



MINISTERSTWO EDUKACJI
NARODOWEJ



Grażyna Dobrzyńska-Klepacz

**Stosowanie elektronicznych detektorów obrazu
313[01].Z2.02**

Poradnik dla ucznia

Wydawca
Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy
Radom 2007

„Projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego”

Recenzenci:

dr hab inż. Piotr Nowak

mgr inż. Piotr Terlecki Prokopowicz

Opracowanie redakcyjne:

mgr inż. Grażyna Dobrzyńska-Klepacz

Konsultacja:

mgr Zdzisław Sawaniewicz

Poradnik stanowi obudowę dydaktyczną programu jednostki modułowej 313[01].Z2.02 Stosowanie elektronicznych detektorów obrazu zawartego w modułowym programie nauczania dla zawodu fototechnik.

Wydawca

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2007

SPIS TREŚCI

| | |
|--|----|
| 1. Wprowadzenie | 3 |
| 2. Wymagania wstępne | 5 |
| 3. Cele kształcenia | 6 |
| 4. Materiał nauczania | 7 |
| 4.1. Budowa i działanie elektronicznych detektorów obrazu | 7 |
| 4.1.1. Materiał nauczania | 7 |
| 4.1.2. Pytania sprawdzające | 13 |
| 4.1.3. Ćwiczenia | 13 |
| 4.1.4. Sprawdzian postępów | 15 |
| 4.2. Właściwości użytkowe i tendencje rozwojowe elektronicznych detektorów obrazu | 16 |
| 4.2.1. Materiał nauczania | 16 |
| 4.2.2. Pytania sprawdzające | 22 |
| 4.2.3. Ćwiczenia | 23 |
| 4.2.4. Sprawdzian postępów | 25 |
| 4.3. Sposoby zapisu obrazu optycznego | 26 |
| 4.3.1. Materiał nauczania | 26 |
| 4.3.2. Pytania sprawdzające | 29 |
| 4.3.3. Ćwiczenia | 29 |
| 4.3.4. Sprawdzian postępów | 30 |
| 4.4. Teoria barwy | 31 |
| 4.4.1. Materiał nauczania | 31 |
| 4.4.2. Pytania sprawdzające | 37 |
| 4.4.3. Ćwiczenia | 37 |
| 4.4.4. Sprawdzian postępów | 39 |
| 4.5. System zarządzania barwą | 40 |
| 4.5.1. Materiał nauczania | 40 |
| 4.5.2. Pytania sprawdzające | 44 |
| 4.5.3. Ćwiczenia | 44 |
| 4.5.4. Sprawdzian postępów | 45 |
| 4.6. Nośniki informacji obrazowej | 46 |
| 4.6.1. Materiał nauczania | 46 |
| 4.6.2. Pytania sprawdzające | 49 |
| 4.6.3. Ćwiczenia | 49 |
| 4.6.4. Sprawdzian postępów | 51 |
| 5. Sprawdzian osiągnięć | 52 |
| 6. Literatura | 56 |

1. WPROWADZENIE

Poradnik będzie Ci pomocny w przyswajaniu wiedzy o elektronicznych detektorach obrazu, ich budowie, właściwościach użytkowych oraz zmianach zachodzących w warstwie fotoczułej pod wpływem światła.

W poradniku zamieszczono:

- wymagania wstępne, czyli wykaz niezbędnych umiejętności i wiedzy, które powinieneś mieć opanowane, aby przystąpić do realizacji tej jednostki modułowej,
- cele kształcenia tej jednostki modułowej,
- materiał nauczania (rozdział 4), który umożliwia samodzielne przygotowanie się do wykonania ćwiczeń i zaliczenia sprawdzianów.
- ćwiczenia, które zawierają:
 - treść ćwiczeń,
 - sposób ich wykonania,
 - wykaz materiałów i sprzętu potrzebnego do realizacji ćwiczenia.

Przed przystąpieniem do wykonania każdego ćwiczenia powinieneś:

- przeczytać materiał nauczania z poradnika dla ucznia i poszerzyć wiadomości z literatury zawodowej dotyczącej elektronicznych detektorów obrazu,
- zapoznać się z instrukcją bezpieczeństwa, regulaminem pracy na stanowisku oraz ze sposobem wykonania ćwiczenia.

Po wykonaniu ćwiczenia powinieneś:

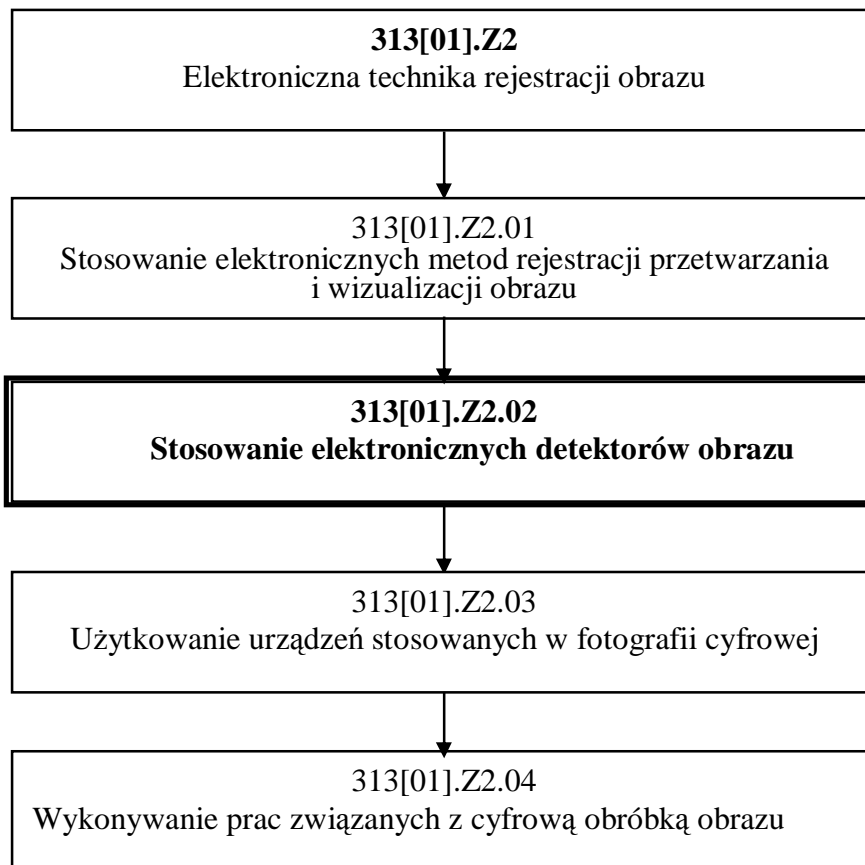
- uporządkować stanowisko pracy po realizacji ćwiczenia,
- dołączyć pracę do teczki z pracami realizowanymi w ramach tej jednostki modułowej,
- sprawdzian postępów, który umożliwi Ci sprawdzenie opanowania zakresu materiału po zrealizowaniu każdego podrozdziału - wykonując sprawdzian postępów powinieneś odpowiadać na pytanie tak lub nie, co oznacza, że opanowałeś materiał albo nie,
- sprawdzian osiągnięć, czyli zestaw zadań testowych sprawdzających Twoje opanowanie wiedzy i umiejętności z zakresu całej jednostki. Zaliczenie tego ćwiczenia jest dowodem osiągnięcia umiejętności praktycznych określonych w tej jednostce modułowej,
- wykaz literatury oraz inne źródła informacji, z jakiej możesz korzystać podczas nauki do poszerzenia wiedzy.

Jeżeli masz trudności ze zrozumieniem tematu lub ćwiczenia, to poproś nauczyciela o wyjaśnienie i ewentualne sprawdzenie, czy dobrze wykonujesz daną czynność. Po opracowaniu materiału spróbuj rozwiązać sprawdzian z zakresu jednostki modułowej.

Bezpieczeństwo i higiena pracy

Wykonując ćwiczenia praktyczne na stanowisku roboczym zwróć uwagę na przestrzeganie regulaminów, zachowanie przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy oraz instrukcji przeciwpożarowych wynikających z prowadzonych prac. Powinieneś dbać o ochronę środowiska naturalnego. Jeśli będziesz posługiwać się urządzeniami elektrycznymi stosuj się do wszystkich zaleceń nauczyciela.

Jednostka modułowa: Stosowanie elektronicznych detektorów obrazu, której treści teraz poznasz jest jednostką wprowadzającą do zagadnień obejmujących zajęcia z modułu Elektroniczna technika rejestracji obrazu 313[01].Z2. Głównym celem tej jednostki jest przygotowanie Ciebie do wykonywania prac związanych z doбором i stosowaniem elektronicznych detektorów obrazu oraz nośników informacji obrazowej w zadaniach zawodowych związanych z pozyskiwaniem, przetwarzaniem i wizualizacją obrazów cyfrowych.



Schemat układu jednostek modułowych

2. WYMAGANIA WSTĘPNE

Przystępując do realizacji programu jednostki modułowej powinieneś umieć:

- korzystać z różnych źródeł informacji zawodowej,
- posługiwać się terminologią z zakresu fototechniki,
- określać właściwości promieniowania tworzącego informację obrazową,
- dobierać techniki zapisu obrazu, w zależności od rodzaju informacji,
- wyjaśniać mechanizmy widzenia i postrzegania barw,
- wykonywać podstawowe czynności związane z rejestracją obrazów,
- określać warunki oświetleniowe,
- rozróżniać techniki rejestracji obrazu,
- określać metody rejestracji informacji obrazowej,
- klasyfikować detektory obrazu,
- charakteryzować hybrydowe metody uzyskiwania fotografii,
- określać zasady cyfrowego zapisu i kompresji obrazu,
- określać parametry obrazu cyfrowego,
- dostosować parametry obrazu cyfrowego do przeznaczenia pliku graficznego,
- zastosować zasady cyfrowego przenoszenia obrazu,
- posługiwać się sprzętem fototechnicznym i audiowizualnym,
- stosować podstawowe przepisy prawa dotyczące bezpieczeństwa i higieny pracy,
- postępować zgodnie z instrukcją przeciwpożarową w przypadku zagrożenia pożarowego,
- stosować zasady ochrony środowiska.

3. CELE KSZTAŁCENIA

W wyniku realizacji programu jednostki modułowej powinieneś umieć:

- wyjaśnić proces zapisu informacji obrazowej na nośnikach elektronicznych,
- określić elementarną budowę detektora obrazu,
- określić właściwości użytkowe elektronicznych detektorów obrazu,
- scharakteryzować przebieg procesów fotoelektrycznych związanych z zapisem informacji obrazowej,
- określić przydatność detektorów do rejestracji informacji obrazowej,
- dobrać parametry pracy detektora do przeznaczenia obrazu,
- określić sposób rejestracji informacji o barwach obrazu cyfrowego,
- rozróżnić podstawowe modele barw,
- dokonać konwersji pomiędzy trybami koloru obrazu cyfrowego,
- sklasyfikować nośniki pamięci informacji obrazowej,
- rozróżnić nośniki pamięci stosowane w aparatach cyfrowych,
- dobrać nośnik pamięci do zapisu obrazu cyfrowego,
- określić tendencje rozwojowe elektronicznych detektorów obrazu,
- zastosować przepisy bezpieczeństwa i higieny pracy oraz ochrony przeciwpożarowej.

4. MATERIAŁ NAUCZANIA

4.1. Budowa i działanie elektronicznych detektorów obrazu

4.1.1. Materiał nauczania

Najważniejszym elementem aparatów cyfrowych jest elektroniczny detektor rejestrujący obraz optyczny i przekształcający sygnał świetlny w sygnał elektryczny (fotony w elektrony) Wyróżniamy trzy rodzaje elektronicznych detektorów obrazu:

- matryce CCD (Super CCD, Super CCD HR, SR),
- matryce CMOS,
- trójwarstwowe matryce X3 o technologii CMOS.

Dwa główne rodzaje tych przetworników to układy ze sprzężeniem ładunkowym (CCD - Charge Coupled Device) oraz matryce CMOS wykorzystujące fotodiody wykonane tradycyjną metodą (Complementary Metal Oxide Semiconductor).

Elektroniczne detektory obrazu zbudowane są z milionów elementów światłoczułych (fotoelementów) równomiernie rozmieszczonych na płaskiej płytce. Każdy fotoelement rejestruje informację o szczególe fotografowanego obiektu i odpowiada pikselowi obrazu cyfrowego. Fotoelementy działają jak miniaturowe światłomierze. Pod wpływem padającego światła w każdym fotoelemencie powstaje ładunek elektryczny proporcjonalny do jego ilości. Powstały sygnał prądowy jest przesyłany, odczytywany i przetwarzany przez układy elektroniczne aparatu cyfrowego z postaci ciągłej (sygnał analogowy) do postaci dyskretnej (sygnał skwantowany - zdigitalizowany).

Elektroniczne detektory obrazu różnią się budową oraz sposobem odczytywania i przetwarzania informacji zgromadzonej w fotoelementach o budowie warstwowej.

Pojedynczy element CCD, zwany złączem MIS, ma budowę warstwową (rys.2). Warstwy składowe to

M – Metal

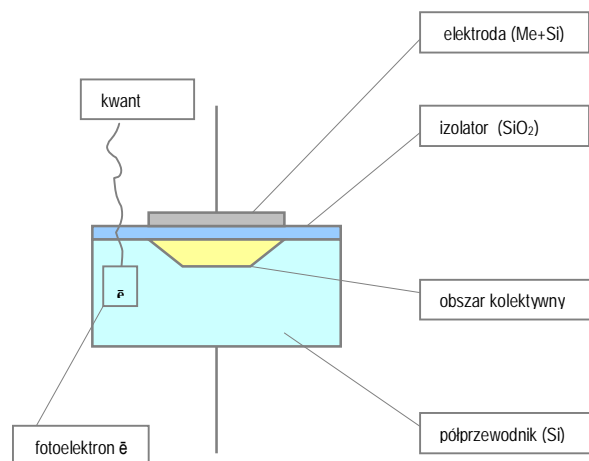
I – Insulator

S – Semiconductor

Elektroda (M) stanowi górną warstwę złącza MIS. Wykonana jest z warstwy nieprzezroczystego metalu domieszkowanego krzemem (Me+Si). Zasłania część powierzchni fotoelementu zmniejszając jego efektywną aperturę, która informuje o procentowym udziale aktywnej powierzchni fotoelementu w stosunku do powierzchni całkowitej.

Zadaniem dodatkowej elektrody jest utrzymywanie wygenerowanych podczas naświetlania elektronów w obszarze fotoelementu (rys. 2 obszar kolektywny).

Zapobiega to efektowi „bloomingu” polegającemu na rozmyciu się ładunku na sąsiednie elementy. Efekt ten dotyczy stanu nasycenia komórki detektora, której przepelnienie powoduje odpływ zgromadzonego ładunku do komórek sąsiednich, powodując efekt zbliżony do efektu rozpraszania światła w tradycyjnych materiałach halogenosrebrowych przy wysokich wartościach ekspozycji.

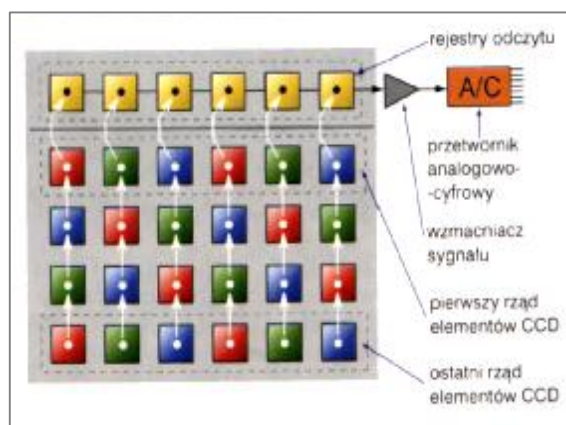


Rys. 2. Budowa pojedynczego elementu CCD

Poniżej elektrody znajduje się cieniutka warstewka półprzezroczystego **izolatora (I)** wykonanego z czystej krzemionki (SiO_2 – dwutlenku krzemu). Zadaniem izolatora jest zapobieganie niekontrolowanemu odpływowi ładunków do elektrody. Elementem światłoczułym złącza MIS jest dolna warstwa krzemowego **półprzewodnika (Si)**. Pod działaniem światła w warstwie półprzewodnika pękają wiązania między atomami krzemu z uwolnieniem elektronu. Ilość uwolnionych nośników prądu jest wprost proporcjonalna do ilości (natężenia i czasu działania) padającego światła.

Matryca CCD (Charge Coupled Device – urządzenie ze sprzężeniem ładunkowym)

CCD jest najlepszym detektorem stosowanym w procesie elektronicznej rejestracji obrazu. Technologię CCD wynaleziono w 1970 roku w laboratoriach Bella, cechując ją małe zniekształcenia obrazu, szybkość działania oraz duża czułość układów.

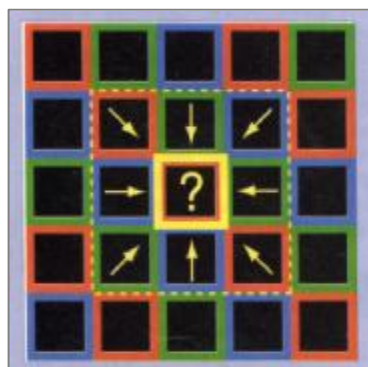


Rys. 3. Schemat budowy matrycy CCD [10, s. 33]

Matryca CCD zbudowana jest z elementów światłoczułych umieszczonych na płaskiej płytce w kolumnach i wierszach, pokrytych siatką filtrów barwnych RGB. Ilość elementów decyduje o rozdzielczości uzyskiwanych obrazów cyfrowych.

Podczas naświetlania w każdym elemencie zostaje zmierzona ilość światła, a następnie zamieniona na odpowiadającą jej wartość natężenia prądu. W ten sposób otrzymujemy informację o luminancji szczegółów rejestrowanego obiektu.

Informację o barwie fotografowanego obiektu uzyskujemy dzięki siatce/mozaice filtrów barwnych (zgodnej z wzorem Bayera) umieszczonych nad warstwą fotoelementów. Ponieważ każdy fotoelement pokryty jest innym filtrem niebieskim zielonym lub czerwonym (rys. 3) – rejestruje informację o jednej składowej barwnej (R, G lub B). W celu otrzymania pełnej informacji o barwie obrazu analizowane są sąsiednie elementy światłoczułe. Jest to tzw. proces „demozaikowania” [17].



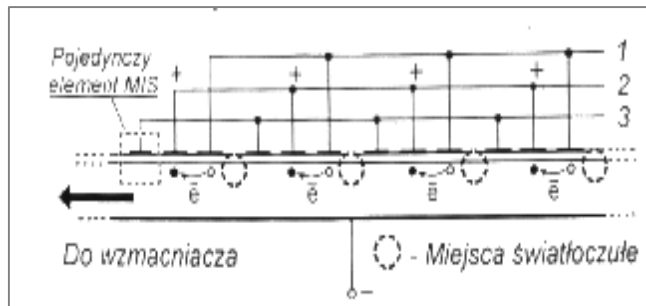
Rys.4. Odwzorowanie barw w matrycy CCD [2, s. 34]

Na rysunku 4 przedstawiono jeden ze sposobów tworzenia rzeczywistej barwy pikselu na drodze obliczeń (interpolacji) o udziale składowych chromatycznych RGB na sąsiednich fotoelementach.(rys. 4). W tym algorytmie demozaikowania informacja z pikselu pobierana jest kilka razy.

Inna metoda demozaikowania do odtworzenia barwy jednego punktu obrazu opiera się na pobieraniu informacji o natężeniu światła zarejestrowanego na 4 sąsiadujących pikselach pokrytych filtrami RGBG. Taki algorytm demozaikowania powoduje czterokrotny spadek

rozdzielczości obrazu względem rozdzielczość detektora, ale otrzymujemy rzeczywistą informację o barwie piksela bez interpolacji danych [17].

Odczyt zgromadzonych w fotoelementach matrycy ładunków odbywa się sekwencyjnie. Wzdłuż każdej kolumny matrycy znajduje się kanał CCD, którym ładunki wędrują do rejestrów odczytu (rys.3)



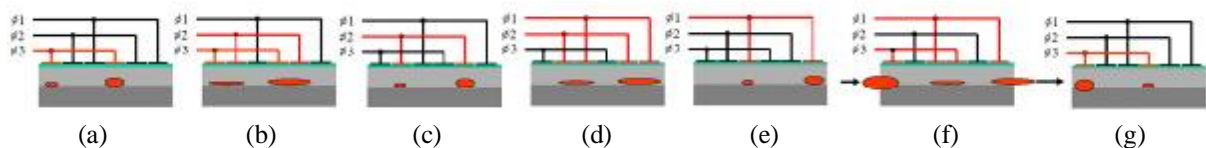
Rys. 5. Transport ładunków kanałem CCD [13, s. 28]

Elektrony z pierwszego wiersza sensorów przesyłane są do rejestrów odczytu stamtąd do wzmacniacza sygnału, a następnie do przetwornika analogowo-cyfrowego gdzie sygnał prądowy zostaje zdigitalizowany i zapisany na nośniku pamięci.

