

Wykład

Systemy wizyjne

dr inż. Robert Kazała

Wybór systemu wizyjnego - pytania

- Jakie są dokładnie określone wymagania dla systemu?
- Jaka rozdzielczość i czujniki są potrzebne?
- Czy chcę użyć kolorowego lub monochromatycznego aparatu?
- Jakie funkcje aparatu są potrzebne i jaki jest poziom jakości obrazu?
- Oko kamery: Skala i wydajność obiektywu
- Z którego oświetlenia powinienem korzystać?
- Jaki sprzęt komputerowy jest wymagany?
- Jakie oprogramowanie jest wymagane?

Kamera kolorowa czy monochromatyczna

- Ogólnie mówiąc, większość aplikacji nie potrzebuje kamery kolorowej.
- Kolorowe obrazy są często łatwiejsze do analizy za pomocą wzroku.
- Realistyczna reprodukcja kolorów za pomocą kamery kolorowej wymaga również zastosowania białego oświetlenia.
- Jeśli cechy można wykryć za pomocą koloru (np. Czerwone przebarwienia na jabłku), kolor jest często - ale nie zawsze - potrzebny.
- Cechy te można również w wielu przypadkach zebrać w czarno-białych obrazach z kamery monochromatycznej, jeśli używane jest kolorowe oświetlenie.
- Pomagają tutaj eksperymenty na próbkach rzeczywistych obiektów.
- Jeśli kolory nie są istotne, preferowane są kamery monochromatyczne, ponieważ kamery kolorowe są z natury mniej czułe niż kamery czarno-białe.

Czujniki wizyjne

- złożone z kamery i prostego procesora w jednej obudowie, niektóre czujniki wizyjne mają również zainstalowany mały monitorek LCD (we wspólnej obudowie);
- kamera ma rozdzielczość 640x480 pixeli lub mniej, jej programowanie polega na ustawieniu parametrów funkcji wizyjnych (parametryzacji) wewnętrznego oprogramowania;
- zakres funkcji realizowanych przez czujniki wizyjne jest mocno ograniczony (celowo) do kilku podstawowych zadań (np. czytanie kodu, liczenie obiektów, rozpoznawanie obiektów (jest / nie ma), pomiar 1 wymiaru i inne);
- współpraca z otoczeniem odbywa się z wykorzystaniem wejść i wyjść (0/1) wbudowanych do czujnika;

Czujniki wizyjne



Kamery inteligentne

- złożone z kamery i komputera w jednej obudowie, najczęściej o rozdzielczości z zakresu od 640x480 do 1600x1200 pikseli;
- kamery takie pracują pod własnym systemem operacyjnym, programowane są w językach wysokiego poziomu stworzonych przez producenta kamery, na rynku są też kamery pracujące pod systemem operacyjnym MS Windows;
- producenci tych kamer oferują liczne akcesoria jak specjalne kable, zespoły złącz (interfejsy), zasilacze, monitory, oświetlacze i osłony;
- zakres funkcji wizyjnych realizowanych przez kamery inteligentne jest szeroki, dla niektórych kamer wręcz nieograniczony;
- kamery inteligentne mogą dysponować wieloma wejściami i wyjściami, w różnych standardach;

Kamery inteligentne



Kamera + komputer:

- system złożony z kamery i oddzielnego komputera to najtrudniejszy w realizacji system wizyjny, ale dający największą elastyczność i najszersze możliwości;
- w konfiguracji takiej dostępne są wszystkie rozdzielczości kamer, kamery liniowe i matrycowe, monochromatyczne i kolorowe z jedną lub 3-ma matrycami, w małych i dużych obudowach;
- integracja systemu w takiej konfiguracji wymaga szerokiej wiedzy z zakresu techniki kamer i techniki komputerowej;
- trzeba optymalnie wybrać właściwą kamerę, optymalny interfejs, wydajny komputer i software z niezbędną funkcjonalnością, a na koniec trzeba to wszystko zaprogramować i uruchomić;

