowanym algorytmom analizy i rozpoznawania obrazów zazwyczaj pomija się szczegóły doboru ekspozycji i wierności odwzorowania kolorów. Autor nie dotarł również do źródeł, które definiowałyby ilościowo tolerancje parametrów akwizycji gwarantujące powtarzalność na etapach zbierania danych uczących i rozpoznawania obrazów. Stowarzyszenie European Machine Vision Association opracowało standard [4] regulujący definicje parametrów kamer i czujników wizyjnych w celu umożliwienia łatwiejszej charakterystyki kamer i ich porównania. W obecnej wersji (*Release A1.03*) dokument opisuje jedynie parametry sensorów i kamer czarno-białych.

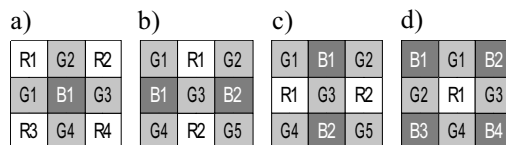
## 2.2. Formowanie mapy bitowej

Formowanie obrazu barwnego w kamerach cyfrowych różni się od sposobów jego wizualizacji w systemach rastrowych. Zarówno w czujnikach CCD (*Charge Coupled Device*), jak i CMOS (*Complementary Metal-Oxide-Semiconductor*) przyjęto matrycę Bayer (rys. 1) opatentowaną w połowie lat 70. [1]. Definiuje ona topologię rozkładu elementów wrażliwych odpowiednio na składową czerwoną (R), zieloną (G) i niebieską (B) widma. Ilościowe proporcje składowych R, G i B piksela obrazu odwzorowują wrażliwość oka ludzkiego na poszczególne składowe barwy. Liczba komórek wrażliwych na składową zieloną dwukrotnie przewyższa liczbę czerwonych i niebieskich mikrofiltrów w elemencie strukturalnym. Wyjątek stanowią czujniki wizyjne z potrójnym sensorem 3×CCD oraz czujniki wysokiej rozdzielczości CCD-HR, CCD-SR oraz Foveon-X3.



Rys. 1. Topologia matrycy Bayer: podstawowy element strukturalny i fragment matrycy

Aby uzyskać obraz rastrowy w powszechnie stosowanej formie RGB i rozmiarach zbliżonych do wymiarów czujnika wizyjnego, należy dokonać interpolacji trzech składowych w ustalonych punktach matrycy. Aby zachować rozmiary obrazu wynikowego zgodnie z rozmiarami matrycy czujnika, dla każdej komórki wyznaczane są trzy składowe na podstawie jednej z czterech możliwych kombinacji okna o rozmiarze 3×3, jak na rysunku 2.



Rys. 2. Możliwe kombinacje pikseli (a–d) czujnika aproksymacji oknem 3×3

Stosując prostą aproksymację liniową, interpolowane wartości kanałów R,G,B wyznaczone są zgodnie z następującymi zależnościami opisanymi we wzorze (1).

$$\begin{aligned}
 a) \quad (R,G,B) &= [(R1+R2+R3+R4)/4, \quad (G1+G2+G3+G4)/4, \quad B1 \quad ] \\
 b) \quad (R,G,B) &= [(R1+R2)/2, \quad (G1+G2+G3+G4+G5)/5, \quad (B1 + B2)/2 \quad ] \quad (1) \\
 c) \quad (R,G,B) &= [(R1+R2)/2, \quad (G1+G2+G3+G4+G5)/5, \quad (B1+B2)/2 \quad ] \\
 d) \quad (R,G,B) &= [R1, \quad (G1+G2+G3+G4)/4, \quad (B1+B2+B3+B4)/2 ]
 \end{aligned}$$

gdzie:

*a), b), c), d)* – indeksy konfiguracji matrycy Bayer, dla której należy użyć daną formułę,

*R<sub>i</sub>, G<sub>i</sub>, B<sub>i</sub>* – wartości pikseli w komórkach matrycy Bayer,

*R, G, B* – składowe piksela po transformacji z matrycy Bayer.

Już na etapie formowania mapy bitowej RGB, według powyższych zależności, można wprowadzić korektę proporcji barw w celu kalibracji czujnika lub kompensacji wpływu oświetlenia poprzez zastosowanie współczynników skalujących *Fr* i *Fb*. Wzór (1) ustala regułę obliczeń, które mogą być wykonane współbieżnie z opisanymi w zależności (2) bez ponoszenia dodatkowych nakładów, niezależnie od sposobu implementacji: potokowej (sprzętowej) czy sekwencyjnej (programowej). Należy wykonać dodatkowo jedno mnożenie składowych R i B w danej konfiguracji wzorca.

$$(R', G', B') = [Fr * R, G, Fb * B] \quad (2)$$

gdzie:

*R', G', B'* – składowe piksela wynikowej mapy bitowej,

*Fr, Fb* – współczynniki skalujące koloru czerwonego i niebieskiego,

*R, G, B* – składowe piksela po transformacji z matrycy Bayer.