Transport elektronów kanałem CCD przylegającym do każdej kolumny fotoelementów odbywa się skokowo. Ładunek jest przesuwany przez zmiany potencjału elektrycznego na elektrodach trzech grup 1,2,3 (rys. 5).

Kolejne etapy transferu ładunku zachodzą według schematu (rys. 6):

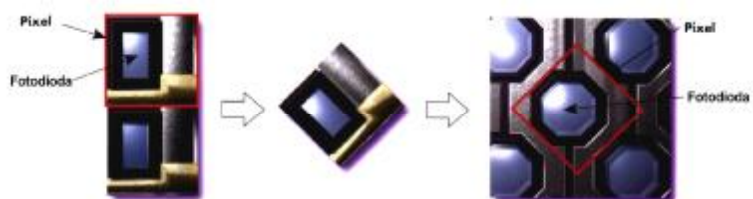
- (a) do elektrod grupy 3 jest przyłożony potencjał dodatni, podczas gdy do elektrod grup 1,2 ujemny,
- (b) wzrasta potencjał dodatni na elektrodach 2 grupy i maleje na elektrodach 3 grupy – ładunek jest rozciągnięty pod elektrodami obu grup (2 i 3),
- (c) do elektrod grupy 2 jest przyłożony potencjał dodatni, 1,3 ujemny,
- (d) wzrasta potencjał dodatni na elektrodach 1 grupy i maleje na elektrodach 2 grupy – ładunek jest rozciągnięty pod elektrodami obu grup (1 i 2),



Rys. 6. Transfer ładunków w matrycy CCD do rejestrów odczytu (element CCD) [15]

- (e) do elektrod grupy 1 jest przyłożony potencjał dodatni, do elektrod grup 2,3 ujemny,
- (f) pakiet ładunkowy z sąsiedniego piksela wchodzi od lewej strony podczas gdy pakiet z danego piksela przesuwa się do piksela na prawo,
- (g) do elektrod grupy 3 jest przyłożony potencjał dodatni, do elektrod grup 1,2 ujemny, rozpoczyna się etap transferu ładunku przez kolejny fotoelement [15].

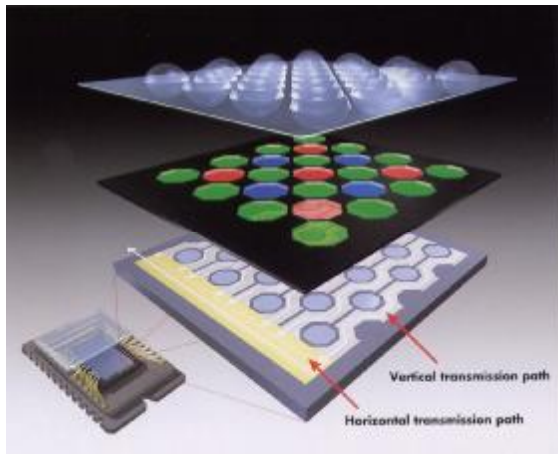
Pierwsze przetworniki CCD posiadały prostokątny kształt fotoelementów. W celu osiągnięcia lepszych efektów rejestracji obrazu firma Fuji Photo Film opracowała przetwornik Super CCD posiadający strukturę plastra miodu, o oktagonalnych komórkach, czyli zbliżoną do budowy siatkówki oka. (rys.7) Ośmiokątny kształt fotoelementów pozwala



Fot.7. Porównanie kształtu fotoelementów matrycy CCD i Super CCD [7, s. 9]

na lepsze wypełnienie powierzchni fotoelementami, wzrost efektywnej apertury (powierzchni

aktywnej), wzrost rozdzielczości matrycy czyli upakowanie na tej samej powierzchni więcej fotoelementów.



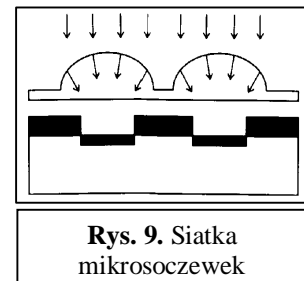
Rys. 8. Budowa warstwowa matrycy Super CCD [7, s. 10]

Rysunek 8 przedstawia budowę warstwową matrycy Super CCD od warstwy fotoelementów przez siatkę filtrów barwnych ze zwiększoną ilością fotoelementów pokrytych filtrem zielonym i warstwę mikro soczewek.

Siatka filtrów barwnych z mozaiką RGBG lub CMYG pozwala uzyskać lepsze odwzorowanie barw ponieważ wyrównuje nadwrażliwość matrycy na światło czerwone przez zwiększony udział fotoelementów pokrytych filtrem zielonym. Przesuwa to sposób rejestracji informacji o barwie w kierunku światła zielonego, na które oko ludzkie jest najbardziej czułe.

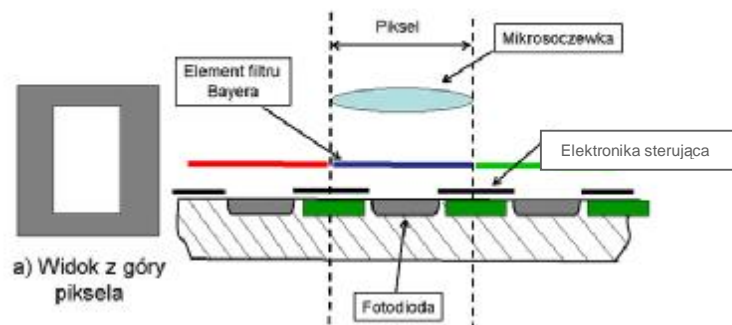
Siatka

mikro soczewek (rys.9) „zbiera”, całe światło, padające na matrycę i kieruje je na fotoelementy, zapobiegając rozproszeniu. Dzięki temu wzrasta efektywna apertura, a tym samym czułość, ponieważ więcej światła dociera do fotoelementów i po naświetleniu powstają większe impulsy prądowe, co poprawia wskaźnik stosunku sygnału do zakłócenia oraz zakres dynamiki (rejestrowany zakres jasności).



Rys. 9. Siatka mikro soczewek

Matryca CMOS - *Complementary Metal Oxide Semiconductor*, to nazwa, oznaczająca technologię wykonania elementów półprzewodnikowych, charakteryzujących się niższym napięciem zasilania, mniejszym poborem mocy i większą odpornością na zakłócenia (w porównaniu z elementami matryc CCD). Głównym wyróżnikiem matryc CMOS, jest sposób (architektura) przesyłu informacji oraz technologia wytwarzania zastosowanych elementów półprzewodnikowych oparta na linii technologicznej masowych pamięci.



Rys. 10. Przekrój matrycy CMOS [16]

Ogólna zasada działania matrycy CMOS jest taka jak matrycy CCD. Matryca CMOS posiada tak zwane „inteligentne piksele” tzn. każdy fotoelement posiada elektroniczne układy sterujące jego pracą w tym wzmacniacz sygnału i rejestrator odczytu. Daje to możliwość

szybszego odczytywania, wzmacniania i przetwarzania informacji zgromadzonej w fotoelementach, kosztem zmniejszenia powierzchni elementu światłoczułego.

Na rysunku 10 zielone prostokąty, oznaczają układ elektroniczny konwersji ładunku na napięcie i wzmacniacz tego napięcia. Zintegrowanie z każdym fotoelementem matrycy CMOS układu elektronicznej konwersji ładunku na napięcie i odczytywanie tego napięcia w systemie adresowania (x, y) znacząco skraca czas odczytu całej matrycy, gdyż przetwarzanie ładunków na napięcie odbywa się równocześnie dla wszystkich pikseli, podczas gdy w matrycy CCD ładunki z każdego piksela doprowadzane są po kolei do jednego układu przetwarzającego.

Wada matryc CMOS wynika z ograniczeń technologicznych. Nie można wytworzyć kilkunastu milionów idealnie jednakowych fotoelementów zamieniających ładunek na napięcie. Oznacza to, że przy jednakowym naświetleniu całej matrycy CMOS z każdego piksela odczytamy nieco inne napięcie, co na obrazie będzie widoczne jako szum. Wadę tą eliminuje się funkcją programu, która pozwala, bezpośrednio po wykonaniu podstawowego zdjęcia, wykonanie przez aparat drugiego, przy zamkniętej migawce mechanicznej. Następnie od wartości napięć reprezentujących obraz obiektu odejmuje się napięcia reprezentujące obraz rejestrowany przy zamkniętej migawce otrzymując obraz pozbawiony szumów. W ten sposób eliminuje się zarówno szumy pochodzące od nierównomiernego wzmacniania sygnału przy poszczególnych pikselach, jak i szumy pochodzące od prądu ciemnego.

Zaletami detektorów CMOS w porównaniu z CCD są:

- mniejsze zużycie energii co ogranicza wydzielanie ciepła, a tym samym zmniejsza intensywność szumów widocznych na obrazie,
- niższe koszty produkcji,
- istnienie dla każdego fotoelementu wzmacniacza odczytu, poprawiającego stosunek sygnału użytecznego do szumu (zmniejszenie szumów poprzez możliwości odczytu tzw. prądu ciemnego),
- możliwość swobodnego dostępu do poszczególnych punktów rejestrowanego obrazu – **adresowalność** (x,y) określająca położenie fotoelementów w matrycy CMOS daje ogromne możliwości programowej kontroli jakości obrazu. Pozwala na szybkie odczytywanie pikseli w dowolnej kolejności, ale też dowolnej ich liczby. Daje to możliwość łatwego odczytu fragmentu obrazu (ang. Windowing – „okienkowanie”,
- możliwość fragmentarycznego sterowania wzmacniaczami odczytu, upraszcza proces ustawiania balansu bieli i pozwala na znaczne przyspieszenie wykonania sekwencji kilku lub nawet kilkunastu zdjęć. Umożliwia też uzyskiwanie efektów artystycznych oraz wykrywanie krawędzi przedmiotów w obrazie, co jest przydatne przy ustawianiu ostrości. Metodą okienkowania możemy zarejestrować zdjęcie o mniejszej rozdzielczości, wczytując np. co któryś piksel, ale możemy też zapisać mały fragment dużego zdjęcia. Może to być fragment o dowolnych wymiarach z dowolnego fragmentu obrazu zarejestrowanego przez matrycę. Okienkowanie pozwala bardzo łatwo i szybko realizować ustawianie ostrości metodą maksymalizacji kontrastu. Wczytujemy bowiem do pamięci procesora małe fragmenty obrazu (te potrzebne do analizy kontrastu), a nie cały obraz, by następnie wybrać z niego potrzebne nam fragmenty [16].

System fragmentarycznego odczytywania pozwala także łatwo sumować ładunki z kilku sąsiednich pikseli. Obniża to wprawdzie rozdzielczość, ale zwiększa czułość, co jest bardzo przydatne przy fotografowaniu w słabym świetle. Mamy bowiem do czynienia z podwyższaniem czułości bez zwiększania poziomu szumów. Konwencjonalne zwiększanie czułości w aparacie cyfrowym polega na zwiększaniu wzmocnienia napięcia uzyskanego z piksela przed podaniem go na przetwornik

analogowo-cyfrowy. Wzmacnianie takie wnosi szумы, analogicznie jak przy wzmacnianiu sygnałów akustycznych.

Wadą układów CMOS jest mniejsza powierzchnia aktywna co wpływa na obniżenie czułości układu na skutek zajmowania części powierzchni przetwornika przez tranzystory wzmacniające sygnał, co sprawia, że gorsza również jest jakość rejestrowanego obrazu [16].

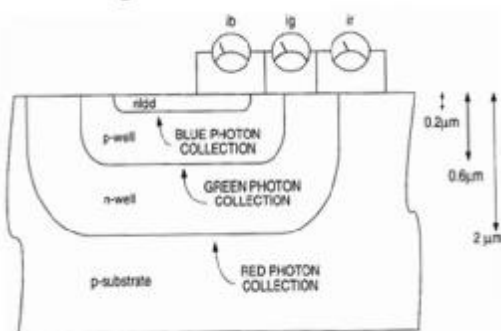
Matryca X3 firmy Foveon to przetwornik obrazu, wykonany w technologii CMOS, w którym zastosowano trzy warstwy z fotodetektorami. Każdy punkt matrycy X3 składa się z trzech fotodetektorów umieszczonych na różnych głębokościach w krzemowej płytce. Matryca X3 działa podobnie jak barwna błona fotograficzna. Wykorzystano tu zjawisko absorpcji fotonów na różnych

głębokościach półprzewodnika. Promieniowanie niebieskie pochłaniane jest na powierzchni krzemowej płytki, zielone dociera głębiej, a czerwone światło „dociera” praktycznie do samego spodu czujnika. Dzięki temu możliwe jest uzyskanie pełnej informacji o barwie światła padającego na każdy pojedynczy punkt matrycy bez interpolacji. Wyeliminowanie interpolacji przy rejestracji zdjęć pozwoliło na zwiększenie ostrości oraz widoczności drobnych szczegółów i znaczne zmniejszenie liczby barwnych artefaktów na zdjęciach (Fot.1).

Artefakty to błędy odwzorowania i zakłócenia powstałe podczas cyfrowej rejestracji obrazu nie istniejące w rzeczywistości [3, s. 66].

Pierwszym aparatem cyfrowym, w którym zastosowano przetwornik X3 jest Sigma SD9. Technologia Foveon® X3™ pozwala na uzyskanie dwukrotnie lepszej ostrości oraz lepszego odwzorowania kolorów.

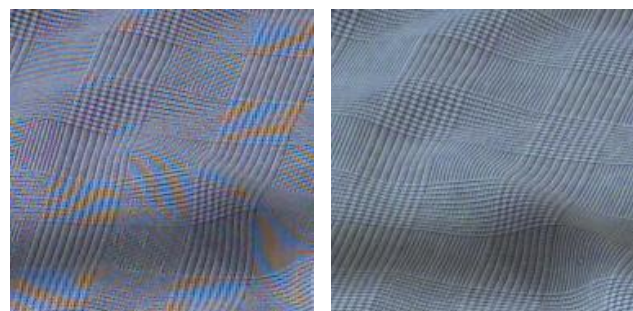
Rysunek 12 przedstawia przekrój fotoelementu matrycy X3 z mechanizmem odczytu ładunku elektrycznego zgromadzonego na różnej głębokości warstwy krzemowej.



Rys. 12. Przekrój fotoelementu matrycy X3



Rys. 11. Przekrój warstwowy matrycy X3 oraz klasycznego materiału fotograficznego barwnego [18]



a. obraz zarejestrowany matrycą z filtrami mozaikowymi
b. obraz zarejestrowany matrycą Foveon X3

Fot. 1. Artefakty występujące na obrazie (a) [18]

W strukturze warstwy krzemowej wytworzone są trzy warstwy półprzewodnikowe, których granice znajdują się na odpowiedniej głębokości. Odczytywane są wartości ładunków zgromadzonych w każdej warstwie, które odpowiadają intensywności barw podstawowych w danym pikselu (ib, ig, ir). W ten sposób X3 zapewnia pomiar całego widma światła dokładnie w tym samym punkcie - każdy punkt zawiera więc pełną informację o barwie. Takie

rozwiązanie nie tylko eliminuje zbędne obliczenia, prowadzące w klasycznych rozwiązaniach do odtworzenia koloru pojedynczego punktu, ale także zapewnia większą liczbę punktów rejestrowanych w przetworniku o takiej samej powierzchni lub większą czułość matrycy przy takiej samej rozdzielczości [12, s. 42].

4.1.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jaką rolę w procesie zdjęciowym pełni detektor obrazu?
2. Jakie detektory obrazu stosowane są w aparatach cyfrowych?
3. Jaki detektor posiada budowę zbliżoną do barwnego materiału fotograficznego?
4. W jaki sposób pozyskujemy informacje o barwach obrazu w elektronicznych detektorach obrazu?
5. Jaka jest ogólna zasada działania elektronicznych detektorów obrazu?
6. Co to jest efektywna apertura w odniesieniu do elektronicznego detektora obrazu?
7. Jakie różnice występują pomiędzy detektorem CCD i CMOS?
8. Jakie zalety posiada matryca Super CCD?
9. Jaką rolę pełni siatka mikrosoczewek w budowie detektora?
10. Jaką budowę posiada pojedynczy fotelement matrycy (tzw. złącze MIS)?
11. Jak następuje sczytywanie informacji w matrycy CCD?

4.1.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Na podstawie schematów obrazujących budowę i zasadę działania określ rodzaj elektronicznego detektora obrazu.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z literaturą zawodową oraz materiałami zawartymi w jednostce modułowej,
- 2) przeanalizować schematy budowy i zasady działania,
- 3) określić rodzaj detektora obrazu przedstawionego na schemacie,
- 4) zaprezentować w formie pisemnej rezultaty realizacji ćwiczenia,
- 5) dołączyć pracę do teczki dokumentującej realizację ćwiczeń.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura zawodowa, foldery obrazujące elektroniczne detektory obrazu wraz ze schematami budowy i zasady działania,
- materiały piśmiennicze.

Ćwiczenie 2

Porównaj elektroniczne detektory obrazu przedstawiając na dwóch oddzielnych planszach ich wady i zalety.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z literaturą zawodową, katalogami oraz informacjami producentów dostępnymi w Internecie na temat elektronicznych detektorów obrazu i cyfrowych aparatów fotograficznych,

- 2) przeanalizować treści pod względem wad i zalet matryc CCD i IV generacji Super CCD,
- 3) przeanalizować treści pod względem wad i zalet matrycy CMOS,
- 4) przeanalizować treści pod względem wad i zalet matrycy X3,
- 5) wypisać wady i zalety matryc CCD i IV generacji Super CCD,
- 6) wypisać wady i zalety matrycy CMOS,
- 7) wypisać wady i zalety matrycy X3,
- 8) zaprezentować w formie pisemnej rezultaty realizacji ćwiczenia,
- 9) dołączyć pracę do teczki dokumentującej realizację ćwiczeń.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura zawodowa,
- katalogi sprzętu fotograficznego różnych producentów,
- komputer z dostępem do Internetu,
- karta pracy.

Ćwiczenie 3

Narysuj budowę warstwową matrycy X3, nazwij poszczególne warstwy, określ ich funkcję.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z literaturą zawodową, katalogami oraz informacjami producentów elektronicznych detektorów obrazu i cyfrowych aparatów fotograficznych zamieszczonymi w Internecie,
- 2) narysować budowę warstwową detektora X3,
- 3) nazwać poszczególne elementy budowy,
- 4) określić ich funkcję,
- 5) przedstawić zalety detektora obrazu,
- 6) zaprezentować w formie pisemnej rezultaty realizacji ćwiczenia,
- 7) dołączyć pracę do teczki dokumentującej realizację ćwiczeń.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura zawodowa,
- katalogi sprzętu fotograficznego różnych producentów,
- komputer z dostępem do Internetu,
- karta pracy.

4.1.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

| | Tak | Nie |
|--|--------------------------|--------------------------|
| 1) wyszczególnić elektroniczne detektory obrazu? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2) określić elementarną budowę detektora obrazu? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3) wyjaśnić ogólną zasadę działania elektronicznego detektora obrazu? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4) wyjaśnić proces zapisu informacji obrazowej na nośnikach elektronicznych? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5) określić rolę poszczególnych elementów budowy złącza MIS w matrycach CCD i CMOS? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6) wyjaśnić budowę i zapis informacji optycznej na fotoelementach matrycy firmy Foveon - X3? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7) wskazać zalety matrycy Super CCD? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8) wyjaśnić funkcję elektronicznego detektora obrazu? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9) uzasadnić układ filtrów barwnych we współczesnych matrycach CCD? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 10) wyjaśnić zasadę działania matrycy X3? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 11) uzasadnić zalety wynikające z wprowadzenia oktagonalnych fotoelementów w matrycy CCD? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 12) porównać działanie różnych detektorów obrazu? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

4.2. Właściwości użytkowe i tendencje rozwojowe elektronicznych detektorów obrazu

4.2.1. Materiał nauczania

Właściwości użytkowe elektronicznych detektorów obrazu

Rozdzielczość matrycy i rozdzielczość aparatu cyfrowego są terminami używanymi zamiennie ponieważ wmontowana na stałe matryca jest integralną częścią aparatu.

Rozdzielczość elektronicznych detektorów obrazu określa stopień rozróżniania szczegółów obrazu i wyraża się liczbą fotoelementów (pikseli) matrycy w wierszach i kolumnach. np. 1780x2360 pikseli lub sumaryczną liczbą pikseli (w tym przypadku ~4 milionów pikseli – 4,2[MP]).