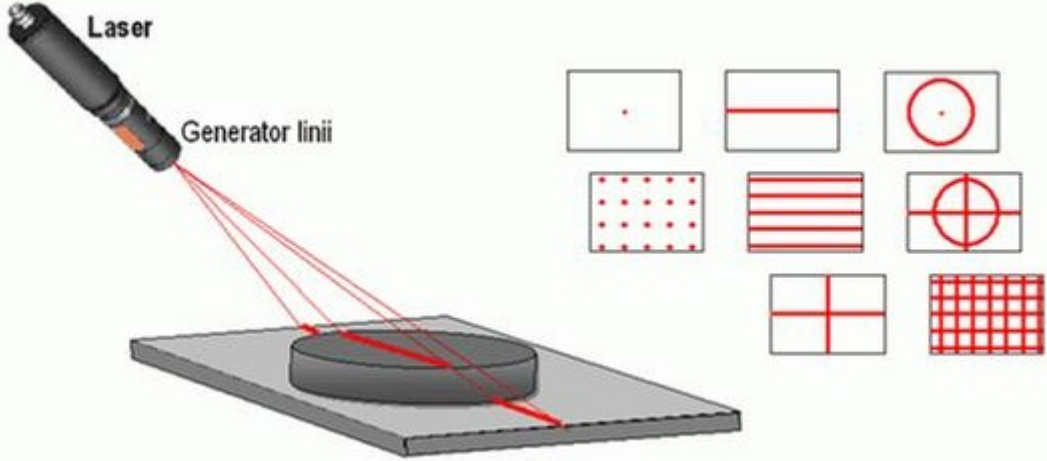
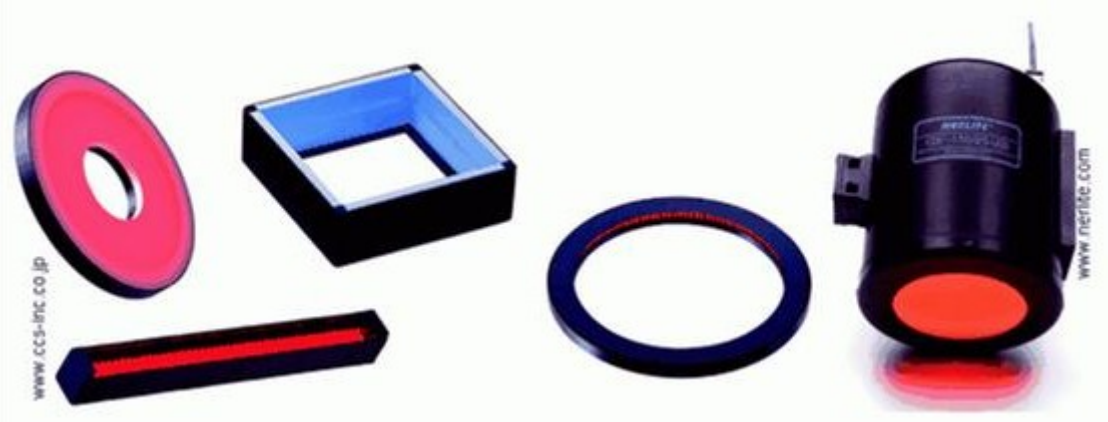
Kamera + komputer:



Oświetlenie

- jeżeli obiekt świeci samoistnie lub jest oświetlony przez niezależne, stabilne źródło światła – dodatkowy oświetlacz może być zbędny.
- Niezawodny system wizyjny powinien jednak być niezależny od otoczenia, więc wskazane jest zastosowanie specjalnego oświetlacza, optymalnego pod względem: typu, wymiarów, pozycji i widma światła.
- Optymalne oświetlenie obiektu to najtrudniejsze zadanie w tworzeniu systemu wizyjnego.

Oświetlenie



Oświetlenie - LED

- LED – najpopularniejsze ze względu na trwałość rzędu 50 – 70 tysięcy godzin pracy; pracują one w zakresach widmowych: UV, niebieski, zielony, czerwony, biały i bliskiej podczerwieni (NIR); duży wybór typów (światło bezpośrednie lub rozproszone), kształtów (pierścienie, kopuły, płaszczyzny, linie, punkty...) i mocy daje im przewagę nad innymi typami oświetlaczy;
- bardzo korzystna dla LED-ów jest praca w trybie błyskowym (flash), przez co uzyskuje się większą energię światła podczas ekspozycji kamery a jednocześnie wydłuża się okres życia LED-ów;