Wzór (2) uwzględnia jedynie skalowanie dwóch składników. Bezwzględny poziom sygnału wszystkich składowych ustalany jest poprzez łącznie przez wzmocnienie przetwornika analogowo-cyfrowego.

### 3. Algorytm automatycznego balansu bieli

Ustawianie balansu bieli w systemach wizyjnych sprowadza się do takiego dobrania współczynników *Fr* i *Fg*, aby piksele odpowiadające obiektom białym, lub raczej o określonym poziomie szarości i zerowym nasyceniu barwy w przybliżeniu spełniały warunek (3).

$$R' = G' = B' \quad (3)$$

W powszechnie stosowanych systemach wizyjnych, ustalanie współczynników korekcji barw sędowane jest na użytkownika. Niektóre kamery umożliwiają półautomatyczne ustawianie balansu bieli w kilku krokach:

1. Ustalenie początkowych wartości współczynników:  $Fr = 1,0$  i  $Fb = 1,0$ .
2. Skierowanie kamery na wzorec bieli i ustalenie średnich wartości  $Ra, Ba, Ga$  każdego kanału, liczonych dla całego obrazu lub jego predefiniowanego fragmentu.
3. Wyznaczenie dysproporcji barw ze stosunków (4), aby spełnić warunek (3), jeśli różnice są pomijalne, to zakończ procedurę.
4. Zaaplikowanie nowo wyznaczonych współczynników i ewentualnie powrót do punktu 2, jeśli warunek (3) został istotnie naruszony.

$$Fr = Ga/Ra, \quad Fb = Ga/Ba \quad (4)$$

gdzie:  $Ra, Ga, Ba$  – średnie wartości pikseli ( $R', G', B'$ ) wynikowej mapy bitowej w wybranym obszarze referencyjnym.

W opisanej procedurze, operator musi ustawić wzorec kalibracyjny w polu widzenia kamery i ręcznie wyzwolić proces wyznaczania korekty barw. Nie jest to więc metoda w pełni automatyczna i nie nadaje się do dynamicznej adaptacji w warunkach zmiennego oświetlenia. Użytkownik nie jest w stanie sprawdzić obiektywnie jakości kalibracji, dopóki nie wykona obliczenia średnich  $Ra, Ba, Ga$  w komputerze nadrzędnym. Dodatkowa trudność pojawia się w przypadku, gdy wartości pikseli w obszarze kalibracyjnym znajdują się blisko górnej lub dolnej granicy zakresu wartości wynikającej z liczby bitów przeznaczonych na pojedynczy piksel. Sytuację taką można zaobserwować dla kanału zielonego na rysunku 3. Wówczas może się okazać że wartości  $Fr$  i  $Fg$  wyznaczone zostaną błędnie, ponieważ nie można określić faktycznego natężenia którejś składowej koloru. Jakość parametrów korygujących, wyznaczonych w oparciu o powyższy algorytm zależy nie tylko od charakterystyki barwnej źródła światła, ale również od jego rozkładu przestrzennego i właściwości optycznych materiału użytego jako wzorec koloru szarego. Gradienty natężenia światła (rys. 3) w obszarze kalibracyjnym wprowadzają czynnik zakłócający do wyliczanych średnich  $Ra, Rb, Rg$ , a niezmienny czynnik szumów analogowej części toru dodatkowo będzie je powiększać. Dotyczy to w szczególności rzeczywistej sceny, gdzie rozkład barw obiektów nie jest znany *a priori* i ulega naturalnym zmianom.