Parametrem zależnym od liczby pikseli jest rozdzielczość obrazu uzyskiwanego przy pomocy określonego aparatu/matrycy. Na przykład aparat firmy Canon S2IS ma matrycę 5,3MP a maksymalna rozdzielczość obrazu wynosi 2592x1944 pikseli. To znaczy, że fotografia wykonana tym aparatem będzie składała się z 1944 linii, każda po 2592 punkty. Mnożąc liczbę linii przez liczbę pikseli w linii otrzymamy $2592 \times 1944 = 5038848$, czyli w przybliżeniu 5,03MP. Widać z tego, że nie wszystkie piksele matrycy zostały wykorzystane do odwzorowania fotografowanego obiektu tylko tzw. **piksele efektywne**. Do liczbowego określenia rozdzielczości obrazu stosujemy również jednostkę ppi (pixel per inch – pikseli na cal) Od rozdzielczości matrycy zależy wierność odwzorowania szczegółów na obrazie [5, s. 23].

Im więcej milionów fotoelementów (megapikseli) posiada matryca, tym większą uzyskamy zdolność rozdzielczą zdjęcia zarejestrowanego na tej matrycy i większe rozmiary odbitki, dobrej jakości, na której nie widać granic między poszczególnymi pikselami tworzącymi obraz [17].

Rozdzielczość, z jaką rejestrujemy obraz zależy od jego przeznaczenia. Obraz przeznaczony do publikacji w Internecie lub prezentacji multimedialnej wystarczy zarejestrować z rozdzielczością monitora, która wynosi 72-110 ppi. Rejestrując aparatem cyfrowym obraz z przeznaczeniem do publikacji należy uwzględnić wielkość wydruku oraz rozdzielczość najlepiej 300 dpi. Po odpowiednim przeliczeniu tych warunków wydruku określimy wymaganą liczbę pikseli na obrazie w wierszach i kolumnach, którą łatwo przenieść na fizyczną rozdzielczość detektora w celu uzyskania wymaganej rozdzielczości bez konieczności pozyskiwania zbędnej informacji nadmiarowej.

Standard rozdzielczości wydruku 300 dpi gwarantuje bardzo dobrą jakość odbioru obrazu przez obserwatora, ponieważ leży na granicy rozdzielczości oka ludzkiego (10-15 linii/mm) poniżej, której dostrzegalne są już pojedyncze elementy budowy obrazu (tj. piksele, ziarno, liniatura rastra itp.).

Efektywne piksele W danych o aparacie cyfrowym producent podaje zwykle dwie liczby określające ilość pikseli w matrycy:

- **liczba wszystkich pikseli** (np. **8.2 MP**) określa ile pikseli światłoczułych jest na matrycy tego aparatu,
- **liczba efektywnych pikseli** (np. **8.0 MP**). określa liczbę pikseli matrycy, które składają się na elementy robionego zdjęcia i jest praktycznie równa iloczynowi podanej przez producenta rozdzielczości aparatu (liczbie fotoelementów w wierszach i kolumnach matrycy).

Pozostałe piksele brzegowe (na zewnątrz efektywnych) są potrzebne do uzyskania informacji o jasności i barwie światła, którym naświetlone zostały piksele.

Np. Canon PowerShot A630, ma matrycę **8.2 MP** a efektywną liczbę pikseli - **8.0 MP** Maksymalna rozdzielczość tego aparatu to **3264 x 2448** co daje 7.990272 milionów fotoelementów w przybliżeniu równa liczbie podanych efektywnych megapikseli [www.fotoporadnik.pl].

Czułość matrycy zależy od wielkości pojedynczego piksela, a dokładnie od jego powierzchni aktywnej. Im powierzchnia aktywna fotoelementu jest mniejsza tym mniejsze powstają impulsy prądowe i niższa jest czułość bazowa (podstawowa) matrycy gwarantująca najlepszą jakość obrazu.

Czułość matrycy rejestrującej obraz można regulować i dlatego określamy ją poprzez **stopień wzmocnienia sygnału pochodzącego z komórek światłoczułych matrycy**. Wzmocnienie musi być tym silniejsze im słabszy jest sygnał, czyli im mniej światła padło na poszczególne komórki matrycy. Wzrost stopnia wzmocnienia czułości matrycy powoduje wzrost wielkości szumów i pogorszenie jakości obrazu.

Liczbowo czułość matrycy określa się w postaci ekwiwalentu wartości stosowanych w fotografii tradycyjnej wyrażonej w jednostkach ISO [10, s. 20].

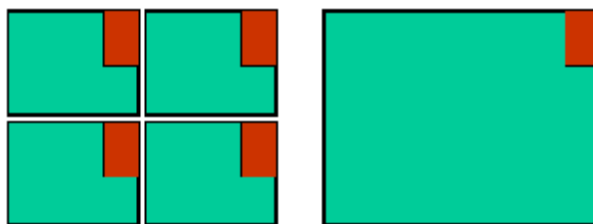
Fotograficzny aparat cyfrowy pozwala na regulację czułości w dość szerokim zakresie od czułości bazowej, która zwykle wynosi 100 ISO.

Maksymalna czułość matrycy w aparatach średniej klasy to 400 - 800 ISO. Regulację czułości do 3200 ISO posiadają matryce w aparatach profesjonalnych. Minimalna czułość matrycy, którą można ustawić to 50 ISO. W aparatach amatorskich funkcją zmiany czułości steruje komputer, w profesjonalnych jest również manualny tryb zmiany czułości matrycy.

Zdjęcia wykonane przy mniejszej czułości matrycy mają lepszą jakość. Wymaga to lepszego oświetlenia planu zdjęciowego [17].

Tryby podwyższonej czułości. Istnieją dwie metody realizacji trybów podwyższonej czułości matrycy:

- pierwsza polega na **typowym wzmocnieniu sygnału** zarejestrowanego przez piksele matrycy, daje zdjęcia dobrej jakości przy wzmocnieniu do ISO 200 i zachowaniu maksymalnej rozdzielczości matrycy,
- druga, bardziej zaawansowana technologicznie, wykorzystuje „**binning**” (**łączenie**) **wraz ze wzmocnieniem sygnału** (stosowana w nowszych aparatach cyfrowych). W metodzie tej pojedyncze piksele matrycy łączone są programowo w pary, po cztery, lub po osiem. Ładunek elektryczny wygenerowany w takiej grupie pikseli jest sumowany i interpretowany jako jeden silniejszy sygnał. Taka metoda zmniejsza rozdzielczość rejestrowania obrazu, ponieważ zamiast np. 8 milionów punktów ta sama powierzchnia matrycy rejestruje np. 4 czy tylko 2 miliony punktów. Sygnał pochodzący od każdej czwórki pikseli jest silniejszy, ale słabszy od sygnału jaki można otrzymać z jednego piksela o powierzchni 4x większej który ma tylko jeden element odczytujący ograniczający powierzchnię aktywną (rys. 13) [16].



Rys. 13. Porównanie sumarycznej powierzchni czynnej (zielony kolor) czterech pikseli z powierzchnią czynną jednego piksela 4x większego. Kolorem czerwonym zaznaczono część piksela przysłoniętą elementami odczytującymi ładunek [17]

Podwyższenie czułości kosztem rozdzielczości ogranicza wzrost szumów i spadek jakości obrazu.

Szумы to zakłócenia sygnału elektrycznego, niekorzystnie wpływające na jakość obrazu. Szumami nazywamy istniejący w fotoelementach ładunek samoistnych (swobodnych) nośników prądowych, generowany przez piksel w ciemności. Jeśli sygnał elektryczny powstały w fotoelemencie po naświetleniu jest bardzo mały to zleje się on z szumem elektronów swobodnych i zostanie zakłócony.

Poziom szumów zależy od temperatury otoczenia detektora, wielkości komórek matrycy oraz ustawionej czułości. Podwyższona temperatura, małe komórki i forsowanie czułości matrycy prowadzi do dużych zakłóceń obrazu w postaci tzw. jasnych („gorących”) pikseli i „cyfrowego ziarna” [10, s. 20].

Efektywna apertura – to wyrażony w procentach stosunek powierzchni aktywnej (reagującej na światło) do całkowitej powierzchni elektronicznego detektora obrazu.

Dynamika matrycy Sygnał elektryczny generowany w fotoelemencie matrycy jest wprost proporcjonalny do natężenia i czasu działania padającego na niego światła. Piksel może wygenerować sygnał elektryczny od ~ 0 do pewnej wartości maksymalnej, (np. 100 jednostek). „0” to sygnał szumu piksela. Sygnał 100 jest generowany przy bardzo jasnym oświetleniu matrycy. Jeżeli fotoelement oświetlimy jeszcze jaśniejszym światłem, to generowany sygnał prądowy już nie wzrośnie, bo 100 jednostek to najwyższa możliwa wartość sygnału.

Dynamikę całej matrycy wyrażamy jako **stosunek największego** możliwego do otrzymania sygnału elektrycznego do **najmniejszego**, który generuje piksel nie oświetlony. Im większa jest dynamika matrycy, tym lepiej oddane są na zdjęciu szczegóły w światłach i cieniach obrazu.

Mała dynamika matrycy powoduje, że zdjęcie jest „płaskie”. Światła i cienie obrazu o zróżnicowanej jasności będą na zdjęciu odwzorowane jako obszary o jednakowej jasności co spowoduje pogorszenie lub brak rozróżnialności szczegółów i małe zróżnicowanie przejść tonalnych od światła do cieni [17].

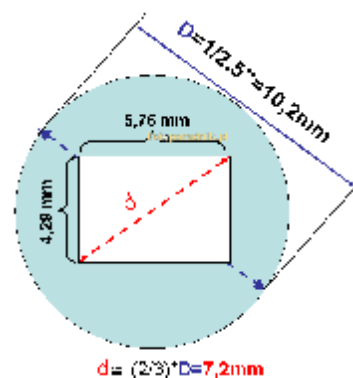
Blooming - przelewanie, wykwitanie. Pojedynczy element matrycy pod wpływem naświetlania gromadzi elektrony, w ilości proporcjonalnej do ilości światła. Im więcej elektronów wyzwoli padające światło, tym jaśniejszy będzie na zdjęciu punkt odpowiadający temu elementowi. Pojemność fotoelementu jest jednak ograniczona.

Bardzo silne naświetlenie może wygenerować liczbę elektronów przekraczającą pojemność fotoelementu i nastąpi „przelanie” elektronów na sąsiednie, mniej naświetlone, fotoelementy. Natomiast nie wpłynie już na wzrost jasności tego punktu obrazu.

Te nadmiarowe elektrony z przepełnionego fotoelementu rozjaśniają punkt obrazu, do którego się „przelały”. To zjawisko nazywamy po angielsku **blooming** i tłumaczymy jako **efekt rozlewania się najwyższych światła na sąsiednie piksele obrazu**. Dodatkowym efektem bloomingu mogą być pewne przebarwienia w miejscach pikseli „zasilonych” nadmiarowymi elektronami) [17].

Wielkość matrycy

Producenci aparatów cyfrowych podają informacje o wielkości matrycy w postaci ułamka 1/2.5”, 1/1.8”, 2/3” itd. Tą liczbę należy traktować jak symbol oznaczający wielkość ponieważ nie ma ona prostego przełożenia na rzeczywistą wielkość matrycy. Jest to podana wartość średnicy (**D**) pola obrazu w postaci ułamka 1/3,6 co zapisywano 1/3.6”. Wiedząc, że 1 cal=25,4mm, po



Rys. 14. Interpretacja symbolu okr. wielkość matrycy) [17]

obliczeniu wartości ułamka i zamianie jednostek na [mm] uzyskujemy wartość **1 : 2,5" x 25,4 mm = 10,16 mm** odpowiadająca w przybliżeniu średnicy pola obrazu optycznego rysowanego przez obiektyw.

Z kolistego obszaru obrazu dla rejestracji można wykorzystać jedynie pole o średnicy $d \sim 2/3$ pełnego wymiaru średnicy. Przekątna prostokąta wpisanego w taki mniejszy okrąg jest oczywiście mniejsza niż średnica dużego okręgu (**D**), ale właśnie tę większą średnicę zostawiono jako symbol wielkości matrycy. Ten sposób wyrażania rozmiarów matrycy powstał w latach 50-tych XX wieku i służył do określenia standardowej wielkości lampowych przetworników obrazowych, stosowanych w kamerach telewizyjnych. Jako rozmiar przyjęto zewnętrzną średnicę bańki lampy analizującej. Przekątna użytecznego obszaru powierzchni światłoczułej stanowiła około $2/3$ tego rozmiaru. Do określenia wielkości matryc w aparatach cyfrowych wykorzystano ten standard.

Rysunek 14 przedstawia, że $1/2.5''$ to symbol, któremu przypisane są określone wymiary matrycy poprzez definiowanie dużej średnicy (tu $\sim 10,2$ mm), z której przekątna matrycy wynosi $2/3$ jej długości tj.

$$d \approx (2/3) \cdot D = (2/3 \cdot 10,2 \text{ mm}) \approx 6,8 \text{ mm} \approx 7,2 \text{ mm w rzeczywistości}$$

Jak widać, nie ma tu dokładnego przelicznika matematycznego tylko orientacyjny, dlatego symbol oznaczenia wielkości matrycy $1 / 2,5''$ należy traktować umownie (patrz Tabela1) [17].

Tabela 1 Oznaczenie przykładowych wielkości matrycy – symbol wielkości matrycy i odpowiadające im rzeczywiste rozmiary matryc w milimetrach.[17]

| SYMBOL | Średnica D [mm] | Przekątna matrycy [mm] | Wymiary matrycy [mm] | Ogniskowa standardowa [mm] |
|-----------------------------|-----------------|------------------------|----------------------|----------------------------|
| 1/2.7" | 9,4 | 6,72 | 5.37 x 4.04 | 6,7 |
| 1/2.5" | 10.2 | 7,2 | 5.76 x 4.29 | 7,0 |
| 1/1.8" | 14,1 | 8,93 | 7,18 x 5,32 | 9,0 |
| 1/1.7" | 14,9 | 9,50 | 7.60 x 5.70 | 9,5 |
| 1/1.6" | 15,9 | 10,5 | 8,4 x 6,3 | 10,5 |
| 2/3" | 16,9 | 11,0 | 8.80 x 6.60 | 11,0 |
| APS-C | 45,7 | 27,3 | 22.70 x 15.10 | 27,0 |
| Klatka filmu małobrazkowego | 64,9 | 43,3 | 36 x 24 | 50,0 |

Rozmiary geometryczne matryc i proporcja zdjęć

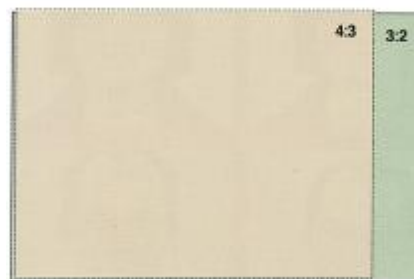
Rozmiary geometryczne matrycy w cyfrowych aparatach kompaktowych wynoszą około 5 x 4 mm, co stanowi zaledwie $1/40$ powierzchni klatki filmu 35mm (36x24 mm). Taka matryca oznaczana jest wg przyjętej konwencji jako matryca o wielkości $1/2,5''$. Większe matryce są montowane w cyfrowych lustrzankach. Im większa jest wartość liczby otrzymanej z podzielenia licznika przez mianownik oznaczenia wielkości tym większa jest matryca światłoczuła. Tabela2 zawiera kilka typowych wielkości matryc.

Tabela 2 Typowe wielkości matryc, ich oznaczenie i proporcja zdjęć

| Oznaczenie wielkości | Proporcja zdjęć | Szerokość w mm | Wysokość w mm |
|----------------------|-----------------|----------------|---------------|
| 1 / 3,6" | 4 : 3 | 4,000 | 3,000 |
| 1 / 2,7" | 4 : 3 | 5,371 | 4,035 |
| 1 / 2,5" | 4 : 3 | 5,760 | 4,290 |
| 1 / 1,8" | 4 : 3 | 7,176 | 5,319 |
| 2 / 3" | 4 : 3 | 8,800 | 6,600 |

Proporcja zdjęć Na filmie małobrazkowym 36x24 mm rejestrowane są zdjęcia o stosunku szerokości do wysokości 3:2. Tak więc z całej klatki możemy zrobić odbitkę o wymiarach 10x15 cm. Matryce rejestrujące pozwalały na zapis obrazu przede wszystkim w proporcjach 4:3 podczas gdy odbitki wykonywano w formacie o proporcjach 3:2 dostosowując na trzy sposoby te różnice proporcji boków:

- metoda wypełnienia – FILL-IN, FUL PAPER (dopasowanie zdjęcia do formatu odbitki przez jego skadrowanie – obcięcie boków zdjęcia poziomego, góry i dołu –zdjęcia pionowego),
- metoda dopasowania – FIT-IN, FULL IMAGE (wpasowanie całego kadru w format odbitki – pojawienie się białych pasów z boków – zdjęcie pionowe, z góry i dołu – zdjęcie poziome),
- NO RESIZE, REALSIZE, AUTO ADVANCE – naświetlenie w formacie zadanym przez klienta bez przeskalowywania i kadrowania.



Rys. Porównanie zdjęć o różnej proporcji boków [11, s. 80]

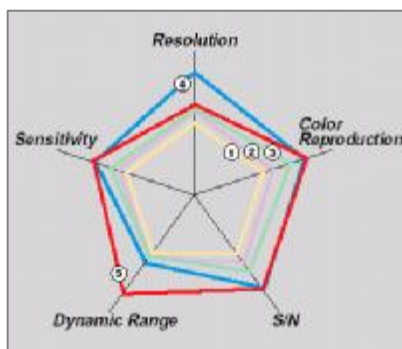
Obecnie na rynku znajdują się aparaty z matrycami i proporcjach boków 4:3 i 3:2. Przykładowe formaty przedstawione są w tabeli 3 [11, s. 81].

Tabela 3.[11, s.81]

| Proporcje cyfrowych matryc | | | |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 4:3 | 3:2 | 4:3 | 3:2 |
| 640 x 480 | | 2032 x 1524 | 2400 x 1600 |
| 1024 x 768 | 1125 x 750 | 2320 x 1744 | 3000 x 2000 |
| 1600 x 1200 | 2144 x 1424 | 4048 x 3040 | 4992 x 3328 |

Tendencje rozwojowe elektronicznych detektorów obrazu ukierunkowane są na:

- wzrost rozdzielczości,
- wzrost czułości matrycy,
- poprawę reprodukcji barw,
- zwiększenie dynamiki,
- wzrost korzystnego stosunku obrazowego sygnału elektrycznego do szumu (rys. 15).



Rys.15. Zmiana właściwości użytkowych matryc CCD

- (1) 2000 r. I generacja Super CCD FinePix 4700 Zoom, 4900 Zoom
- (2) 2001 r. II generacja Super CCD FinePix 6800 Zoom, 6900 Zoom
- (3) 2002 r. III generacja Super CCD FinePix F601 Zoom, S603 Zoom,
- 2003 r. IV generacja Super CCD
- (4) Super CCD HR
- (5) Super CCD SR Fuji FinePix F700

Podwyższenie rozdzielczości matrycy czterema drogami przez:

- zmniejszenie rozmiarów pojedynczych fotoelementów (powoduje to ograniczenie powierzchni aktywnej (efektywnej apertury) co z kolei wpływa na zmniejszenie ilości fotoelektronów, które giną w szumie elektronów termicznych, zmniejsza się też użyteczna rozpiętość naświetleń, oraz wzrasta niejednorodność właściwości bardzo małych elementów (w matrycy Super CCD HR - High Resolution przy zachowaniu formatu matrycy 1/1,7 cala wzrost rozdzielczości uzyskano przez zmniejszenie rozmiaru aktywnej powierzchni fotoelementu z jednoczesnym zwiększenie intensywności światła docierającego do każdej fotodiody. Uniknięto w ten sposób uzyskiwania zbyt małych impulsów prądowych zlewających się z szumem elektronów swobodnych),
- zmiana kształtu fotoelementów na ośmiokątny zastosowana w matrycy Super CCD daje możliwość zwiększenia rozdzielczości obrazu wzdłuż linii poziomych i pionowych - a percepcja



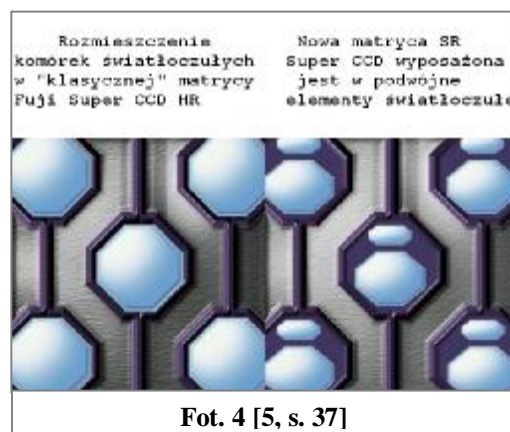
Fot. 3 Ułożenie pikseli w tradycyjnej i nowoczesnej matrycy CCD na podst. [7, s. 9]

ludzkiego oka jest nastawiona na odbiór informacji wzdłuż linii poziomych (fot. 3), dodatkowo ośmiokątny kształt sensora pozwala ma wzrost powierzchni aktywnej a przez to również wzrost czułości matrycy,

- zwiększenie gęstości upakowania fotoelementów (powoduje spadek efektywnej apertury co prowadzi do obniżenia czułości matrycy, a cienkie ścianki izolacyjne (tzw. „martwe strefy”) nie zabezpieczają dobrze przed efektem bloomingu),
- zwiększenie rozmiarów całego detektora (powoduje wzrost ceny układu ponieważ trudno uzyskać duże powierzchnie matrycy wolne od defektów).