Oświetlenie - lampy wyładowcze

- drugie pod względem popularności – to głównie świetlówki białe i UV;
- inne barwy są dostępne, ale mniej popularne; trwałość wynosi 10 – 15 tysięcy godzin pracy; najpopularniejsze kształty tych oświetlaczy to pierścień, linia, płaszczyzna;
- świetlówki pracujące w systemach wizyjnych zasilane są napięciem o częstotliwości 27 – 45 kHz, przez co wyeliminowana jest zmienność intensywności obrazu, występująca przy świetlówkach zasilanych z sieci 50Hz;

Oświetlenie - lampy halogenowe

- lampy halogenowe – są niezastąpione, jeśli potrzebne jest światło „bardzo białe” lub „zimne”; oświetlacz taki składa się zwykle z dwóch komponentów: źródła światła z zasilaczem i światłowodów, za pomocą których doprowadza się światło do obiektu; formując odpowiednio rozstaw końcówek światłowodów, można uzyskać pożądany kształt oświetlacza: punkt, pierścień, linia, płaszczyzna, itd.;
- wadą tych oświetlaczy jest krótka żywotność źródła światła: 50 – 4000 godzin pracy; w warunkach laboratoryjnych nie jest to problemem; w warunkach przemysłowych niezbędna jest wymiana lampy co kilka miesięcy;
- najczęściej oświetlacze te są stosowane, gdy potrzebne jest światło białe o odpowiedniej temperaturze barwowej, np. 6000K, np. w kontroli jakości nadruków;

Oświetlenie - lasery

- lasery – są popularnym źródłem tzw. „światła kodowanego”; wiązka laserowa może być użyta bezpośrednio, dając na obiekcie „punkt świetlny”;
- przy użyciu odpowiedniej soczewki lub płytki holograficznej można uformować linię lub zbiór linii, okrąg lub zbiór okręgów, zbiór punktów i różne kombinacje tych kształtów;
- aktualnie w widzeniu maszynowym stosuje się lasery o barwie czerwonej lub zielonej, chociaż inne długości fali są technicznie możliwe;
- trwałość lasera zależy bardzo mocno od warunków pracy; poprawnie zasilony i nieprzeegrzewany laser może pracować do 100 000 godzin;
- zaletą laserów jest możliwość modulacji światła w czasie, np. praca w trybie błyskowym.

Optyka - obiektywy

- Za pomocą obiektywu odwzorowuje się analizowany obszar obiektu na matrycy kamery.
- Dobierając obiektyw do geometrii systemu i do wielkości matrycy kamery – większość zadań wizyjnych udaje się rozwiązać przy użyciu obiektywów standardowych, o ogniskowych od 6 do 75 mm.
- Pełna oferta obiektywów do widzenia maszynowego to ogniskowe od 2,8 mm do 150 mm. Obsługiwane matryce to standardowo formaty 1/3, 1/2, 2/3 i 1 cal. Ale są dostępne i obiektywy do matryc znacznie większych, o średnicy pola obrazowego do 90 mm.
- Do zadań pomiarowych dostępne są obiektywy telecentryczne – patrzące „równolegle” na obiekt.
- Ich wadą jest to, że średnica pierwszej soczewki musi być większa niż średnica pola widzenia, a uwzględniając pożądaną wysoką dokładność odwzorowania, niezbędną przy pomiarach – powoduje to, że są one drogie, w licznych zadaniach wizyjnych są jednak niezbędne.