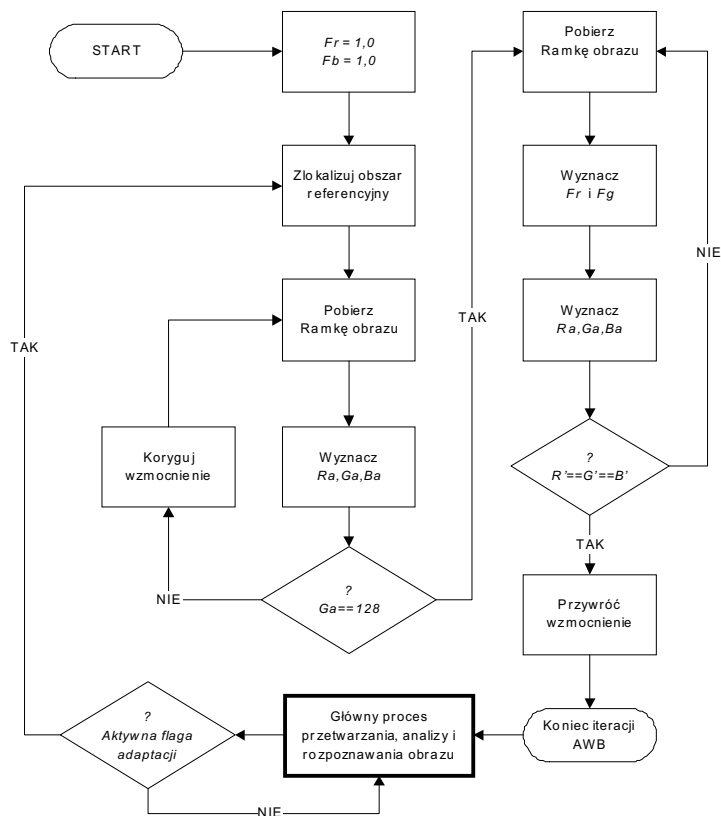
Wynikiem prac autora nad automatyzacją algorytmu balansu bieli są następujące innowacje:

1. Do wyznaczania statystyki barw  $Ra, Ba, Ga$  wykorzystać mały obszar referencyjny obrazu, niekolidujący z naturalną sceną kamery.
2. Referencyjny obszar obrazu wyznaczać automatycznie, podczas pracy kamery.
3. Korygować wzmocnienie przetwornika wizyjnego tak, aby początkowe wartości znalazły się w obszarze bliskim środka zakresu.
4. Po zakończeniu procesu, przywrócić początkowe wzmocnienie przetwornika.

Schemat zaproponowanego algorytmu przedstawiono na rysunku 4. Obejmuje on jedną iterację adaptacji do warunków oświetleniowych wykonywaną alternatywnie w stosunku do głównego zadania analizy sygnału wizyjnego realizowanego przez model inteligentnej kamery.



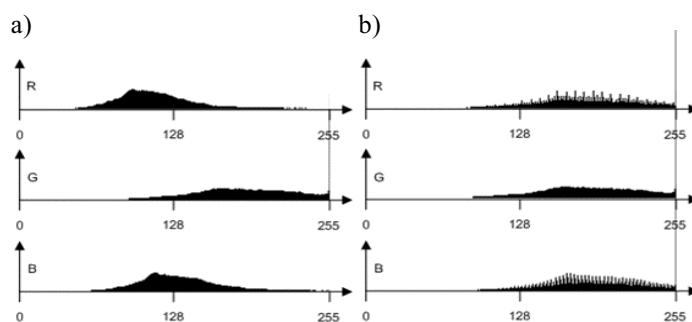
Rys. 3. Propozycja algorytmu automatycznego balansu bielei



Rys. 4. Obraz białej sceny przed kalibracją. Kontrast obrazu został zwiększony w celu uwidocznienia nierównomierności oświetlenia

#### 4. Rezultaty i analiza wyników

Testy zaproponowanej procedury adaptacji barwnej przeprowadzono dla kamery cyfrowej JAI CV-A70GE z interfejsem GigaBit Ethernet wyposażonej w obiektyw Cosmocar 6mm 1:1,2. Na rysunku 4 przedstawiono przykładowy obraz białej planszy przed kalibracją. Zaprezentowany obraz uzyskano po zastosowaniu punktowego, żarowego źródła światła umieszczonego w niewielkiej odległości. W oświetleniu zastosowano filtr niebieski. Wzmocnienie ustawione zostało na wartość maksymalną, przysłona na wartość 1,5 a współczynniki skalujące  $Fb$  i  $Fr$  na wartość początkową 1,0. Dysproporcje w rozkładzie przestrzennym natężenia światła i niezrównoważenie barw obrazowane są na histogramach zamieszczonych na rysunku 5a. Widać że składowa G jest mocno nasycona (wyraźny słupk z prawej strony), podczas gdy czerwona i niebieska przyjmują wyraźnie niższe poziomy. Kształty wszystkich histogramów mocno odbiegają od unimodalnego rozkładu który uzasadniałby wykorzystanie średnich wartości  $Ra$ ,  $Gg$  i  $Gb$  z całości obrazu.