Wzrost dynamiki matrycy, czyli wzrost zakresu użytecznej rozpiętości naświetleń uzyskano w matrycy Super CCD SR. Skrót SR w nazwie oznacza większy od dotychczasowego zakres dynamiki (Super Dynamic Range). Przekłada się to w praktyce na możliwość zarejestrowania szczegółów zarówno w światłach jak i w cieniach obrazu, czyli prawidłową rejestrację obrazów o dużym kontraście.

Jest to realizowane dzięki specjalnej budowie warstwy fotodiod, które mają kształt ośmiokątny i występują parami. Każda para diod odpowiada za tworzenie jednego punktu obrazu (fot. 4).



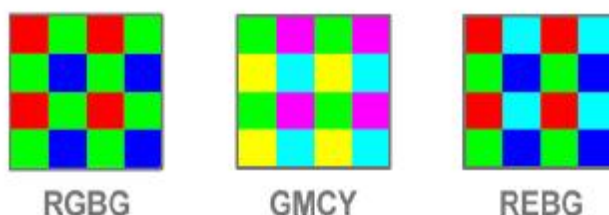
Fot. 4 [5, s. 37]

Tabela 4 przedstawia działanie detektora o zwiększonej dynamice.

Tabela 4 Działanie fotoelementów matrycy Super CCD SR [<http://www.fujifilmusa.com>]

| | | |
|---|---|---|
| | | |
| <p>Pierwsza - większa i bardziej czuła fotodioda jest odpowiedzialna za detekcję przy niskim poziomie oświetlenia, rejestruje cienie i półtony obrazu</p> | <p>Druga - mniejsza, mniej czuła rejestruje przy wysokim poziomie oświetlenia - odwzorowuje szczegóły w światłach obrazu.</p> | <p>Sygnały z obu fotodiod są odczytywane przez procesor aparatu i na tej podstawie tworzony jest punkt obrazu</p> |

Poprawa reprodukcji barw została osiągnięta przez zwiększenie elementów pokrytych filtrem zielonym, co kompensuje nadczułość matrycy na długofalowe promieniowanie czerwone. Stosowano układ siatki filtrów **RGBG** oraz **GMCY**. Czterobarwna matryca **REBG** z fotoelementem szmaragdowym (E-emerald) sprawia, że wszystkie rejestrowane odcienie są znacznie bardziej nasycone. Efekt ten jest widoczny zwłaszcza przy przejściach tonalnych od barwy niebieskiej



Rys. 16. Siatka filtrów barwnych w matrycach CCD

do zielonej. Uzyskiwane zdjęcia są przez to bardziej naturalne i miękkie oraz, według producenta, lepiej odpowiadają percepcji ludzkiego oka.

Dodatkowym kierunkiem działań jest zwiększenie dostępnych funkcji i ustawień aparatu powodujących optymalne ich wykorzystanie w procesie rejestracji tj.:

- wybór proporcji zdjęć przez zdefiniowanie obszaru na powierzchni matrycy, na którym będzie rejestrowane zdjęcie,
- nakierowanie całej elektroniki i oprogramowania aparatu na **modyfikację rejestracji natężenia światła** przez matrycę, tak by odwzorowywała rejestrowane obiekty w sposób najbardziej zbliżony do działania oka ludzkiego. Towarzyszyć temu powinna zmiana liniowej charakterystyki reakcji matrycy na światło na charakterystykę logarytmiczną zgodną z postrzeganiem rzeczywistości przez człowieka. **Liniowość matrycy** światłoczułej oznacza, że wielkość ładunku elektrycznego wygenerowanego na fotoelemencie podczas naświetlania jest wprost proporcjonalna do natężenia tego światła. Zależność ta jest zachowana do osiągnięcia stanu nasycenia (w którym dalszy wzrost wielkości sygnału nie zwiększa ładunku w fotoelemencie). Oko ludzkie jest logarytmicznym detektorem światła, „wzmacnia” słabe oświetlenie a „tłumi” bardzo jasne [17],
- **VPS - zmienna liczba pikseli w matrycy Foveon** – zmiana wielkości piksela - polega na sposobie odczytu kilku pikseli jako jeden punkt geometryczny. (variable size pixel - VPS). Opcja VPS pozwala na odczytywanie dowolnie wybranego bloku pikseli (np. 4 x 4) jako jednego punktu. Tak „zmodyfikowana” matryca będzie miała rozdzielczość 4 x mniejszą, ale sygnał elektryczny generowany w każdym bloku pikseli będzie około 16x silniejszy niż od pojedynczego piksela co oznacza poprawę stosunku sygnału do szumu. Daje to możliwość fotografowania przy słabszym oświetleniu bez pogorszenia jakości zdjęcia kosztem ograniczonej rozdzielczości [17],
- **jaśniejszy obraz** – wprowadzenie nowej technologii produkcji matryc przez firmę Kodak, polegającej na stosowaniu, oprócz fotoelementów rejestrujących światło czerwone, zielone i niebieskie, fotoelementów panchromatycznych – rejestrujących wszystkie długości fal promieniowania widzialnego. Takie fotoelementy zbierają więcej światła docierającego do czujnika co powoduje poprawę jakości obrazu rejestrowanego przy słabym oświetleniu. Daje to możliwość stosowania krótszych czasów naświetlania co ogranicza nieostrość przy fotografowaniu obiektów ruchomych, oraz stosowania mniejszych pikseli co z kolei wpływa na podwyższenie rozdzielczości przy zachowaniu wielkości matrycy i dobrej jakości obrazu [23, s. 46-47].

4.2.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. W jaki sposób dobrać parametry rejestracji detektora do przeznaczenia obrazu?
2. Jakie właściwości użytkowe charakteryzują elektroniczny detektor obrazu?
3. W jaki sposób realizujemy korekcję zapisu informacji o barwach obrazu w elektronicznych detektorach obrazu?
4. Jaka jest ogólna zasada działania elektronicznych detektorów obrazu?
5. W jakich jednostkach określa się rozdzielczość elektronicznego detektora obrazu?
6. Wyjaśnij pojęcie efektywnej apertury w odniesieniu do elektronicznego detektora obrazu?
7. Od czego zależy poziom szumów na obrazie cyfrowym?
8. Jakie są kierunki rozwoju elektronicznych detektorów obrazu związane ze sposobem rejestracji informacji o barwach obrazu cyfrowego?
9. W jakim celu wprowadzono do poleceń obsługujących elektroniczne matryce opcję VPS?

10. Jakie proporcje zdjęć można otrzymać z aparatu cyfrowego?
11. Na czym polega efekt bloomingu?
12. Co to są efektywne piksele?

4.2.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Na podstawie dostępnych informacji zawartych w literaturze zawodowej, katalogach produktów oraz Internecie wypisz i pogrupuj wszystkie parametry użytkowe elektronicznych detektorów obrazów.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) zapoznać się z literaturą zawodową, katalogami oraz informacjami producentów dostępnymi w Internecie na temat elektronicznych detektorów obrazu stosowanych w cyfrowych aparatach fotograficznych,
- 2) wypisać wszystkie cechy użytkowe określające elektroniczne detektory obrazu,
- 3) wyjaśnić wpływ parametru użytkowego na sposób rejestracji i jakość obrazu,
- 4) pogrupować parametry użytkowe według ich wpływu na wielkość, kształt i określoną cechę jakości obrazu,
- 5) zaprezentować w formie pisemnej rezultaty realizacji ćwiczenia,
- 6) dołączyć pracę doteczki dokumentującej realizację ćwiczeń.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura zawodowa,
- katalogi sprzętu fotograficznego różnych producentów,
- komputer z dostępem do Internetu,
- karta pracy.

Ćwiczenie 2

Określ cechy użytkowe wskazanych detektorów obrazu, zapisz je oraz zinterpretuj te wielkości.

Sposób wykonania ćwiczenia.

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) zapoznać się z literaturą zawodową, katalogami oraz informacjami producentów dostępnymi w Internecie na temat elektronicznych detektorów obrazu stosowanych w cyfrowych aparatach fotograficznych,
- 2) wypisać cechy użytkowe wskazanych detektorów obrazu,
- 3) wyjaśnić wpływ parametru użytkowego na sposób rejestracji i jakość obrazu,
- 4) zaprezentować w formie pisemnej rezultaty realizacji ćwiczenia,
- 5) dołączyć pracę doteczki dokumentującej realizację ćwiczeń.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura zawodowa,
- katalogi sprzętu fotograficznego różnych producentów,
- komputer z dostępem do Internetu,
- karta pracy.

Ćwiczenie 3

Wyjaśnij wpływ budowy matrycy Super CCD SR na możliwość rejestracji obrazów o zwiększonym zakresie dynamiki.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się materiałem nauczania, literaturą zawodową, katalogami producentów oraz informacjami zamieszczonymi w Internecie dotyczącymi detektorów CCD różnych generacji,
- 2) narysować budowę detektora Super CCD SR z uwzględnieniem kształtu, rozmieszczenia i wielkości fotoelementów,
- 3) wyjaśnić wpływ budowy matrycy na zakres rejestrowanych jasności obrazu optycznego,
- 4) zaprezentować w formie pisemnej rezultaty realizacji ćwiczenia,
- 5) dołączyć pracę do teczki dokumentującej realizację ćwiczeń.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura zawodowa,
- katalogi sprzętu fotograficznego różnych producentów,
- komputer z dostępem do Internetu,
- karta pracy.

Ćwiczenie 4

Porównaj wskazane detektory obrazu na podstawie analizy ich podstawowych parametrów użytkowych oraz określ ich przydatność do rejestracji informacji obrazowej.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się materiałem nauczania, literaturą zawodową, katalogami producentów oraz informacjami zamieszczonymi w Internecie na temat właściwości i przeznaczenia elektronicznych detektorów obrazu,
- 2) wypisać podstawowe parametry użytkowe wskazanych detektorów obrazu,
- 3) porównać wskazane detektory obrazu na podstawie analizy ich podstawowych parametrów użytkowych,
- 4) określić przydatność detektorów do rejestracji określonej informacji obrazowej,
- 5) zaprezentować w formie pisemnej rezultaty realizacji ćwiczenia,
- 6) dołączyć pracę do teczki dokumentującej realizację ćwiczeń.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura zawodowa, katalogi sprzętu fotograficznego różnych producentów,
- komputer z dostępem do Internetu,
- karta pracy.

4.2.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

| | Tak | Nie |
|--|--------------------------|--------------------------|
| 1) wyszczególnić parametry użytkowe elektronicznych detektorów obrazu? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2) scharakteryzować parametry użytkowe elektronicznych detektorów obrazu? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3) wskazać metody podwyższania czułości matrycy Super CCD? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4) określić rozdzielczość elektronicznego detektora obrazu? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5) wskazać kierunki rozwoju elektronicznych detektorów obrazu? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6) wyjaśnić pojęcie czułości bazowej elektronicznego detektora obrazu? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7) wyjaśnić metodę zwiększania rejestrowanego przez elektroniczny detektor zakresu dynamiki? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

4.3. Sposoby zapisu obrazu optycznego

4.3.1. Materiał nauczania

Z punktu widzenia użyteczności fotograficznego aparatu cyfrowego oraz przeznaczenia pliku graficznego istotną kwestią są metody detekcji barwnych obrazów cyfrowych jakimi dysponuje urządzenie wejścia. Rozróżniamy dwie grupy metod detekcji wywodzące się z klasyfikacji detektorów obrazu. Test to **detekcja powierzchniowa i skaningowa**.

Detekcja powierzchniowa może wykorzystywać ekspozycję jednokrotną i wielokrotną, natomiast detekcja skaningowa wykorzystuje linijki skanujące i skanowanie powierzchniowe.

Najważniejszą cechą metody detekcji powierzchniowej z ekspozycją jednokrotną jest możliwość rejestrowania obiektów ruchomych, czego nie oferuje żadna z pozostałych metod rejestracji obrazu optycznego.

DETEKCJA POWIERZCHNIOWA -ekspozycja jednokrotna - przedmioty ruchome

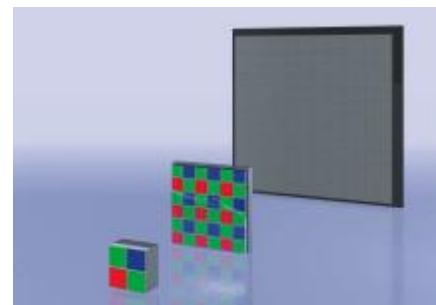
A. Barwne filtry na pojedynczych sensorach umieszczone na prostokątnej płycce detektora - AREA ARRAY

W metodzie tej stosujemy matrycę (o strukturze mozaikowej z filtrami Bayera) występujących obok siebie sensorów pokrytych filtrem niebieskim, czerwonym i zielonym. Barwa w danym miejscu obrazu jest tworzona przez 4 sąsiadujące ze sobą sensory (R, G, B, G), dające przybliżoną informację o składowych chromatycznych danego punktu obrazu. Prowadzi to do pogorszenia jakości obrazu (wierności odwzorowania barw i ostrości).

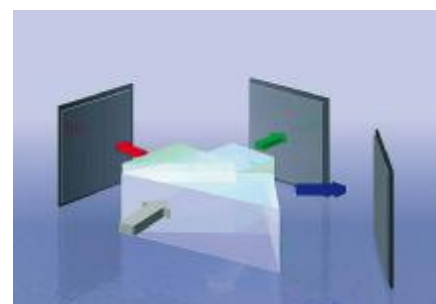
Jak wiemy elementy światłoczułe matrycy dostarczają nam danych o jasności obrazu. W aparatach cyfrowych wykorzystuje się technikę opartą na interpolacji (przybliżaniu) danych graficznych. Każdy sensor wchodzący w skład macierzy elementów światłoczułych odpowiada tylko za jeden piksel analizując tylko jedną składową chromatyczną. Pełna informacja o barwie uzyskiwana jest przez przybliżenie danych o pozostałych składowych, otrzymanych od ułożonych w mozaikę sąsiednich elementów. Dane o kolorze przesyłane są do odpowiedniego procesora, który dokonuje korekty barwnej. Czas do chwili uzyskania pełnych danych o obrazie w postaci zdigitalizowanej wydłuża się o czas interpolacji danych o pozostałych składowych chromatycznych.

B. Trzy matryce rejestrujące światło po przejściu przez filtry R G B

W aparatach cyfrowych, o tym standardzie detekcji, światło po przejściu przez obiektyw zostaje rozdzielone na trzy wiązki, przepuszczone przez odpowiednie filtry RGB po czym zarejestrowane na trzech osobnych płytkach CCD. Powstające trzy obrazy, każdy niosący informację o konkretnej składowej chromatycznej obrazu, są potem ze sobą łączone z dokładnością do jednego piksela dając w efekcie barwny obraz. Jakość obrazów uzyskanych tą metodą jest zdecydowanie większa z uwagi na pozyskanie rzeczywistej informacji o barwie każdego punktu obrazu, bez konieczności interpolacji. Uzyskujemy obrazy



Rys. 17. Detekcja powierzchniowa z ekspozycją jednokrotną [19]



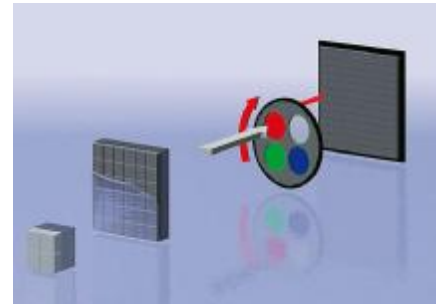
Rys. 18. Detekcja powierzchniowa z ekspozycją jednokrotną 3 matryce

o wierniejszej reprodukcji barw i większej ostrości. Wadą tej metody jest wysoka cena urządzenia z uwagi na obecność trzech matryc światłoczułych oraz złożoność układu mechanicznego i optycznego. Rozwiązanie to stosuje się głównie w wyższej klasy kamerach video [19].

DETEKCJA POWIERZCHNIOWA - ekspozycja wielokrotna - przedmioty nieruchome

Wielokrotna ekspozycja - przedmioty nieruchome

W aparatach, wykorzystujących ten sposób detekcji, znajduje się jedna matryca CCD oraz trzy filtry RGB umieszczone między obiektywem, a detektorem CCD na ruchomej głowicy rewolwerowej. W kolejnych trzech naświetleniach przez filtry barwne R, G, B uzyskuje się dane o każdej składowej chromatycznej. Metoda ta znalazła zastosowanie w profesjonalnych aparatach Sinarcam.



Rys. 19. Detekcja powierzchniowa z ekspozycją wielokrotną [19]

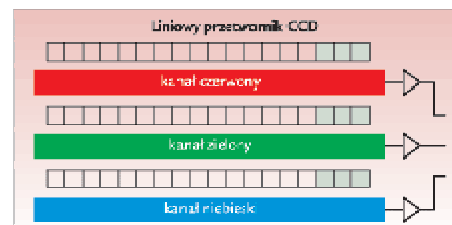
SKANINGOWE METODY DETEKCJI - tylko przedmioty nieruchome

Linijki skanujące

W metodach detekcji elementem skanującym jest pojedynczy lub potrójny liniowy przetwornik CCD poruszający się w płaszczyźnie, rzutowanego przez obiektyw aparatu cyfrowego, ostrego obrazu optycznego. Ruch przetwornika wywołuje mikrosilnik elektryczny z przekładniami, silnik krokowy albo najdokładniejszy układ piezoelektryczny, umożliwiając skok jednostkowy liniiki skanującej o 1 mikron. Wadą tego typu układów detekcji obrazu jest długi czas skanowania sięgający 10 minut. Czas skanowania jest wprost proporcjonalny do zdolności rozdzielczej układu, czyli jego dokładności.

Barwne filtry na pojedynczych sensorach- LINEAR ARRAY

Pojedyncza liniika skanująca wyposażona jest w filtry R, G, B umieszczone odpowiednio co trzeci sensor w rzędzie. Metoda ta posiada podobne wady do metody wykorzystującej matrycę o strukturze mozaikowej. Tu również, z uwagi na konieczność interpolacji danych, otrzymujemy obrazy o obniżonej jakości pod względem wierności odwzorowania barw i ostrości.



Rys. 20. Detekcja skaningowa-potrójna liniika skanująca [4, s. 42]

Potrójna liniika skanująca -trzy rzędy sensorów każdy z innym filtrem- TRI -LINEAR ARRAY

Taka liniika skanująca wyposażona jest w trzy równoległe rzędy sensorów, każdy pokryty innym filtrem. Rozdzielczość tych układów wynosi od 2500x2700 do 6000x7520 pikseli. Liniowe przetworniki wykorzystywane są czasami w przystawkach skanujących do wielkoformatowych aparatów studyjnych. Takie układy stosowane są do fotografowania obiektów statycznych, szczególnie w sytuacji kiedy jest potrzebna bardzo duża rozdzielczość obrazów.

Potrójne skanowanie

W tej metodzie detekcji liniowy detektor obrazu jest czuły tylko na różne wartości natężenia promieniowania. Pełną informację o obrazie i jego składowych chromatycznych uzyskuje się w trzech niezależnych przebiegach linijki skanującej, każdy dla innej barwy triady (R G B).

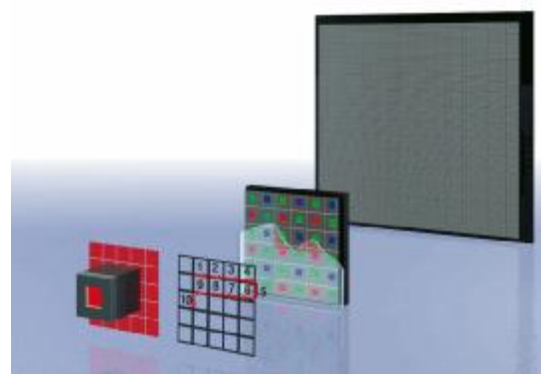
Światło odbite od fotografowanego obiektu przechodzi przez określony filtr i tworzy obraz optyczny jednej składowej chromatycznej R, G lub B. Linijka skanująca rejestruje ten obraz, a następnie w bieg promieni świetlnych zostaje wprowadzony nowy filtr i zarejestrowany nowy cząstkowy obraz barwny. Po trzech przebiegach linijki skanującej mamy trzy cząstkowe obrazy, które składają się na cały obraz barwny bez konieczności interpolacji danych. Metoda ta jest stosowana coraz rzadziej z uwagi na długi czas rejestracji.