Optyka - obiektywy



Kamery

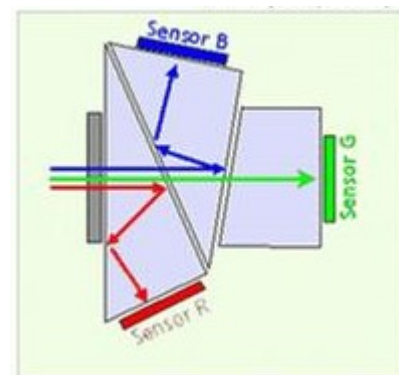
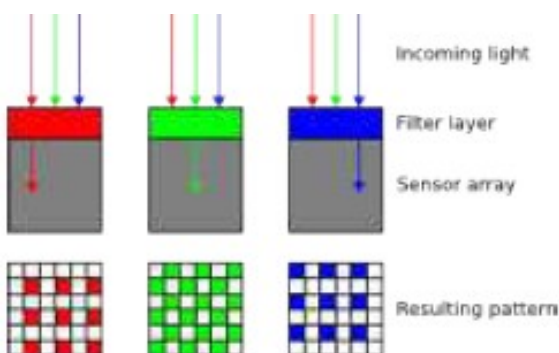
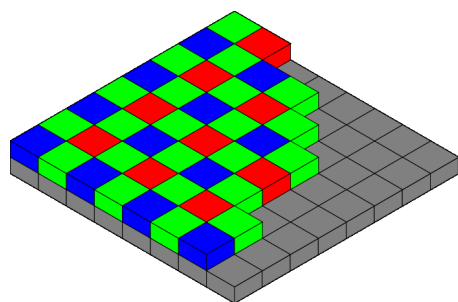
- Kamera jest podstawowym elementem systemu wizyjnego.
- Przetwarza obraz na sygnały elektryczne, dokonuje operacji na obrazach, transferuje obraz do komputera.
- Kamery stosowane w systemach wizyjnych można klasyfikować ze względu na konfigurację matrycy:
 - *kamery matrycowe – z sensorem w postaci dwuwymiarowej matrycy pixeli – najpopularniejsze, rejestrujące obraz obiektu w jednym naświetleniu matrycy;*
 - *kamery liniowe – z sensorem w postaci jednego lub kilku linii pixeli – służące do rejestracji obrazu „linia po linii”, które to linie składane są w karcie akwizycji (frame grabber-ze) w jedną klatkę obrazu. Służą one głównie do „skanowania” obiektów w ruchu, zwłaszcza jeśli w jednej chwili widoczny jest tylko mały fragment obiektu, a całego obiektu nie widać nigdy, np. wstęgi papieru, folii plastikowej, włókien itp.;*

Kamery - typ przetwornika

- CCD – fotodetektory, które podczas transferu obrazu przekazują sobie ładunki, realizowane w kilku wersjach, ze swoimi charakterystycznymi zaletami (wysoka czułość, małe szумы) i wadami (rozmarywanie obrazu, mała szybkość akwizycji obrazu);
- CMOS – fotodetektory z natychmiastowym przetwarzaniem ładunku na napięcie i transferem obrazu w postaci sygnału elektrycznego, z wynikającymi z tego zaletami (szybki transfer obrazu, brak rozmarywania obrazu) i wadami (duże szумы, mała czułość, mały „fill factor”);