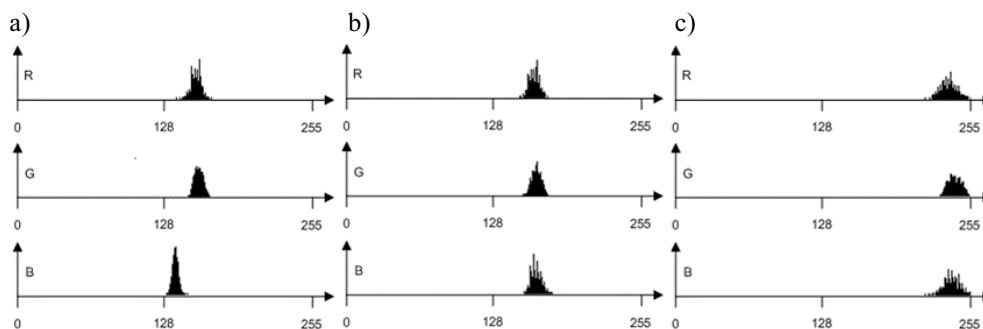


**Rys. 5.** Histogramy całego obszaru obrazu:  
a) przed kalibracją; b) po kalibracji

Rysunek 6 obrazuje rozkład barw na poszczególnych etapach działania algorytmu automatycznego balansu bieli. W obliczeniach wykorzystano obszar w kształcie koła o promieniu 20 pikseli. Widać wyraźnie, że histogramy obszaru referencyjnego są bardziej zwarte i symetryczne niż rozkłady zaprezentowane na rysunku 5. Uwaga: ponieważ istotny jest kształt histogramu, skala osi pionowej nie została zachowana pomiędzy wykresami na rysunkach 5 i 6.

Z przeprowadzonych testów wynika, że dodatkowe sprawdzanie poprawności korekcji barw po zastosowaniu obliczonych współczynników jest zbędne. Odchyłki  $\|Ra-Rg\|$ ,  $\|Rg-Rb\|$  będące odwrotnością miary błędu kalibracji nie przekraczają kilku punktów skali szarości obrazu (patrz tab. 1). Przy dużej jasności obszaru, ustalenie  $Ga$  w okolicy środka zakresu (dla formatu 8-bitowego:  $128 \pm 32$ ) wymaga kilku powtórzeń. Testy nie wykazały również niestabilności algorytmu. Dla wielu, w tym skrajnych, wartości początkowych  $Fr$  i  $Fb$  metoda dała bardzo zbliżone rezultaty w przypadku powtarzalnych warunków oświetleniowych.





**Rys. 6.** Histogramy obszaru referencyjnego na poszczególnych etapach kalibracji barw: a) histogram po korekcji wzmocnienia; b) po korekcji R i B; c) po przywróceniu wzmocnienia

**Tabela 1**  
Dane eksperymentalne automatycznego balansu biali

Warunki początkowe			Rezultaty kalibracji*					Warunki akwizycji
<i>Fr</i>	<i>Fb</i>	<i>Gain</i>	<i>Fr</i>	<i>Fb</i>	<i>Gain</i>	<i>Ra-Ga</i>	<i>Ba-Ga</i>	
1,0	1,0	100,00	1,77	1,51	61,00	-0,70	-0,35	Oświetlenie żarowe z filtrem niebieskim, przysłona: 1,5**
1,0	1,0	100,00	1,42	1,99	100,00	-1,16	-2,70	Oświetlenie żarowe, przysłona: 4,0

\* Wartości przed przywróceniem początkowych ustawień wzmocnienia.

\*\* Warunki, dla których zebrano dane do wykresów na rysunkach 5 i 6.

Przykładowe dane doświadczalne umieszczono w tabeli 1. Z porównania rozkładów zamieszczonych na rysunku 6 wynika, że po automatycznej kalibracji bezwzględna jasność obrazu wzrosła. Potwierdzają to wartości współczynników *Fr* i *Fb* większe od jedynki. Zjawisko to sugeruje, że podczas balansu biali należałoby również skorygować początkowe wzmocnienie, aby zachować poprzedni poziom jasności.

Dominacja zielonej składowej w obrazie na rysunku 3 zaskakuje, ponieważ podczas akwizycji zastosowano filtr niebieski. Przyczyną może być przyjęta liniowa metoda interpolacji wartości w macierzy Bayer, charakterystyka spektralna czułości matrycy, w której pasmo odpowiadające zieleni wyraźnie dominuje.

Do automatycznego wykrywania obszaru referencyjnego wykorzystano marker w kształcie okręgu. W finalnej wersji obszar referencyjny wykrywany był z pomocą kołowej transformaty Hough'a zaimplementowanej w bibliotece OpenCV. Metoda wykorzystuje algorytm Canny'ego do detekcji krawędzi. Do konwersji sygnału przetwornika na postać mapy bitowej wykorzystano procedury assemblera dostarczone przez producenta kamery. Pozostałe obliczenia wykonano w oparciu o wydajną bibliotekę *Intel Performance Primitives v5.1*.