Skanowanie powierzchniowe

Skanowanie czterostanowe

W metodzie tej matryca o strukturze mozaikowej typu **RGBG** (dwukrotnie zwiększona liczba sensorów zielonoczułych), zajmuje cztery kolejne położenia, wykonując ruch po kwadracie o boku równym wielkości jednego piksela. Taki sposób rejestracji wymaga czterokrotnej ekspozycji. Podczas każdego naświetlenia uzyskujemy informacje o jednej składowej chromatycznej danego punktu obrazu.

Reasumując metoda ta (stosowana np. w przystawce SINARBACK) pozwala na uzyskanie pełnej informacji o kolorze w trybie czterokrotnej ekspozycji, bez konieczności interpolacji danych.



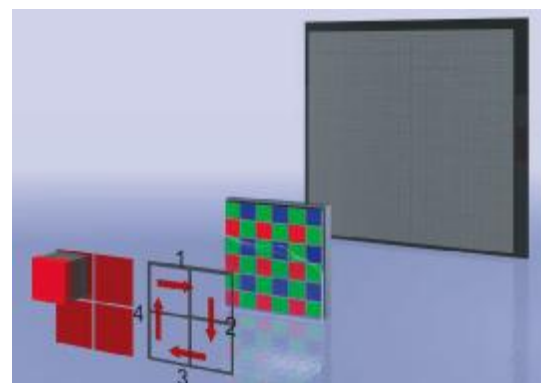
Rys.21. Skanowanie powierzchniowe czterostanowe [19]

MACROSCAN - wirtualny chip

Metoda macroscan polega na przemieszczaniu się matrycy (tzw. wirtualnego chipa) w płaszczyźnie obrazu optycznego. Wielkość (rzutowanego przez układ optyczny aparatu) obrazu jest całkowitą wielokrotnością rozmiaru matrycy (np. 2x, 4x, 6x, 9x, 12x). W czasie detekcji cały chip przesuwa się o szerokość swojego boku i zajmuje 2, 4, 6, 9 lub 12 kolejnych położenia obejmujących w sumie całą powierzchnię obrazu optycznego.

Specjalne oprogramowanie pozwala na automatyczne połączenie otrzymanych fragmentów obrazu w jedną całość z dokładnością do piksela.

Taką metodą można przeprowadzić detekcję większego obrazu optycznego (i przeprowadzić konwersję do postaci cyfrowej) bez konieczności zwiększania rozmiarów matrycy CCD. Prowadzi to w efekcie do wzrostu zdolności rozdzielczej zdigitalizowanego obrazu determinującej maksymalny format drukowanych obrazów.



Rys. 22. Metoda macroscan [19]

Metoda ta stosowana jest np. w przystawce SINARBACK wyposażonej w chip o rozdzielczości 2048x2048 pikseli. Po 12-krotnej ekspozycji daje obraz o rozdzielczości ~ 50 MP (mln elementów obrazu).

4.3.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie są podstawowe metody rejestracji obrazów?
2. Jakie są podstawowe metody rejestracji obiektów dynamicznych?
3. Co to są powierzchniowe metody rejestracji obrazów?
4. Jak przebiegają skaningowe metody rejestracji obrazów?
5. Jaki jest przebieg rejestracji obrazu metodą makroskan?

4.3.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Na podstawie materiału nauczania oraz treści zawartych w literaturze zawodowej oraz Internecie wykonaj schemat przedstawiający dostępne elektroniczne metody detekcji obrazów oraz zależności między nimi.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) zapoznać się z literaturą zawodową, katalogami oraz informacjami producentów dostępnymi w Internecie na temat elektronicznych detektorów obrazu stosowanych w cyfrowych aparatach fotograficznych,
- 2) wypisać wszystkie metody rejestracji obrazów stosowane w aparatach i kamerach cyfrowych oraz skanerach,
- 3) znaleźć cechy wspólne określonych metod rejestracji obrazów,
- 4) pogrupować metody rejestracji,
- 5) sporządzić mapę zależności poszczególnych grup metod rejestracji obrazów,
- 6) połączyć metody lub grupy metod w schemat zależności,
- 7) przedstawić w formie pisemnej rezultaty realizacji ćwiczenia,
- 8) dołączyć pracę do teczki dokumentującej realizację ćwiczeń.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura zawodowa,
- katalogi sprzętu fotograficznego różnych producentów,
- komputer z dostępem do Internetu,
- karta pracy.

Ćwiczenie 2

Określ rodzaj metody detekcji do rejestracji: poruszającego się obiektu do publikacji internetowej oraz statycznego obiektu do wielkoformatowego plakatu reklamowego.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) przypomnieć wiadomości na temat metod rejestracji obrazów cyfrowych,

- 2) określić założenia do rejestracji ruchomego obiektu przeznaczonego do publikacji internetowej,
- 3) określić założenia do rejestracji statycznego obiektu przeznaczonego do wydruku wielkoformatowego plakatu reklamowego,
- 4) określić metody rejestracji spełniające założenia treści zadania,
- 5) zaprezentować w formie pisemnej rezultaty realizacji ćwiczenia,
- 6) przedstawić wyniki na forum grupy,
- 7) dołączyć pracę do teczki ćwiczeń.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- poradniki zawodowe,
- komputer z dostępem do Internetu,
- karta pracy.

4.3.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

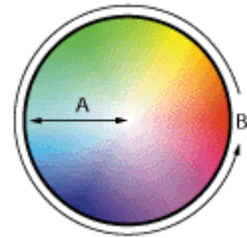
| | Tak | Nie |
|---|--------------------------|--------------------------|
| 1) wymienić metody rejestracji obrazów optycznych? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2) scharakteryzować powierzchniowe i skaningowe metody rejestracji? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3) podać przykłady praktycznego zastosowania określonej metody rejestracji obrazów optycznych w urządzeniach wejścia? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4) scharakteryzować metody wykorzystujące linijki skanujące? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5) określić metody rejestracji obrazów z ekspozycją jednokrotną ? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6) określić wpływ rodzaju metody na jej wykorzystanie w określonej sytuacji zdjęciowej? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

4.4. Teoria barwy

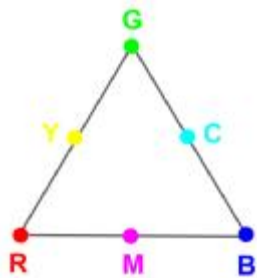
4.4.1. Materiał nauczania

Modele i przestrzenie barw

Już około 2200 lat temu próbowano uporządkować zależności panujące w świecie barw, ale aż do drugiej połowy XVII wieku barwa była pojęciem metafizycznym. Dopiero doświadczenie Izaaka Newtona, polegające na rozszczepieniu światła białego na pryzmacie, pozwoliło uzyskać widmo barw uporządkowane według długości fali. To widmo barw Izaak Newton rozpiął na obwodzie koła, a w środku umieścił biel, jako źródło wszelkich barw, uzyskując w ten sposób najprostszy model barw.



Rys. 23. Koło barw Newtona



Rys. 24. Trójkąt Maxwella

Za prawdziwego twórcę teorii barwy został uznany Thomas Young, który około 1800 r. wykazał, że z trzech barw podstawowych widma światła białego R, G i B, dodanych w różnych proporcjach, można utworzyć wszystkie barwy widma. Teoria ta stanowiła podstawę widzenia barwnego.

W późniejszym czasie Maxwell z kolei umieścił trzy barwy podstawowe R, G i B w wierzchołkach trójkąta równobocznego, na jego bokach znalazły się wówczas barwy składowe, złożone Y - yellow (żółty), M - magenta (purpura), C - cyan (niebieskozielony). Po raz pierwszy na przeciw siebie znalazły się

barwy dopełniające, czyli takie, których synteza addytywna daje wrażenie bieli.

Potocznie mówiąc o barwie powinniśmy myśleć o wrażeniu barwy jakie wywołuje, w naszym mózgu, promieniowanie świetlne docierające oka. W języku potocznym właściwości barwy przypisuje się bodźcom świetlnym, wyrażając w ten sposób ich zdolność do wywołania wrażenia barwnego. Ale percepcja barwy jest możliwa tylko wówczas gdy jednocześnie zachodzą trzy procesy:

- emisja lub odbicie światła o określonych właściwościach fizycznych,
- pobudzenie receptorów analizatora wzrokowego (zjawiska fizjologiczne zachodzące pod wpływem tego światła w oku i układzie nerwowym),
- przetworzenie sygnałów w korze mózgowej (zjawiska psychologiczne).

Teorią wyjaśniającą mechanizm wywoływania wrażenia barwy jest trójskładnikowa teoria odbioru bodźców świetlnych Younga-Helmholtza. Zakłada ona występowanie w oku trzech detektorów (receptorów, substancji światłoczułych), o zakresach czułości obejmujących cały zakres promieniowania widzialnego. Maksima czułości tych detektorów przypadają na światło niebieskie (B), zielone (G) i pomarańczowoczerwone (R).

Pod wpływem docierającego do oka światła, w receptorach zachodzą złożone procesy fizjologiczne, a sygnał docierający do ośrodka wzroku w mózgu wywołuje wrażenie określonej barwy. Wrażenie barwy zależy od stosunku wielkości sygnału pochodzącego od każdego receptora ($r : g : b$), a wrażenie jasności brawy od sumy wielkości tych sygnałów ($r+g+b$). Przy jednakowym pobudzeniu receptorów, gdzie ($r:g:b = 1:1:1$) uzyskujemy wrażenie bieli lub szarości w zależności od sumarycznej intensywności tych sygnałów [24, s. 343].

Dzięki odkryciu takiego mechanizmu wywoływania wrażeń barwowych oraz ułomności oka ludzkiego, które nie analizuje składu spektralnego bodźca świetlnego, stało się możliwe

techniczne rozwiązanie otrzymywania obrazów barwnych w fotografii, druku czy telewizji [24, s. 339].

Metafizyczne pojmowanie barwy uniemożliwiało jej pomiary i precyzyjne zdefiniowanie. Po doświadczeniu Newtona i sformułowaniu teorii widzenia trójskładnikowego zaczęto opisywać barwę w sposób niezależny od cech percepcyjnych obserwatora.

Dziedziną zajmującą się jednoznacznym określeniem chromatyczności bodźców barwowych jest kolorymetria trójkromatyczna. Kolorymetria trójkromatyczna opiera się na addytywnej syntezie bodźców barwowych, w której zmieszanie tylko trzech światel podstawowych umożliwia otrzymanie wielu barw [24, s. 350, 351].

Najprostszym przykładem jest układ kolorymetryczny – model barw - trzech, liniowo niezależnych, bodźców świetlnych R, G i B. Bodźce liniowo niezależne to takie, których nie można otrzymać w wyniku syntezy addytywnej dwóch pozostałych.

Najlepiej zdefiniowanymi i najbardziej nasyconymi spośród istniejących barw są monochromatyczne bodźce świetlne podstawowe przyjęte przez Międzynarodową Komisję Oświetleniową: R- $\lambda_R=700\text{nm}$, G- $\lambda_G=546,1\text{nm}$, B- $\lambda_B=435,8\text{nm}$. Na podstawie syntezy addytywnej tych bodźców wyznaczono gamę barw możliwych do otrzymania – zwaną układem przestrzennym R, G, B.

Ponieważ układ kolorymetryczny RGB operował ujemnymi wartościami składowych i współrzędnych chromatycznych Międzynarodowa Komisja Oświetleniowa (Commission Internationale de l'Eclairage - CIE) w 1931 roku przyjęła nowy obliczeniowy układ bodźców odniesienia CIE XYZ. Cechą tego modelu jest matematyczny sposób opisu wrażeń jakie odczuwa człowiek o prawidłowym widzeniu, poddany działaniu jednoznacznie określonego bodźca w ustalonych warunkach. Następnie CIE zatwierdziła całą gamę modeli barw CIE LCh, CIE LUV, CIE Yxy, CIE Lab, które są również matematycznymi wersjami modelu CIE XYZ, a co ważne - niezależnymi od urządzenia.

CIE Yxy, będąc jedną z wersji modelu CIE XYZ, posiada analogiczną budowę, kształt i zależności występujące między barwami.

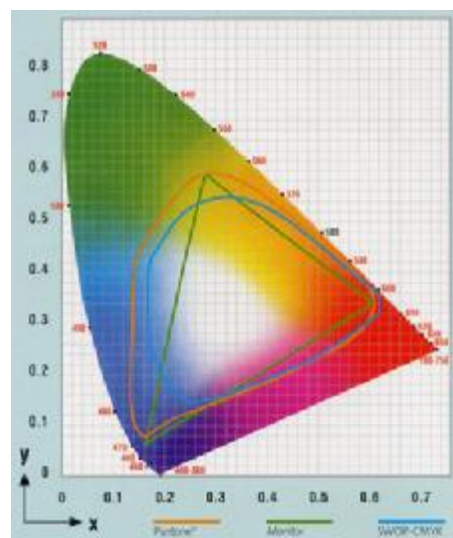
W modelu tym, wszystkie barwy o jednakowej jasności, umieszczono na w przybliżeniu trójkątnej, płaskiej powierzchni ograniczonej krzywą barw widmowych tzw. lokusem widma. Barwy umieszczone na lokusie mają maksymalne nasycenie i każdej można przypisać odpowiadającą w widmie długość fali. Im bliżej środka gamy barw tym nasycenie barw jest mniejsze, aż do osiągnięcia punktu bieli.

Oś X - przedstawia rosnącą zawartość barwy czerwonej,
Oś Y - przedstawia rosnącą zawartość barwy zielonej.
Zatem x, y to współrzędne chromatyczne, natomiast Y (oś prostopadła do płaszczyzny gamy barw) oznacza luminancję.

Linia łącząca czerwień i fiolet to nierzeczywista linia purpury zwana alychna (łac. lychnus - światło, alychna – bezświatlna). Barwy na niej zawarte nie występują w widmie światła białego i dlatego nie można przyporządkować im długości fali świetlnej [24, s. 360].

W modelu CIE Yxy składanie barw zachodzi zgodnie z zasadami syntezy addytywnej.

W wyniku addytywnego mieszania dwóch barw o współrzędnych $x_1 y_1$ i $x_2 y_2$ otrzymujemy trzecią barwę o współrzędnych $x_3 y_3$, którą określa punkt położony na odcinku łączącym współrzędne barw składowych. Umieszczenie barwy 3 na odcinku wypadkowym zależy od proporcji (udziału) w jakiej zmieszane są barwy składowe (od natężenia światła



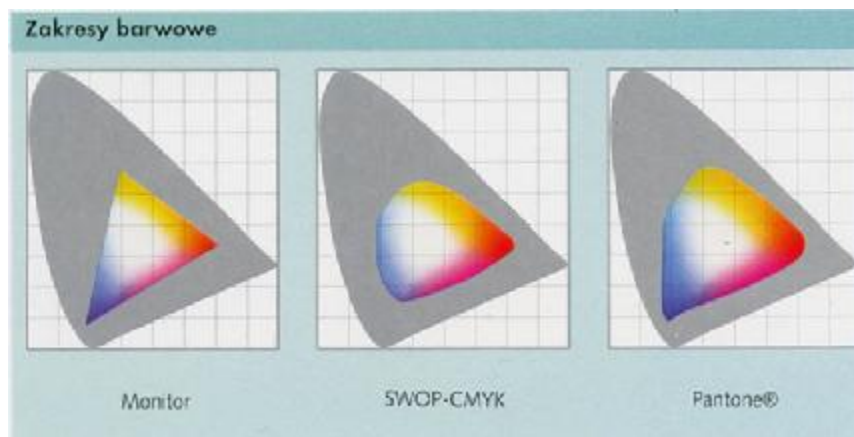
Rys. 25. Model CIE Yxy [1, s. 32]

barw składowych). Punkt ten położony jest bliżej współrzędnej barwy składowej o większym udziale. Można zatem powiedzieć, że współrzędna barwy wypadkowej leży w punkcie ciężkości odcinka wyznaczonego przez współrzędne barw składowych.

Mieszanie bieli z barwami nasyconymi z lokusa odbywa się wg podobnej zasady. Wówczas na odcinku łączącym biel z barwą leżą wszystkie nienasycone odcienie tej barwy.

Zmieszanie dwóch barw takich, że odcinek łączący ich współrzędne chromatyczne (x,y) przechodzi przez punkt bieli określa barwy dopełniające tzn. takie, których addytywna synteza (zachodząca dla odpowiednich proporcji barw składowych) da biel.

W przypadku zmieszania trzech barw - barwa wypadkowa leży wewnątrz trójkąta, w którego wierzchołkach położone są barwy składowe o współrzędnych x_1 y_1 , x_2 y_2 , x_3 y_3 .



Rys. 26. Gammy barwowe urządzeń wyjścia [1, s. 33]

Na podstawie takiej zasady syntezy barw można zauważyć, że nie istnieją takie trzy barwy (RGB), których zmieszanie dałoby możliwość otrzymania wszystkich barw widzialnych, gdyż nie ma takiego trójkąta, który można by wpisać dokładnie w kształt „lokusa” i obejmowałby wszystkie dostępne w modelu barwy. Z tego też powodu nie możliwe jest skonstruowanie urządzenia (np. monitora, skanera, aparatu fotograficznego), które za pomocą trzech barw (RGB) odwzorowywałoby paletę barw widzialnych.

Obrazuje to rysunek 26 gdzie odpowiednie przestrzenie barw różnią się wielkością. Na rysunku na tle pełnej gamy barw modelu CIE Yxy zobrazowano możliwość do odtworzenia przestrzeń barw: na ekranie monitora, w przestrzeni barw CMYK, za pomocą zestawu farb drukarskich Pantone.

Dodatkowo zakres reprodukowanych barw zawęża się ze względu na to, że przy każdej transformacji (z oryginału do fotografii, z fotografii do reprodukcji, z monitora do obrazu wydrukowanego) traci się pewną część informacji barwnej, która uwarunkowana jest fizycznymi ograniczeniami każdego procesu. Mówimy, że każdy proces umożliwia odwzorowanie barw z pewnej przestrzeni modelu barw CIE Yxy. Te przestrzenie barw różnią się wielkością.

Problem syntezy barw dodatkowo pogłębiają odmienne prawa mieszania barw światła i barw ciał fizycznych (farbek, barwników). Pierwotne barwy (takie, jakie zna natura), wtórne i trzeciego stopnia (rezultat mieszania kilku barw w różnych proporcjach) to wszystko bardzo komplikuje proces uporządkowania koloru.

Sprowadzenie wszystkiego do wspólnego mianownika: danych w RGB, separowanych następnie do celów drukowania w CMYK, potem znów dla wstępnej kontroli wydruku na ekranie monitora do RGB spowodowało konieczność opracowania powszechnie przyjętego systemu kalibracji i zarządzania kolorami. Jest nim CMS - Color Management System = system zarządzania barwami [1, s. 32].

Model barw CIE L*a*b*

Dwuwymiarowy model CIE Y_{xy} został w 1976 roku został uzupełniony o model CIE L*a*b* (oznaczenie CIE Lab). W modelu tym odległości między barwami dokładniej odpowiadają odczuwanym subiektywnie różnicom wzrokowym. Barwy o jednakowej jasności leżą na powierzchni tego samego koła przekroju poprzecznego przestrzeni Lab, na którym leżą również osie a^* i b^* . Osie te określają zmianę odcienia i nasycenie barw. Jasność barw w prezentowanym modelu zmienia się w kierunku pionowym wzdłuż osi L.

Ze względu na tak zdefiniowaną przestrzeń barw model CIE Lab może przedstawić wszystkie rzeczywiste barwy ciał. Dlatego też model CIE Lab jest niezależnym od urządzenia sposobem reprezentowania barw.

Na podstawie modelu barw CIE Lab sporządza się wzorce barw, służące do kalibracji i porównania charakterystyk barwnych urządzeń wejścia i wyjścia (tzw. profili barwnych sprzętu).

Bez jednolicie zdefiniowanej przestrzeni CIE Lab konieczne byłoby transformowanie przestrzeni barw między kolejnymi parami urządzeń, a różnice należałoby niwelować przez żmudne próby. Dlatego zdefiniowano przestrzeń barw CIE Lab jako wzorcową i transformacji dokonuje się w oparciu tylko o ten wzorzec.

CIE Lab spełnia wymagania niezależnego od urządzenia modelu barw dlatego ISO (International Organization for Standardization) ustanowiła ten wzorzec barw międzynarodowym standardem (normą).

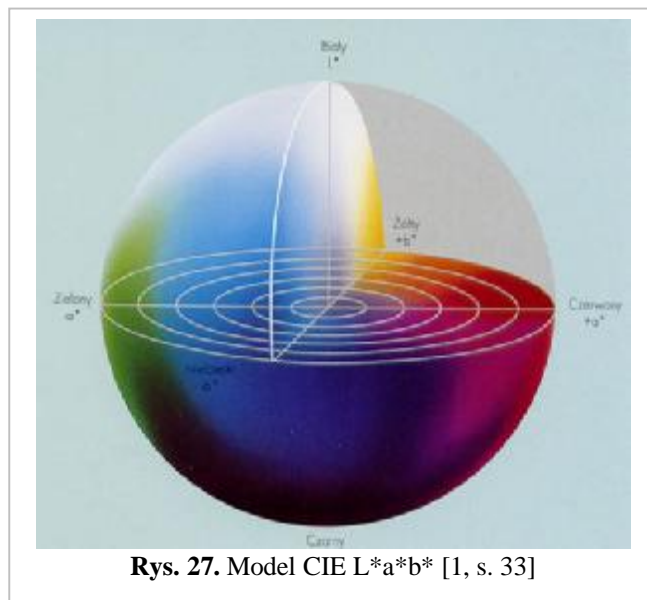
Przestrzeń CIE Lab została stworzona, aby możliwe było wyznaczenie barwy w układzie trzech współrzędnych przestrzennych. Pozwala ona na obliczenie różnic pomiędzy dwiema barwami ponieważ w przestrzeni kolorymetrycznej każda barwa może zostać wyznaczona w dwojaki sposób: za pomocą współrzędnych prostokątnych lub kątowych.

Współrzędne prostokątne L*a*b*:

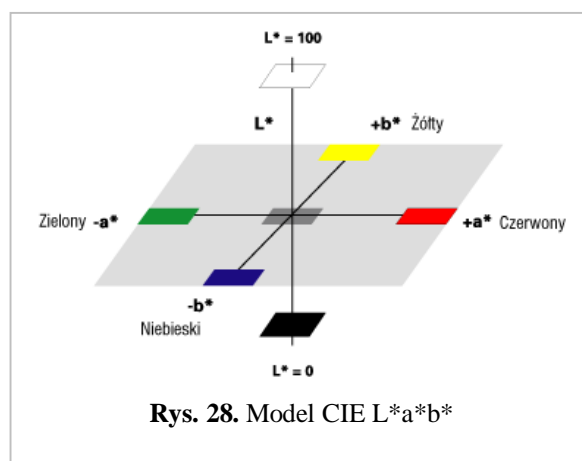
Dwie osie definiują odcień barwy: a^* reprezentuje barwy od zieleni (-a) do czerwieni (+a),

b^* reprezentuje barwy od niebieskiego (-b) do żółtego (+b),

Oś jasności L^* jest prostopadła do płaszczyzny odcieni i przecina ją w miejscu krzyżowania się osi a^* i b^* . Wartości jasności L^* zawierają się w przedziale od 0 (czerni) do 100 (biel). Pomiędzy nimi znajdują się wszystkie odcienie szarości. Wartości L^* , a^* i b^* pozwalają na liczbowe wyrażenie barwy.



Rys. 27. Model CIE L*a*b* [1, s. 33]



Rys. 28. Model CIE L*a*b*

Współrzędne kątowe L* C* h

Kątowa metoda określania położenia barwy w przestrzeni CIE Lab pozwala na wyjaśnienie pojęcia barwy i jej zmiany, w sposób, w jaki barwy są postrzegane przez nas.

L* odpowiada jasności (lightness),

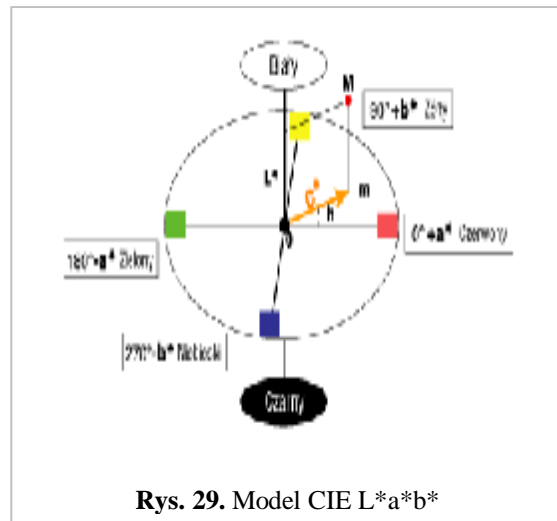
C* odpowiada nasyceniu (chroma),

h - kątowii barwy – odcieniowi (hue).

Wartości L* są identyczne jak w przypadku współrzędnych prostokątnych.

Nasycenie C* odpowiada „czystości” barwy. Jeśli barwa znajduje się blisko środka koła, mówimy, że jest „blada”. Gdy barwa znajduje się blisko krawędzi koła, ma wysokie nasycenie – odbieramy ją jako „żywą”. Kąt barwy h jest wyrażany w stopniach.

Kąt 0° odpowiada barwie na osi +a* (czerwienie), 90° +b* (żółte), 180° - a* (zielenie) i 270° -b* (niebieskie).



Rys. 29. Model CIE L*a*b*

Model HSB powstał w oparciu o sposób postrzegania barwy przez człowieka i bazuje na atrybutach barwy: odcieniu, nasyceniu i jasności.

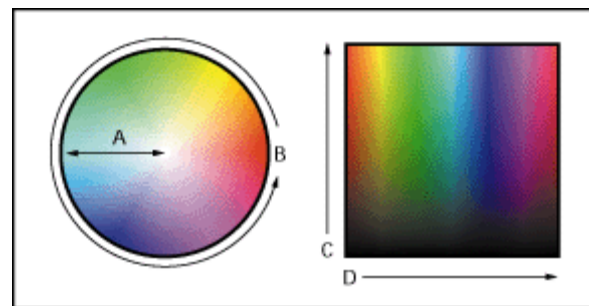
Odcień (hue), to cecha barwy, która pozwala odróżnić niebieski od zielonego, czerwonego itd. O odcieniu barwy decyduje długość fali dominującej czyli długość fali, na którą przypada największe natężenie promieniowania. Liczbowo odcień określa położenie barwy na kole barw, wyrażone w stopniach od 0 do 360.

Nasycenie (saturation) - cecha określa intensywność (siłę lub czystość) barwy. Liczbowo wyrażana jako procentowy udział barwy (czystego odcienia) w stosunku do szarości.

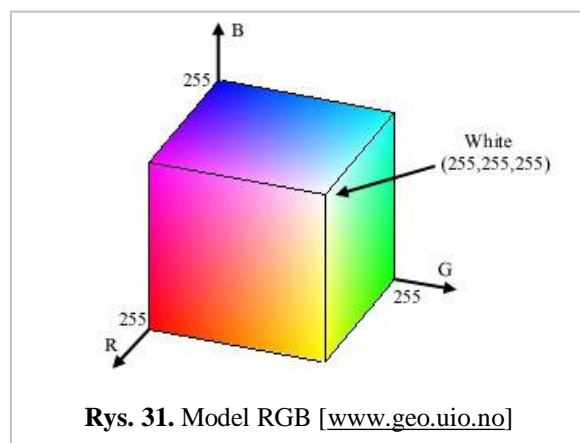
Nasycenie = 0% (szary), = 100% (czysty kolor, pełne nasycenie).

W standardowym kole kolorów nasycenie wzrasta w miarę zbliżania się do krawędzi koła i maleje ku jego środkowi.

Jasność (brightness), zwana **luminancją**, która określa względną jasność koloru (udział barwy w stosunku do czerni) i wyraża się zazwyczaj w procentach od 0 (czern) do 100% (biel) [14].



Rys. 30. Model HSB A. Nasycenie B. Barwa C. Jasność D. Wszystkie barwy [14]



Rys. 31. Model RGB [www.geo.uio.no]

Model RGB (Red, Green, Blue)

Bazuje na trzech podstawowych barwach światła: czerwonym, zielonym i niebieskim (red, green i blue - RGB). Przy syntezie addytywnej trzech barw podstawowych (I rzędu) powstają barwy wtórne - cyan, magenta i yellow, zwane barwami II rzędu. Synteza addytywna barw I i II rzędu daje barwy pochodne wyższego rzędu.

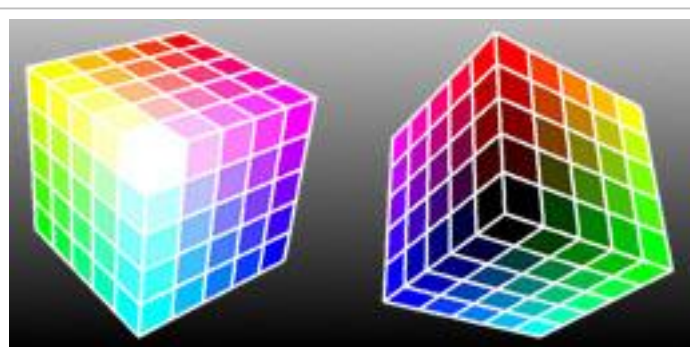
Trzy barwy podstawowe łączą się ze sobą dając biel. Synteza addytywna, na której bazuje model RGB wykorzystywana jest w oświetleniu na planie zdjęciowym, sprzęcie wideo, kamerach filmowych, skanerach, naświetlarkach, monitorach – czyli wszędzie tam, gdzie posługujemy się urządzeniami z wykorzystaniem syntezy światła [8, s. 27]. Monitor na przykład tworzy barwy emitując światło pobudzonych do świecenia luminoforów o barwach R, G i B [14].

Barwy podstawowe w modelu RGB zwane składowymi chromatycznymi opisywane są poprzez intensywność od 0 (zerowa intensywność - czerń) do 255 (maksymalna intensywność – barwa o największym nasyceniu). W modelu RGB barwa purpurowa o największej intensywności byłaby określona przez wartości (255, 0, 255) co oznacza $R=255$, $G=0$, $B=255$, a wiemy, że w syntezie addytywnej $R+B=M$. Jeśli każdy składnik równy jest 255 ($R=G=B=255$), otrzymuje się czystą biel, a wartości 0 oznaczają czerń [14].

Łącznie w modelu RGB możemy określić $256 \times 256 \times 256 = 16,77$ mln barw. Jest to liczba większa niż w modelu CIE Lab czy HSB, ale tylko teoretycznie. W praktyce urządzenia mają ograniczone możliwości techniczne, stąd rzeczywista liczba barw odtwarzanych przez te urządzenia jest mniejsza i charakterystyczna dla typu urządzenia oraz technologii jego wytwarzania [8 s. 27].

Model CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, black)

Model CMYK wykorzystuje absorpcję światła przez farbę naniesioną na papier. Bazuje zatem na syntezie subtraktywnej, w której następuje łączenie ze sobą barwników rzeczywistych, z których każdy absorbuje 1/3 zakresu widma światła białego. Podstawowymi barwnikami spełniającymi te kryteria absorpcji są: cyan (niebieskozielony), magenta (purpurowy) i yellow (żółty). Gdy białe światło pada na barwniki półprzezroczyste, część jego widma jest absorbowana. Kolor, który nie został zaabsorbowany, odbija się i wraca do oka. Teoretycznie, połączenie czystych pigmentów powinno tworzyć czerń. Ponieważ wszystkie farby do drukarek zawierają zanieczyszczenia, połączenie trzech wymienionych barwników daje w rzeczywistości kolor brudnobrazowy, który musi być uzupełniony czarnym – black (K), by dawać prawdziwą czerń. (litera K jako określenie black została tu użyta, by uniknąć kojarzenia z barwą niebieską - blue). Łączenie tych farb w celu odtworzenia barwy nazywa się czterobarwnym procesem druku.



Rys. 32. Model CMYK [www.byronc.com]

Barwy subtraktywnego modelu (CMY) i addytywnego (RGB) są barwami komplementarnymi.

Ilościowo udział barwnika w modelu CMYK wyraża się w procentach od 0% do 100%. Światłom obrazu są przypisane niewielkie udziały procentowe farb podstawowych (kilka %), natomiast cieniom duże (90~100%). Kolor purpurowy, czysty o największym nasyceniu określają wartości 0%, 100%, 0%, 0%, (gdzie $C=0\%$, $M=100\%$, $Y=0\%$, $K=0\%$).

Omówione modele barw: CIE Lab, RGB, CMYK i HSB są najważniejszymi modelami stosowanymi w grafice komputerowej, czyli w procesie pozyskiwania, przetwarzania i wizualizacji plików graficznych [8 s. 27].

4.4.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie atrybuty definiują barwę?
2. Jakie modele barw stosowane są do zapisu informacji o barwach obrazu cyfrowego?
3. Jak zbudowany jest model barw HSB?
4. Jakie zależności występują pomiędzy atrybutami barw w modelu CIEYxy?
5. Jak zbudowany jest model barw RGB i CMYK?
6. Jaki model barw jest wzorcową przestrzenią barw nie zależną od urządzenia?
7. Co to są barwy rzeczywiste?
8. Co to są barwy I, II rzędu?

4.4.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Przygotuj schemat prezentujący modele barw ich nazwy.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) przypomnieć sobie materiał nauczania dotyczący modeli barw,
- 2) przyporządkować nazwy modelom barw przedstawionym na schematach,
- 3) zaprezentować wnioski na forum grupy,
- 4) dołączyć pracę do teczki dokumentującej realizację ćwiczeń.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- plansze poglądowe z modelami barw,
- literatura zawodowa,
- materiały piśmiennicze.

Ćwiczenie 2

Przeanalizuj budowę podstawowych modeli barw i określ metodę syntezy barw mającą zastosowanie w tych modelach oraz w różnych urządzeniach do pozyskiwania, przetwarzania i wizualizacji obrazów cyfrowych.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) przypomnieć sobie materiał nauczania dotyczący modeli barw oraz metod syntezy barw,
- 2) przypomnieć sobie informacje dotyczące metod syntezy barw,
- 3) określić metodę syntezy barw wykorzystaną do budowania modelu,
- 4) określić metodę syntezy barw w różnych urządzeniach do pozyskiwania, przetwarzania i wizualizacji obrazów cyfrowych,
- 5) zaprezentować wnioski na forum grupy,
- 6) dołączyć pracę do teczki dokumentującej realizację ćwiczeń.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- plansze poglądowe z modelami barw,
- literatura zawodowa,
- materiały piśmiennicze.

Ćwiczenie 3

Korzystając z programu graficznego określ zakresy zmian atrybutów barw w różnych modelach barw.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) przypomnieć sobie wiadomości o budowie modeli barw,
- 2) uruchomić program Photoshop,
- 3) otworzyć okno *Próbnik kolorów*,
- 4) w oknie *Próbnik kolorów* określić zakresy zmian składowych chromatycznych zgodnie z załączoną tabelą,
- 5) obliczyć liczbę barw możliwych do odwzorowania w danym modelu,
- 6) zanalizować wyniki liczbowe,
- 7) sformułować wnioski,
- 8) zaprezentować na forum grupy wnioski wynikające z realizacji ćwiczenia,
- 9) dołączyć pracę doteczki dokumentującej realizację ćwiczeń.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- plansze poglądowe przedstawiające różne modele barw,
- indywidualne stanowisko komputerowe z programem Photoshop,
- karta pracy.

Karta pracy do ćwiczenia 3

Modele barw, tryby kolorów

Określ zakresy zmian atrybutów barw w różnych modelach barw korzystając z próbnika kolorów w programie Photoshop. Sformułuj wnioski.

| Przestrzeń barw | Zakresy zmian atrybutów barw | | | | Ilość barw możliwych do odwzorowania |
|-----------------|------------------------------|---|---|---|--------------------------------------|
| RGB | R | G | B | | |
| | | | | | |
| Lab | L | a | b | | |
| | | | | | |
| HSL | H | S | L | | |
| | | | | | |
| CMYK | C | M | Y | K | |
| | | | | | |

Wnioski:

Ćwiczenie 4

Korzystając z programu graficznego dokonaj konwersji obrazu z trybu RGB do trybów: CMYK, CIE Lab, HSB skali szarości.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) uruchomić program Photoshop,

- 2) otworzyć obraz wyjściowy zapisany w formacie TIFF nieskompresowany w trybie RGB z 24-ro bitową głębią,
- 3) powielić obrazek (*Obrazek/Powiel obrazek*),
- 4) skonwertować do trybu CMYK (*Obrazek/Tryb/Kolor CMYK*),
- 5) zapisać obrazek w formacie TIFF nieskompresowany,
- 6) powtórzyć operacje z punktów 3-5 konwertując obraz do pozostałych trybów zgodnie ze wskazaniami na karcie pracy,
- 7) wpisać do tabeli wielkość otrzymanych plików graficznych,
- 8) określić głębię bitową dla każdego trybu obrazka,
- 9) porównać jakość uzyskanych obrazków oraz zanalizować dane liczbowe,
- 10) sformułować wnioski,
- 11) zaprezentować na forum grupy wyniki ćwiczenia,
- 12) dołączyć pracę do teczki dokumentującej realizację ćwiczeń.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- indywidualne stanowisko komputerowe z programem Photoshop,
- plik graficzny zapisany w trybie TIFF nieskompresowany w trybie RGB z głębią 24-b/px,
- karta pracy.

Karta pracy do ćwiczenia 4

Zapisz dowolny obrazek z przykładów Photoshopa w trybie RGB, CMYK, Lab, skala szarości. Uzupełnij tabelę wyciągnij wnioski.

| Tryb zapisu obrazu | Wielkość obrazu w KB | Głębia bitowa |
|--------------------|----------------------|---------------|
| Skala szarości | | |
| RGB | | |
| CMYK | | |
| Lab | | |

Wnioski:

.....

4.4.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

- | | Tak | Nie |
|---|--------------------------|--------------------------|
| 1) zdefiniować atrybuty barwy i podać przykłady barw różniących się tylko określonym atrybutem? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2) przedstawić metodę addytywnego mieszania barw w modelu CIEYxy? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3) przedstawić budowę i zalety modelu barw CIE Lab? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4) opisać budowę i zastosowanie modelu barw cmyk? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5) uzasadnić dlaczego przestrzenny model barw cie lab został przyjęty za międzynarodowy wzorzec barw? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6) dokonać konwersji trybu koloru obrazu z jednego modelu do drugiego? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7) określić zakresy zmian atrybutów barw w różnych modelach barw? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8) wskazać różnice występujące pomiędzy addytywną i subtraktywną metodą otrzymywania barw? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 9) wskazać metody syntezy barwy w różnych urządzeniach do pozyskiwania, przetwarzania i wizualizacji obrazów cyfrowych? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

4.5. System zarządzania barwą

4.5.1. Materiał nauczania

Poprawność odwzorowania barw oryginału oraz zachowanie powtarzalności barw w całym procesie pozyskiwania, przetwarzania i wizualizacji obrazów stanowi jeden z najważniejszych celów procesu obrazowania.

Ponieważ każde urządzenie, stosowane w procesie obrazowania, ma swoje specyficzne cechy konstrukcyjne i elementy budowy oraz liczbę i zakres zmian parametrów pracy ważne staje się pytanie o możliwości ustawienia pracy tych urządzeń w sposób pozwalający otrzymać poprawne efekty barwne na obrazach. Istniejące niezgodności barw pomiędzy urządzeniami wejściowymi i wyjściowymi mogą być usunięte poprzez stworzenie systemu uwzględniającego wszystkie urządzenia biorące udział w otrzymywaniu obrazu. Zajmuje się tym COLOR MANAGEMENT SYSTEM (CMS) stanowiący rozwiązanie programowo-sprzętowe, realizujące ideę zapewnienia wiarygodności reprodukcji barw w praktyce.

CMS standaryzuje komunikację pomiędzy urządzeniami wejścia, wyświetlania i wyjścia w celu zapewnienia dokładności reprodukcji barw. Prawidłowa zasada działania każdego systemu powinna polegać na odniesieniu się do jednej wspólnej przestrzeni. I rzeczywiście, centrum każdego systemu stanowi przestrzeń barw niezależna od urządzenia (najczęściej CIE Lab). Przestrzeń ta umożliwia wyrażanie barwy w jeden sposób (w jednym języku) w odniesieniu do urządzeń operujących własnymi przestrzeniami barwnymi (RGB skanera, RGB monitora, RGB aparatu cyfrowego, CMYK drukarki laserowej, atramentowej czy offsetowej) czyli zależnymi od urządzenia. Rolę tłumaczy między przestrzeniami barw pełnią profile barwne urządzeń, które uwzględniają odchylenia barw wzorcowych od wybranego w CMS modelu.