Przedstawiony prototyp inteligentnej kamery został uruchomiony na platformie PC z procesorem Intel Pentium T5600 działającym z częstotliwością 1.83GHz. Główny proces korekcji barw działa w czasie rzeczywistym zapewniając przepustowość 30 fps. Czas wyznaczania współczynników korygujących jest niedeterministyczny i mocno zależy od treści obrazu. Jest również uwarunkowany parametrami czasowymi protokołu komunikacyjnego i sztucznie wprowadzonymi opóźnieniami, które zabezpieczają przed ewentualną niestabilnością algorytmu. W przeprowadzonych eksperymentach całkowity czas adaptacji utrzymywał się na poziomie pojedynczych sekund.

## 5. Wnioski i perspektywy rozwoju

Opisany przykład algorytmu automatycznego balansu bieli potwierdza że jest możliwe zbudowanie inteligentnej kamery, która będzie w stanie zaadaptować się do zmiennych warunków otoczenia i śledzić występujące w nim zmiany. Tematem dalszych prac autora w tej dziedzinie będzie przegląd zadań analizy i rozpoznawania informacji wizyjnej możliwych do realizacji przy pomocy inteligentnej kamery i dobór odpowiedniej architektury obliczeniowej. Urządzenia wizyjne wchodzą do domeny szeroko rozumianych technik komputerowych. Wydaje się nieuniknione, że urządzenia takie jak inteligentna kamera będą w przyszłości wykorzystywane nie tylko w nauce i przemyśle, ale również w na rynku konsumenckim, np. jako wsparcie interfejsów komunikacji człowieka z komputerem (*Human Computer Interaction*). Istotną zaletą zastosowania inteligentnej kamery jest możliwość zastąpienia urządzeń przechwytyjących (*framegrabber*) i często kłopotliwego okablowania, standardowym interfejsem komunikacyjnym.

## Literatura

- [1] Bayer B.E.: *Color Imaging Array*. <http://www.pat2pdf.org/patents/pat3971065.pdf>, 1975
- [2] Bouganis C., Pournara I., Cheung P.: *Efficient Mapping of Dimensionality onto Heterogeneous FPGA*. FCCM'07, IEEE Symposium on Field- Programmable Custom Computing Machines, Preliminary Proceedings, Napa Valley, California, USA, kwiecień 2007, 23–25
- [3] Cypress. [http://download.cypress.com.edgesuite.net/design\\_resources/datasheets/contents/lupa\\_1300\\_8.pdf](http://download.cypress.com.edgesuite.net/design_resources/datasheets/contents/lupa_1300_8.pdf), Cypress, 2007
- [4] EMVA Standard: *Standard for Characterization and Presentation of Specification Data for Image Sensors and Cameras*. Release A1.03, EMVA, <http://emva.org/home>, luty 2007
- [5] Graetzel C.F., Fry S.N., Nelson B.J.: *A 6000 Hz Computer Vision System for Real-Time Wing Beat Analysis of Drosophila*. Proc. The First IEEE / RAS-EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechanics, Pisa, Włochy, 2006, 278–283
- [6] Jablowski M., Przybyło J., Wołoszyn P.: *Automatyczna segmentacja twarzy dla potrzeb interfejsu człowiek-komputer*. Pótrocznik AGH Automatyka, t. 9, z. 3, 2005, 587–600
- [7] Leaser M., Miller S., Haiqian Y.: *Smart camera based on reconfigurable hardware enables diverse real-time applications*. FCCM'04, IEEE Symposium on Field- Programmable Custom Computing Machines, Napa Valley, California, USA, 20–23 kwietnia 2004, 147–155

- 
- [8] Oike Y., Ikeda, M., Asada K.: *A smart image sensor with high-speed feeble ID-beacon detection for augmented reality system*. Solid-State Circuits Conference, 2003. ESSCIRC apos;03, Proc. of the 29th European Volume, 16–18 września 2003, 125–128
- [9] Przybyło J., Jabłoński M., Wołoszyn P.: *Detekcja markerów dla celów anotacji mimiki twarzy*. Półrocznik AGH Automatyka, t. 10, z. 3, 2006, 413–425
- [10] Weng Y., Doboli A.: *Smart sensor architecture customized for image processing applications*. Real-Time and Embedded Technology and Applications Symposium, Proceedings. RTAS 2004. 10th IEEE Volume, 25–28 maja 2004, 396–403