Profil barwny (ICC) to komputerowy plik danych, wykorzystywany w systemie zarządzania barwą, zawierający opis przestrzeni barwnej określonego urządzenia, a także procedury transformacji między przestrzeniami. Czyli mówiąc najprościej profil barwny to plik korekcyjny z danymi uwzględniający odchyłki w interpretacji barw przez urządzenie od wzorca wraz z zapisanym algorytmem sposobu korekcji barw i transformacji do idealnej przestrzeni odniesienia, najczęściej CIE Lab. Profil barwny jest więc przypisany konkretnemu urządzeniu. Profile barwne pozwalają uzyskać barwę najbliższą oczekiwanej na każdym urządzeniu wchodzącym w skład skalibrowanych torów systemu CMS [8, s. 99].

Systemów Color Management jest wiele, ale niezależnie od rozwiązań szczegółowych każdy CMS musi zawierać elementy umożliwiające „zarządzanie barwą”. Podstawą jest tu moduł dopasowania kolorów (COLOR MATCHING MODULE – CMM), który po zainstalowaniu w systemie umożliwia tworzenie i udostępnianie programom użytkowym profili barw (COLOR PROFILES) [9, s. 99].

Stanowisko graficzne umożliwia poprawną reprodukcję barw pod warunkiem, że wszystkie urządzenia do pozyskiwania, przetwarzania i wizualizacji obrazów posiadają poprawnie wygenerowane i dostrojone profile barwne. Zasadniczy schemat stanowiska tworzy układ trzech profili:

- **profil wejściowy** (input profiles – opisujący skanery, aparaty i kamery),
- **profil wyświetlania** (display profiles – opisuje monitory i ekrany LCD stąd druga nazwa profil monitorowy),
- **profil wyjściowy** (output profiles – opisujący drukarki i maszyny drukujące) [9, s. 100].

W przypadku urządzenia wejścia program CMS porównuje wartości wprowadzonego do systemu obrazu wzorca (zeskanowanego, sfotografowanego, sfilmowanego) z jego opisem matematycznym wykonanym przy użyciu spektrofotometru. Wartości porównawcze zapisane

są w plikach dostarczanych ze wzorcem. Wynikiem porównania jest zbiór poprawek, opisujących wartości zamian, jakich musi dokonać komputer, zanim poprawnie „poda barwy” z konkretnego urządzenia wejściowego [8, s.100].

W celu określenia profilu urządzenia wyjścia (np. różnych urządzeń drukujących) należy wydrukować wzorec, zmierzyć spektrofotometrem wszystkie pola barwne na wydruku i zapisać wyniki pomiaru w specjalnej tabeli o formacie zależnym od systemu zarządzania barwą. Dane z tabeli należy wczytać do CMS. W wyniku porównania istniejącego w systemie matematycznego opisu barwnych pól wzorcowych z opisem wczytanym z tabeli powstaje plik korekcyjny wynikający z różnicy pomiędzy odpowiadającymi sobie barwami wzorca oraz wydruku. Taki plik zawierający poprawki powstały z pomiaru różnic w interpretowaniu barwy przez urządzenie wyjścia w stosunku do wzorca stanowi jego profil [8, s. 100].

W analogiczny sposób możliwe jest tworzenie profilu monitora tylko dane kolorymetryczne pozyskiwane są z ekranu wyświetlającego wzorec. Urządzeniami pomiarowymi są kolorymetry, spektrofotometry lub specjalne kalibratory.

Na podstawie profili tworzy się **tory kalibracyjne** stanowiące systemowe połączenie programowe i logiczne profili dwóch urządzeń najczęściej wyjścia i wejścia zapewniające poprawne odwzorowanie barw [8, s. 104]. Liczbę torów kalibracyjnych ogranicza tylko ilość uwzględnianych – pracujących w systemie urządzeń.



Rys. 33. Schemat urządzeń wejścia i wyjścia z różnymi profilami i przestrzenią odniesienia CIE Lab [9, s. 100]

Profil wyświetlania - monitorowy spełnia dwie funkcje:

- przelicza barwy z przestrzeni odniesienia (CIE Lab) do przestrzeni RGB monitora,
- przelicza RGB monitora do przestrzeni odniesienia (CIE Lab).

Jeżeli komputer otrzymuje informację o barwie zdefiniowaną w modelu RGB z urządzenia sterowanego poprawnym profilem barw, jego interpretacja jest prosta [9, s. 100].

Profil wejściowy określa transformację barw z przestrzeni urządzenia wejściowego do przestrzeni odniesienia CIE Lab, czyli przelicza parametry barwy wprowadzonej do komputera na parametry przestrzeni odniesienia. Struktura profilu WE zależy od tego jak mamy zdefiniowaną informację o barwie na wejściu. Może to być:

- sygnał rgb otrzymany ze skanera lub kamery cyfrowej,
- sygnał z innej przestrzeni barw otrzymany z PhotoCD,
- obraz w postaci grafiki rastrowej zdefiniowany w dowolnej przestrzeni RGB, CMYK, CIE Lab, HSB czy kolor indeksowany.

Profil wyjściowy (Output Profile) jest najbardziej skomplikowany. Odpowiada za trzy transformacje:

- przelicza barwy z przestrzeni CIE Lab do CMYK,
- przelicza barwy CMYK do przestrzeni CIE Lab,
- koryguje profil monitora, zawężając jego gamę (przestrzeń odwzorowanych barw) do gamy urządzenia WY [9, s. 100].

Ta funkcja polegająca na modyfikacji profilu monitorowego jest praktycznie najważniejszym a jednocześnie najbardziej kłopotliwym elementem profilu WY.

Do urządzeń WY zaliczamy:

- drukarkę CMYK,
- drukarkę RGB,
- naświetlarkę,
- nagrywarke płyt Photo CD,
- monitor.

Profile korekcyjne (Abstract Profiles) służą do dokonywania przesunięć miejsca koloru w przestrzeni, nie zmieniając metody jej przekształcenia. Są przydatne do korygowania serii obrazów o podobnych zakłóceniach (np. jednakowej dominancie) oraz do tworzenia profili sprzężonych [9, s. 102].

Profile sprzężone (Device Links) transformują/konwertują barwę bezpośrednio z przestrzeni barw jednego urządzenia do przestrzeni barw drugiego bez pośrednictwa przestrzeni odniesienia. Można np. sprzęgać bezpośrednio przestrzeń RGB skanera z przestrzenią barw CMYK drukarki. Przyspiesza to bardzo tempo pracy komputera. Przestrzeń odniesienia CIE Lab nie jest tu pomijana, jest uwzględniana na etapie generowania i dopasowania profilu sprzęgającego. W profilu sprzężonym mogą być osadzone profile korekcyjne.



Rys. 34. Profile sprzężone [9, s. 102]

Rendering Intents to metoda dobierania odpowiednika barwy w przestrzeni docelowej kiedy gamy barw urządzeń wejścia i wyjścia nie pokrywają się.

Stworzony przez Commission Internationale de l'Eclairage w roku 1931 diagram chromatyczności pozwala na graficzne przedstawienie zakresu barw (gamy barw) możliwych do odtworzenia przez konkretne urządzenie wejścia i wyjścia. Komputer w trakcie obróbki obrazu konwertuje współrzędne barwy z przestrzeni urządzenia „wysyłającego” informacje na współrzędne tej samej barwy w przestrzeni urządzenia „odbiorczego”. Kiedy konkretna barwa zdefiniowana przez urządzenie wejścia nie zawiera się w gamie braw urządzenia wyjścia konieczny jest proces dobierania odpowiednika barwy w przestrzeni docelowej zwany **mapowaniem barwy** (Color Mapping).

Proces mapowania barw posługuje się metodą Rendering Intent. Wybór odpowiedniej metody transformacji barwy zależy od rodzaju obrazu, jego przeznaczenia oraz wzajemnego położenia gamy docelowej względem źródłowej. Ważne jest czy obszar gamy docelowej jest mniejszy i czy cały zawiera się w gamie źródłowej, czy też ma miejsce mijanie się obszarów gam [9, s. 103].

Kalibracja to pomiar, z którego wynika, w jakim stopniu parametry urządzenia odbiegają od standardu. Już samo uzyskanie danych i ich zapisanie jest kalibracją. Dalsze wykorzystanie informacji o danych np. regulacja urządzenia lub wygenerowanie profilu nie jest kalibracją. W praktyce kalibracja połączona jest często (w ramach jednej procedury) z generowaniem profilu barw.

O ile kalibracja polega na zbadaniu charakterystyki konkretnego urządzenia, **charakteryzacja** jest określeniem charakterystyki urządzenia na podstawie pomiarów parametrów serii urządzeń danego typu [9, s. 107].

Generowanie profili

Warunkiem wykonania poprawnego profilu jest wykonanie kalibracji lub charakteryzacji urządzenia. Programy użytkowe mają wbudowane generatory profili. Procedury kalibracyjne

dołączone do programów sterujących urządzeniami peryferyjnymi pozwalają również na utworzenie profilu barwy. (np. Kodak ColorFlow, Agfa – ColorTune).

Profil monitora to najważniejszy profil w całym systemie zarządzania barwą, ponieważ od niego zaczyna się cały proces generowania i dopasowania profili dla całego stanowiska graficznego. Wszystkie kolejne kroki w konfiguracji stanowiska pracy grafika będą kontrolowane na podglądzie monitorowym. Od jakości tego podglądu, jego wiarygodności zależy dokładność następujących potem regulacji [9, s. 114].

Bez względu na program zasada generowania profili jest taka sama i obejmuje:

- wprowadzenie do systemu informacji opisujących warunki tworzenia przez monitor barw w przestrzeni RGB (jeżeli nie są one znane wykorzystujemy wykonane w drukarni wzorce testowe i zmieniając współrzędne RGB staramy się doprowadzić do największej zgodności barw) [8 s. 91],
- wprowadzenie współrzędnych luminoforu (podanych w parametrach przestrzeni CIE Yxy współrzędnych RGB odpowiadających pełnemu rozświetleniu luminoforów). Dysponując konkretnym monitorem lub danymi o luminoforach należy wprowadzić ich typ do programu graficznego [8 s. 88],
- wprowadzenie temperatury barwowej punktu bieli (white point) wyrażonej w Kelvinach odpowiadającej wybranej definicji standardowego oświetlenia np. 5500K - w monitorze odpowiada to największemu rozświetleniu trzech luminoforów RGB [8, s. 91],
- ustawienie wyjściowego parametru Gamma (odpowiadającego za kontrast wyświetlanego obrazu) zgodnego z przyjętą platformą systemową.

Wprowadzenie powyższych danych pozwala na wygenerowanie profilu monitora traktowanego jako surowiec do dalszej obróbki. Aby przekonać się, że próbka wyświetlanego koloru jest prawidłowa należy wykorzystać wzorce kontrolne (zwane też wzorcami odniesienia Evaluation Target) zawierające zestawienia najtrudniejszych do reprodukcji barw. Wzorce te dostarczane są jako tradycyjne kopie fotograficzne oraz ich wersji na ekranie monitora (przekształcaniej za pomocą wygenerowanego wcześniej profilu monitorowego).

Profil wejściowy skanera jest prostym przypadkiem profilu WE. Jego zadaniem jest przeliczenie koloru odczytanego przez skaner we współrzędnych jego własnej przestrzeni RGB do odpowiednich współrzędnych w niezależnej od urządzenia przestrzeni odniesienia (obecnie jest to przestrzeń CIE Lab). Profil urządzenia pozwala na przeliczenie barw pomiędzy przestrzeniami, natomiast kalibracja daje profilowi informację na temat odchyłek parametrów konkretnego urządzenia od wzorca.



Fot. 5 Wzorec do kalibracji firmy Kodak [9, s. 116]

Ponieważ skanery produkowane są seryjnie producent urządzenia nie jest w stanie dostarczyć z urządzeniem pewnego profilu dlatego dostarcza wzorce, które pozwalają określić odchyłki parametrów urządzenia od wzorca [9, s. 115].

Profil wyjściowy jest najbardziej skomplikowanym elementem systemu zarządzania barwą ponieważ:

- określenie WY jest wieloznaczne, w procesie obróbki obrazu może to być: maszyna drukarska, drukarka komputerowa, monitor, naświetlarka barwnych diapozytywów, urządzenia kompresujące obraz do formatu Photo CD,
- profil WY złożony jest z wielu transformacji, z których jedna odpowiada za monitorową symulację urządzenia WY i jej ograniczonej gamy barw.

Przebieg tworzenia profilu:

1. Wydrukowanie wzorca zawierającego możliwie największą ilość próbek barw przez urządzenie WY np. drukarkę atramentową (każdy program ma swój własny układ próbek).
2. Pomiar miernikiem wartości barw każdej próbki i zapisanie wyników pomiarów w tzw. pliku pomiarowym (w przestrzeni CIE Lab).
3. Zdefiniowanie w programie generującym profil parametrów generowania czerni i metody transformowania przestrzeni.
4. Wygenerowanie profilu przez system zarządzania barwą.
5. Wydrukowanie wzorca porównawczego przez urządzenie WY przy użyciu wygenerowanego profilu.
6. Dostrojenie profilu urządzenia WY na podstawie 3 wersji wzorca kontrolnego (oryginalnej - fotografii, wydrukowanej z uwzględnieniem korygowanego profilu WY, i cyfrowej wyświetlonej na monitorze) poprzez doprowadzenie ich do zgodności z uwzględnieniem gamy barw urządzenia wyjściowego typu CMYK [9, s. 118].

4.5.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. W jaki sposób dokonuje się konwersji obrazu z przestrzeni barw RGB do Lab?
2. Dlaczego nie można skonstruować urządzenia, które odwzoruje całą paletę barw rzeczywistych?
3. W jaki sposób skalibrować urządzenia zewnętrzne z wykorzystaniem profili barwowych?
4. W jaki sposób osadza się profile barwne w obrazie cyfrowym?
5. Na czym polega CMS - system zarządzania barwami?
6. Co to są profile barwne urządzeń i w jakim celu się je sporządza?

4.5.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Skalibruj monitor kineskopowy na swoim stanowisku pracy na podstawie danych dołączonych do monitora.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) przypomnieć sobie materiał nauczania dotyczący kalibrowania monitora,
- 2) włączyć komputer i monitor,
- 3) uruchomić program graficzny,
- 4) wprowadzić do systemu informacje opisujące sposób tworzenia przez monitor kolorów w przestrzeni RGB lub w przypadku ich braku posłużyć się wykonanym w drukarni wzorcem testowym i zmieniając współrzędne RGB doprowadzić do największej zgodności barw,
- 5) wprowadzić współrzędne luminoforów RGB (należy wprowadzić typ monitora do programu graficznego lub dysponując danymi o luminoforach wprowadzić ich typ do programu graficznego),
- 6) wprowadzić temperaturę barwową punktu bieli,
- 7) ustawić wyjściowy parametr Gamma zgodnie z przyjętą platformą systemową,
- 8) zapisać kolejno wykonane czynności na karcie pracy,
- 9) dołączyć pracę do teczki dokumentującej realizację ćwiczeń.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- indywidualne stanowisko komputerowe z oprogramowaniem systemowym i edytorem graficznym,
- instrukcja kalibracji monitora,
- wzorzec testowy do kalibracji monitora,
- karta pracy.

Ćwiczenie 2

W programie Photoshop zdefiniuj przestrzeń barw zalecaną do prac przy obróbce grafiki rastrowej przeznaczonej do wydruku.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) uruchomić program Photoshop,
- 2) z menu *Edycja* wybrać polecenie *Ustawienia kolorów*,
- 3) odczytać rodzaj osadzonej przestrzeni barw,
- 4) w sekcji *Przestrzenie robocze* okna dialogowego wybierz *opcję Adobe RGB (1998)*,
- 5) zatwierdzić zmiany,
- 6) w pomocy programu Photoshop lub dostępnych danych literaturowych określić cechy i przeznaczenie domyślnej przestrzeni kolorów: sRGB IEC61966-2.1 i nowo-osadzonej przestrzeni Photoshopa Adobe RGB (1998),
- 7) zapisać informacje, sformułować wnioski,
- 8) przedstawić pracę na forum grupy,
- 9) dołączyć pracę do teczki dokumentującej realizację ćwiczeń.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- indywidualne stanowisko komputerowe z oprogramowaniem systemowym i edytorem graficznym i dostępem do Internetu,
- poradniki zawodowe, katalogi produktów materiałów fotograficznych różnych firm,
- karta pracy.

4.5.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

| | Tak | Nie |
|---|--------------------------|--------------------------|
| 1) dokonać konwersji obrazu z jednej przestrzeni barw do drugiej? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2) wyjaśnić przyczynę trudności w odwzorowaniu barw rzeczywistych przez urządzenia WE i WY? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3) określić pojęcie profilu barwnego? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4) określić pojęcie toru kalibracyjnego? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5) osadzić profil barwny w obrazie cyfrowym? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6) określić funkcję systemu zarządzania barwami? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7) określić sposób kalibracji urządzeń zewnętrznych z wykorzystaniem profili barwnych? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8) uzasadnić celowość sporządzania i stosowania profili barwnych? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

4.6. Nośniki informacji obrazowej

4.6.1. Materiał nauczania

Cyfrowa klisza czyli pamięć Flash – czy rzeczywiście?

Na początku należałoby wyjaśnić pojęcie cyfrowy film, który zastąpił klasyczny materiał w aparacie fotograficznym. Na materiale halogenosrebrowym, po naświetleniu, powstaje obraz utajony. Materiał ten rejestruje obraz optyczny, a zmiany zachodzące podczas naświetlania czynią go trwałym nośnikiem informacji obrazu w postaci utajonej.

W dobie fotografii cyfrowej te dwie funkcje rejestratora obrazu i nośnika informacji obrazowej, jakie łączył w sobie materiał halogenosrebrowy, zostały rozdzielone. Jest detektor obrazu - matryca rejestrująca na swych fotoelementach obraz optyczny i pamięć, na której zapisujemy informacje o obrazie zarejestrowanym przez matrycę. Stąd to zamieszanie w nazewnictwie.

Mianem cyfrowego filmu możemy nazwać matrycę, która tak jak materiał światłoczuły, znajduje się w aparacie fotograficznym w płaszczyźnie obrazu optycznego i po naświetleniu powstaje na niej obraz utajony w postaci zgromadzonych fotoelektronów. Nie jest to jednak obraz trwały i należy zapisać jego postać utajoną na nośniku pamięci w postaci ciągu zer i jedynek. Dlatego wszystkie pamięci przechowujące dane o obrazie możemy w sposób jednoznaczny nazywać **nośnikami informacji obrazowej** - a nie cyfrowym filmem - choć pełnią jedną z funkcji materiału światłoczułego.

W fotografii cyfrowej najczęściej korzystamy z przenośnych pamięci – nośników pamięci do aparatów cyfrowych. Za przechowywanie plików graficznych odpowiada pamięć wykonana w technologii flash, co oznacza, że dane są utrzymywane przez dowolnie długi czas bez konieczności korzystania z zasilania. Informacje zapisane na nośniku z takim rodzajem pamięci można wielokrotnie kasować i na nowo zapisywać. Na rynku spotkamy się z aparatami, które mogą obsługiwać pamięci flash w standardach:

- CompactFlash Type I&II,
- SecureDigital,
- MultimediaCard,
- SmartMedia,
- MemoryStick,
- xD-Picture Card.

Do podstawowych właściwościami użytkowych nośników pamięci zaliczamy:

- pojemność wyrażona w MB lub GB,
- prędkość zapisu, odczytu i transmisji wyrażona w Mb/s (megabity na sekundę),
- napięcie zasilające i pobór prądu,
- sposób zapisu (magnetyczny, optyczny –na płytach CD),
- szybkość zegara w MHz,
- wymiary i ciężar.

Podstawową jednostką pamięci jaką przetwarza komputer jest 1 bit (1b). 8 bitów czyli BAJT (1B) to już jednostka pojemności informacji. Pomędzy pozostałymi jednostkami pojemności informacji zachodzi zależność

| | |
|---------|-------|
| 8b | 1Bajt |
| 1024 b | 1Kb |
| 1024 B | 1 KB |
| 1024 KB | 1 MB |
| 1024 MB | 1 GB |

W aparatach cyfrowych spotykamy takie nośniki pamięci jak: pamięć stała, dyskietka 3,5", karty pamięci, dyski CD.

Pamięć stała (wewnętrzna). Stosowana była w cyfrowych aparatach kompaktowych jako uzupełnienie kart pamięci (rezerwa pamięci). Pamięć stałą montowano w pierwszych aparatach cyfrowych, kiedy przenośne pamięci miały jeszcze bardzo małą pojemność informacji.

Dyskietka 3,5" to system zapamiętywania stosowany w pierwszych aparatach z serii Sony Mavica. Ma bardzo powolny odczyt i zapis i bardzo małą pojemność (1,44 MB). Dyskietka 3,5" jest tanim nośnikiem. Dane można odczytać w napędzie dyskietek komputera.

Karty pamięci

CompactFlash (CF) to obecnie najbardziej rozpowszechnione karty pamięci. Posiadają solidną konstrukcję, wytrzymałą i dość grubą obudowę odporną na złamanie. Złącza układów elektronicznych są dobrze zabezpieczone.

CF są jedynymi na rynku kartami, które oprócz modułu pamięci flash zawierają wbudowany kontroler pamięci zarządzający zapisem i odczytem informacji. Dodatkowo karty CF mogą być wyposażone w interfejsy USB.

Ze względu na wbudowaną elektronikę obsługującą pamięć, karty CF wykazują dużą kompatybilność.

Istnieją dwa rodzaje kart CF typ I oraz typ II, posiadające nieco większą grubość. CF typu I pracują przy napięciu 3,3V zaś typu II przy napięciu 5V.

Ze wzrostem pamięci karty maleje szybkość zapisu i transferu informacji (obecnie do 16Mb/s).

Przykładem nośnika pamięci z interfejsem typu CF typ II jest **IBM MicroDrive** - miniaturowy twardy dysk, który może zostać zainstalowany w aparacie cyfrowym. Ma zaledwie 43 mm szerokości, 36 mm długości i 5 mm grubości. To niewielki napęd dyskowy o pojemności do kilku GB. Wykorzystywany w profesjonalnych aparatach i kamerach cyfrowych z uwagi na solidność, odporność na wstrząsy i dużą pojemność od 170MB do przekraczającej 16 GB [22, s. 42].



Fot. 6 IBM MicroDrive [20]

Pozostałe zewnętrzne nośniki informacji nie posiadają kontrolerów pamięci. Składają się z modułu pamięci flash zatopionego w mało odpornym, kruchym plastiku. Wszystkie operacje związane z zapisem i odczytem informacji muszą być wykonane przez urządzenia, w których umieścimy kartę, w tym przypadku przez cyfrowy aparat fotograficzny.

SmartMedia (SM) to małe karty wielkości znaczka pocztowego, płaskie i lekkie (45x37x0.76 mm). Tak mała wielkość urządzenia wynika z przeniesienia elektroniki obsługującej pamięć z karty do aparatu cyfrowego. Ogranicza to kompatybilność karty SmartMedia. Karty SM produkowane są w 2 wersjach różniących się napięciem zasilania: 3.3V i 5V. Dostępne są nośniki o pojemności do 128 MB. Obecnie karta wycofana z produkcji z powodu niskich pojemności i zastąpiona kartami xD.

Memory Stick (MS) Karta w prowadzona na rynek przez firmę Sony. Jest przeznaczona do współpracy z komputerami osobistymi i różnorodnym cyfrowym sprzętem

audiowizualnym firmy Sony. Niewielkie rozmiary karty Memory Stick sprawiają, że możliwe jest miniaturyzowanie portów wejścia.

Obecnie wyróżniamy cztery typy kart Memory Stick: najstarszy typ kart tzw. „oryginalny- standardowy” (pojemność do 128MB), MS Select (256MB), MS Duo - karta trzy razy mniejsza od oryginalnego MS (do 128MB), MS Pro "nowy" standard kart (do 32GB).

Secure Digital (SD) charakteryzują się dużą pojemnością, szybkim transferem danych (do 133x) i bezpieczeństwem, przy rozmiarach znaczka pocztowego. Wyróżniamy microSD, miniSD, Elite Pro oraz Ultimate dla profesjonalnych fotografów. Stosuje się je w różnych urządzeniach cyfrowych – aparatach cyfrowych, telefonach komórkowych, cyfrowych kamerach, palmtopach, odtwarzaczach MP3.

Secure Digital. SD jest obecnie najmniejszą kartą pamięci dostępną na rynku. Pojemność kart SD wynosi od 8MB, 16MB, 32MB, 64MB, ...512MB a nawet 32GB.

Karty SD High Capacity to karty o technologii pozwalającej na zwiększenie pojemności nośnika od 4GB do 32GB i gwarantuje minimalną prędkość zapisu danych 6 MB/s. Teoretyczna granica standardu pojemności SD-HC to 2 TB (2 terabajty = 2048 GB).

MultiMediaCard (MMC) doskonale współpracują z najnowszymi urządzeniami cyfrowymi. Karty MMC mają wyjątkowo dużo zastosowań.

Karty MultiMediaCard były do niedawna najmniejszymi z ogólnie dostępnych nośników pamięci. Aktualnie pojemność kart MMC wynosi do 2GB. Oprócz standardowego formatu, stworzone zostały również karty RS-MMC (Reduced Size MMC) o zmniejszonych wymiarach, HS-MMC (High Speed MMC o wysokiej prędkości transmisji danych do 52MB/s, Dual Voltage MMC na dwa napięcia, SecureMMC - zawierające mechanizmy zabezpieczające przed dostępem obcych do zapisanych na karcie dane [21].

Extreme Digital (xD) to najnowszy standard kart pamięci bez kontrolera pracy. Karty XD są obecnie najmniejszymi z nośników pamięci o wymiarach 20 mm × 25 mm × 1.78 mm i wadze 2.8 g. Ich zalety przy zachowaniu małego rozmiaru pozwalają na dalszą miniaturyzację aparatów cyfrowych.

Tabela 5 Prędkości transferu kart xD [wikipedia.pl]

| Typ | Pojemność | Zapis (MB/s) | Odczyt (MB/s) |
|---|---------------------------------------|--------------|---------------|
| Standardowe | 16 MB, 32 MB | 1.3 | 5 |
| | 64 MB, 128 MB, 256 MB, 512 MB | 3 | 5 |
| Typ M (rozwiązanie technologiczne pozwalające na uzyskanie dużych pojemności nawet do 8GB) | 256 MB, 512 MB, 1 GB, 2 GB | 2.5 | 4 |
| Typ H (rozwiązanie technologiczne charakteryzujące się szybkim zapisem i odczytem informacji) | 256 MB, 512 MB, 1 GB, (2 GB Fujifilm) | 9 | 15 |

Do zalet kart xD można zaliczyć: mniejsze wymiary w porównaniu do innych formatów z wyjątkiem karty Memory Stick M2, szybkość od kart starszych formatów (SM, MMC, MS), niski pobór mocy, dużą wytrzymałość i odporność na zniszczenie. Wadami jest mała maksymalna teoretyczna pojemność kart, mniejsza prędkość od kart SD, cena za pojemność.

Dyski CD-R

Płyta CD-R wykorzystywana jest do zapisu plików zdjęciowych w aparacie cyfrowym firmy Sony-Mavica MVC-CD100. Pojemność - 156 MB -jest zaletą, przy tak niskiej cenie. Odczytu danych można dokonać w standardowych napędach CD-ROM. Płyta jest jednokrotnego zapisu. W najnowszych konstrukcjach aparatów stosuje się już płyty wielokrotnego zapisu CD-RW. Jedynym utrudnieniem tego rozwiązania jest konieczność zachowania stabilności aparatu podczas zapisu (brak wstrząsów).

4.6.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie znasz rodzaje nośników pamięci?
2. Co to jest pamięć typu flash?
3. Wymień właściwości użytkowe nośników pamięci?
4. Podaj przykłady kart pamięci stosowanych w aparatach cyfrowych?
5. Co to jest pamięć MicroDrive?
6. Jaka jest różnica we właściwościach płyt CD-R i CD-RW?

4.6.3. Ćwiczenia

Ćwiczenie 1

Na podstawie oznaczeń umieszczonych na nośnikach oraz danych zawartych na ulotce producenta określ cechy użytkowe nośników pamięci.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) przypomnieć sobie materiał nauczania z jednostki modułowej dotyczący cech użytkowych nośników pamięci,
- 2) zapoznać się z asortymentem nośników pamięci,
- 3) zanalizować oznaczenia umieszczone na nośnikach pamięci oraz dane zawarte na ulotce producenta,
- 4) określić cechy użytkowe nośników pamięci,
- 5) przedstawić wyniki ćwiczenia na forum grupy,
- 6) zapisać efekt ćwiczenia i dołączyć pracę do teczki ćwiczeń.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- literatura zawodowa,
- zestaw różnych nośników pamięci,
- karta pracy.

Ćwiczenie 2

Dobierz nośniki pamięci informacji obrazowej do wskazanych aparatów cyfrowych.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z asortymentem aparatów cyfrowych,
- 2) zanalizować instrukcje obsługi aparatów cyfrowych pod kątem rodzaju nośnika pamięci przeznaczonego do aparatu,

- 3) zanalizować katalogi z asortymentem różnych nośników pamięci,
- 4) zapoznać się z asortymentem nośników pamięci,
- 5) przypisać nośnik pamięci do aparatu cyfrowego,
- 6) wybrać nośniki pamięci i włożyć je do odpowiedniego gniazda karty pamięci znajdującego się w aparacie cyfrowym,
- 7) zaprezentować w formie pisemnej rezultaty realizacji ćwiczenia,
- 8) dołączyć pracę do teczki dokumentującej realizację ćwiczeń.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- instrukcje obsługi aparatów cyfrowych,
- katalogi z asortymentem różnych nośników pamięci,
- literatura zawodowa,
- zestaw aparatów cyfrowych amatorskich, półprofesjonalnych i profesjonalnych na karty pamięci, dyskietkę i płytę CD,
- karta pracy.

Ćwiczenie 3

Przeprowadź klasyfikację nośników pamięci stosowanych w aparatach cyfrowych.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) zgromadzić informację na temat nośników pamięci stosowanych w aparatach cyfrowych,
- 2) sklasyfikować nośniki pamięci,
- 3) podać przykłady standardów nośników pamięci obowiązujących w wyodrębnionych grupach,
- 4) zaprezentować w formie pisemnej rezultaty realizacji ćwiczenia,
- 5) dołączyć pracę do teczki dokumentującej realizację ćwiczeń.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- katalogi z asortymentem różnych nośników pamięci,
- literatura zawodowa,
- stanowisko z dostępem do Internetu,
- karta pracy.

Ćwiczenie 4

Dobierz pojemność nośnika pamięci do wielkości pliku graficznego.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinienes:

- 1) zapoznać się z asortymentem nośników pamięci,
- 2) określić pojemność dostępnych nośników pamięci,
- 3) odczytać wielkość plików graficznych,
- 4) wybrać nośnik pamięci do zapisu plików graficznych,
- 5) uzasadnić wybór,
- 6) zapisać informacje na nośniku pamięci,
- 7) zaprezentować w formie pisemnej rezultaty realizacji ćwiczenia,
- 8) dołączyć pracę do teczki dokumentującej realizację ćwiczeń.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- nośniki pamięci z ulotkami producenta lub charakterystykami nośników,
- folder zawierający pliki graficzne,
- komputer z oprogramowaniem systemowym i odpowiednim interfejsem TWAIN,
- karta pracy.

4.6.4. Sprawdzian postępów

| Czy potrafisz: | Tak | Nie |
|--|--------------------------|--------------------------|
| 1) wymienić rodzaje nośników pamięci? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2) wyjaśnić właściwości użytkowe nośników pamięci? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3) wskazać magnetyczne i optyczne nośniki pamięci? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4) określić rodzaj karty pamięci na podstawie oznaczenia literowego (CF, MS, SM, MMC, XD)? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 5) stosować jednostki pojemności informacji? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

5. SPRAWDZIAN OSIĄGNIĘĆ

INSTRUKCJA DLA UCZNIĄ

1. Przeczytaj uważnie instrukcję.
2. Podpisz imieniem i nazwiskiem kartę odpowiedzi.
3. Zapoznaj się z zestawem zadań testowych.
4. Test zawiera 20 zadań dotyczących „Stosowanie elektronicznych detektorów obrazu”. Wszystkie zadania są wielokrotnego wyboru i tylko jedna odpowiedź jest prawidłowa.
5. Udzielaj odpowiedzi tylko na załączonej Karcie odpowiedzi: w zadaniach wielokrotnego wyboru zaznacz prawidłową odpowiedź X (w przypadku pomyłki należy błędną odpowiedź zaznaczyć kółkiem, a następnie ponownie zakreślić odpowiedź prawidłową).
6. Pracuj samodzielnie, bo tylko wtedy będziesz miał satysfakcję z wykonanego zadania.
7. Kiedy udzielenie odpowiedzi będzie Ci sprawiało trudność, wtedy odłóż jego rozwiązanie na później i wróć do niego, gdy zostanie Ci wolny czas.
8. Na rozwiązanie testu masz 45 minut.

Powodzenia!

ZESTAW ZADAŃ TESTOWYCH

1. Atrybutami barwy są
 - a) kolor, jasność, nasycenie.
 - b) odcień, jasność, nasycenie.
 - c) odcień, rozjaśnienie, nasycenie.
 - d) kolor, rozjaśnienie, nasycenie.
2. W modelu RGB wartości składowych chromatycznych $255*0*255$ definiują barwę
 - a) czerwoną.
 - b) purpurową.
 - c) żółtą.
 - d) niebieskozieloną.
3. Barwa wynikowa powstała przez addytywną syntezę dwóch barw w modelu CIE Yxy zdefiniowana jest przez
 - a) środek ciężkości odcinka wyznaczonego przez współrzędne barw składowych.
 - b) środek odcinka wyznaczonego przez współrzędne barw składowych.
 - c) środek okręgu o średnicy wyznaczonej przez współrzędne barw składowych.
 - d) środek trójkąta wyznaczonego przez współrzędne barw składowych i punkt bieli.
4. CMS to
 - a) profile urządzeń wejścia.
 - b) zespół czynności poprawnego uruchomienia urządzeń wejścia.
 - c) oprogramowanie łączące urządzenia wejścia i wyjścia.
 - d) wykaz czynności poprawnego uruchomienia urządzeń wyjścia.
5. Podstawowym elementem budowy matrycy CCD jest złącze
 - a) MIS.
 - b) dodatnie.
 - c) ujemne.
 - d) CIS.

6. Matryca CMOS posiada jeden wzmacniacz sygnału i rejestrator odczytu dla
 - a) każdego wiersza.
 - b) każdej kolumny.
 - c) każdego sensora.
 - d) wszystkich sensorów.

7. Elektroda w złączu MIS
 - a) przeciwdziała powiększeniu się ładunku.
 - b) przeciwdziała rozmyciu się ładunku na sąsiednie elementy fotoczułe.
 - c) Powoduje powstanie efektu bloomingu.
 - d) przeciwdziała powstaniu dodatkowych ładunków.

8. Aby zarejestrować barwy obiektu za pomocą matrycy CCD zastosowano filtry w układzie
 - a) CMYK.
 - b) RGB lub CMYK.
 - c) RGBG lub CMYG.
 - d) RGB.


9. Wielkość wytworzonego w fotoelemencie matrycy ładunku zależy tylko od
 - a) natężenia padającego światła i pojemności elementu fotoczułego.
 - b) od pojemności elementu fotoczułego i efektywnej apertury.
 - c) ilości padającego światła, efektywnej apertury i pojemności elementu fotoczułego.
 - d) Czasu działania padającego światła i efektywnej apertury.

10. Symbol A\C na schemacie budowy matrycy CCD oznacza
 - a) rejestrator analogowy.
 - b) Przetwornik cyfrowo-analogowy.
 - c) przetwornik analogowo-cyfrowy.
 - d) rejestrator analogowo-cyfrowy.

11. Rozdzielczość matrycy zależy od ilości
 - a) wzmacniaczy sygnału.
 - b) rejestrów odczytu.
 - c) pojedynczych elementów fotoczułych.
 - d) pojedynczych elektrod w złączu MIS.

12. Warstwa soczewek w matrycy super CCD
 - a) odbija światło od elementu fotoczułego.
 - b) rozprasza światło na elemencie fotoczułym.
 - c) ogniskuje światło na elemencie fotoczułym.
 - d) wygasza światło na elemencie fotoczułym.

13. Podstawowym nośnikiem informacji obrazowej stosowanym w aparatach cyfrowych jest
 - a) matryca CCD.
 - b) materiał zdjęciowy.
 - c) płyta CD.
 - d) karta pamięci.

14. Skrót CMOS oznacza
- technologię wykonania elektronicznego detektora obrazu.
 - elektroniczne sterowanie czułością detektora obrazu c.
 - układ filtrów barwnych w mozaice Bayera
 - rozwiniecie technologii matrycy cyfrowej CCD.
15. Poniższa fotografia przedstawia nośnik pamięci
- MMC.
 - XD.
 - CF.
 - SD.
- 
16. Międzynarodowym wzorcem barw jest
- RGB.
 - CMYK.
 - CIE Yxy.
 - CIE Lab.
17. Efektywne piksele detektora elektronicznego to liczba
- wszystkich pikseli zgromadzonych na matrycy.
 - pikseli matrycy składających się na elementy wykonanego zdjęcia.
 - pikseli brzegowych potrzebnych do zarejestrowania informacji o jasności i barwie światła naświetlającego.
 - fotoelementów posiadających wzmacniacz i rejestrator sygnału.
18. Binning to
- metoda podwyższania czułości matrycy.
 - metoda zmiany rozdzielczość matrycy.
 - efekt rozlewania się najwyższych światel obrazu.
 - sposób zwiększania zakresu dynamiki matrycy.
19. Efektywna apertura określa
- gęstość upakowania fotoelementów na matrycy.
 - współczynnik aktywnej na światło powierzchni detektora w stosunku do jego powierzchni całkowitej.
 - liczbę efektywnych pikseli matrycy zgromadzonych w matrycy.
 - stosunek sygnału elektrycznego powstałego w matrycy podczas naświetlania do poziomu szumu.
20. Rejestrację obiektów ruchomych umożliwia metoda detekcji
- makroskan.
 - powierzchniowa jednokrotnej ekspozycji.
 - powierzchniowa wielokrotnej ekspozycji.
 - skanowania czterostanowego.

KARTA ODPOWIEDZI

Imię i nazwisko

Stosowanie elektronicznych detektorów obrazu

Zaznacz poprawną odpowiedź.

| Nr zadania | Odpowiedź | | | | Punkty |
|---------------|-----------|---|---|---|--------|
| 1. | a | b | c | d | |
| 2. | a | b | c | d | |
| 3. | a | b | c | d | |
| 4. | a | b | c | d | |
| 5. | a | b | c | d | |
| 6. | a | b | c | d | |
| 7. | a | b | c | d | |
| 8. | a | b | c | d | |
| 9. | a | b | c | d | |
| 10. | a | b | c | d | |
| 11. | a | b | c | d | |
| 12. | a | b | c | d | |
| 13. | a | b | c | d | |
| 14. | a | b | c | d | |
| 15. | a | b | c | d | |
| 16. | a | b | c | d | |
| 17. | a | b | c | d | |
| 18. | a | b | c | d | |
| 19. | a | b | c | d | |
| 20. | a | b | c | d | |
| Razem: | | | | | |

6. LITERATURA

1. AGFA: Zaproszenie do skanowania cyfrowe przygotowanie druku barwnego tom IV- podręcznik skanowania
2. CHIP Special, Grafika sierpień 1999
3. CHIP 6/2002
4. CHIP 24/2002
5. CHIP 12/2003
6. Fraser B., Murphy Ch., Bunting F.: Profesjonalne zarządzanie barwą, Helion Gliwice 2006
7. FUJIFILM - I&I (Imaging & Information): Super CCD, Fuji Photo Film Co, Japan 1999
8. Kamiński B.: Prepress i barwy, Translator s.c. Warszawa 1997
9. Karoń K.: Color Management. Teoria i praktyka, A.R.Karo Warszawa 2001
10. Foto-numer specjalny - Fotograficzne aparaty cyfrowe
11. Fotografia cyfrowa 1/2005
12. Szulowski M.: Cyfrowki przyszłości, PC Kurier 24/2002
13. Latacz L., Mora Cz.: Tradycyjna i elektroniczna technika rejestracji obrazu, Poligrafika 06/1997
14. Photoshop 7.0 - pomoc programu
15. Postawa Z.: Podstawy informatyki users.uj.edu.pl/~ufpostaw/ Podstawy/ Wyklad06.pdf
16. www.abc.fotopolis.pl
17. www.fotoporadnik.pl
18. www.foveon.com
19. www.optyczne.pl
20. www.researchweb.watson.ibm.com/microdrive
21. www.pl.wikipedia.org
22. Maciejewski M.: Dyski twarde wykorzystywane w cyfrowym świecie, e-photo 8/2001
23. Fotografia cyfrowa 7/2007
24. Ostrowski M., Jabłonka St.: Informacja obrazowa. Barwa i metody wyrażania bodźców barwowych., WNT Warszawa 1992