Kamery - typ przetwornika

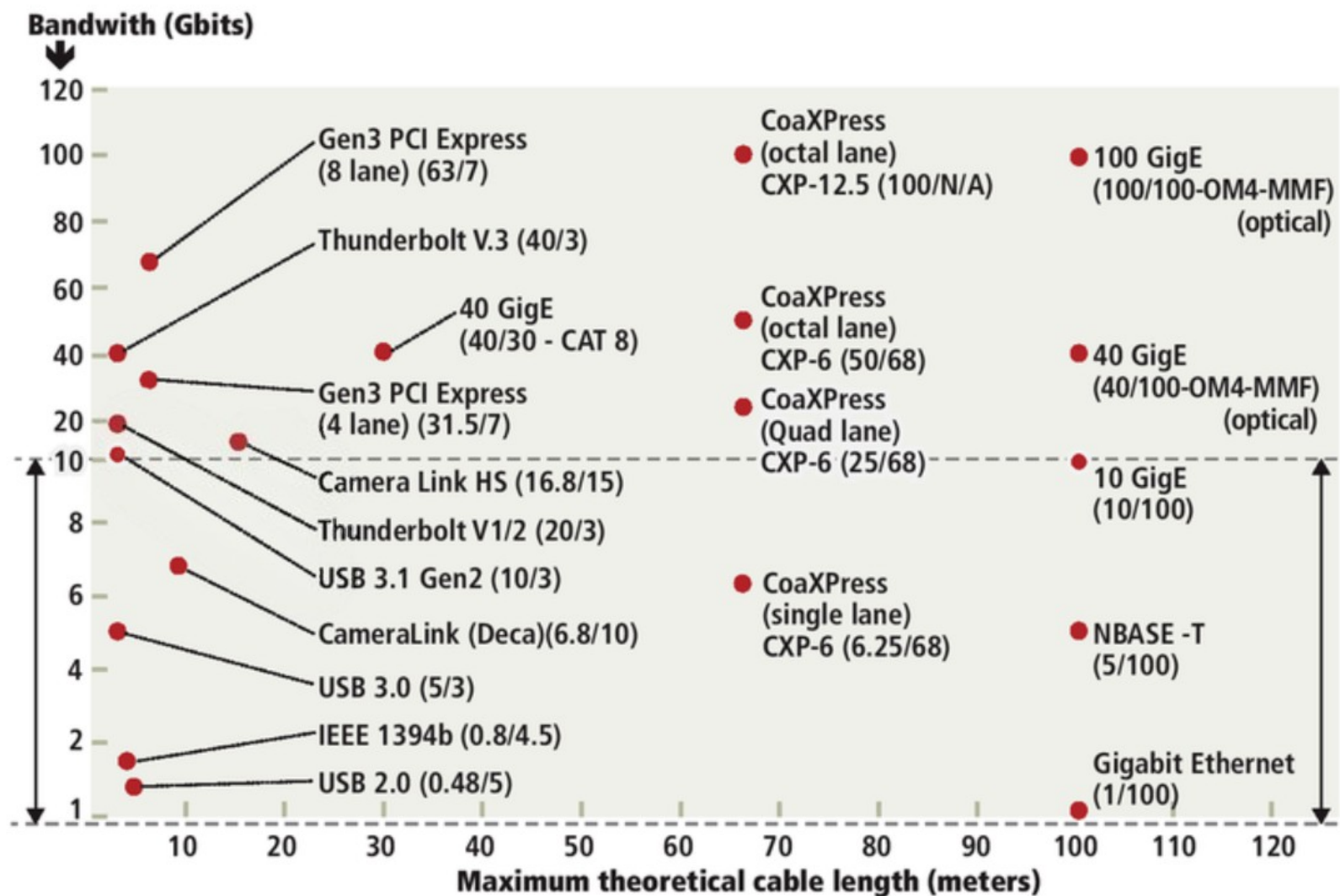
- monochromatyczne – używane w ponad 80% aplikacji wizyjnych;
- kolorowe – z jedną matrycą i z mikrofiltrami na matrycy (najczęściej filtr Bayer GRB);
- z trzema matrycami;



Kamery - interfejsy

- analogowy – najstarszy, wywodzący się z techniki telewizyjnej, najwolniejszy, ale ciągle najpopularniejszy na świecie; ok. 60 – 70% aplikacji wizyjnych ciągle bazuje na kamerach analogowych;
- CameraLink: – najszybszy, bardzo niezawodny;
- FireWire (IEEE-1394) – wygodny w użyciu, dobrze zdefiniowany standard wizyjny;
- GigE – najnowszy, bazujący na standardzie Gigabit Ethernet, najbardziej perspektywiczny, dający szansę na tanie i niezawodne rozwiązania, najlepiej zdefiniowany standard wizyjny;
- USB – sierota wśród przemysłowych interfejsów wizyjnych, popularny w laboratoriach.

Przepustowość interfejsów



Fiber-optic cable was required for data transmission due to distance limitations of traditional machine vision camera interface standards.

Oprogramowanie

- W przemysłowych systemach wizyjnych oprogramowanie można podzielić na:
 - *sterowniki interfejsów kamer;*
 - *programy do obróbki obrazów.*
- Przy zastosowaniu starszych technologii, wybierając jakąś kartę akwizycji, było się skazanym na dalsze zakupy u tego samego dostawcy.
- Z kartą akwizycji otrzymuje się zwykle sterownik (driver), który będzie współpracował tylko z oprogramowaniem do obróbki obrazu tego samego producenta.
- W nowych technologiach, FireWire, GigE, USB można zastosować kamerę jednego producenta, interfejs drugiego, driver trzeciego, a program obróbki obrazu od czwartego.
- Zamienność sprzętowa, o ile nie nastąpi zmiana specyfikacji (np. inna rozdzielczość kamery), jest realna. Wyjątkowo korzystna pod tym względem jest technologia GigE + GeniCam.

Oprogramowanie - funkcje

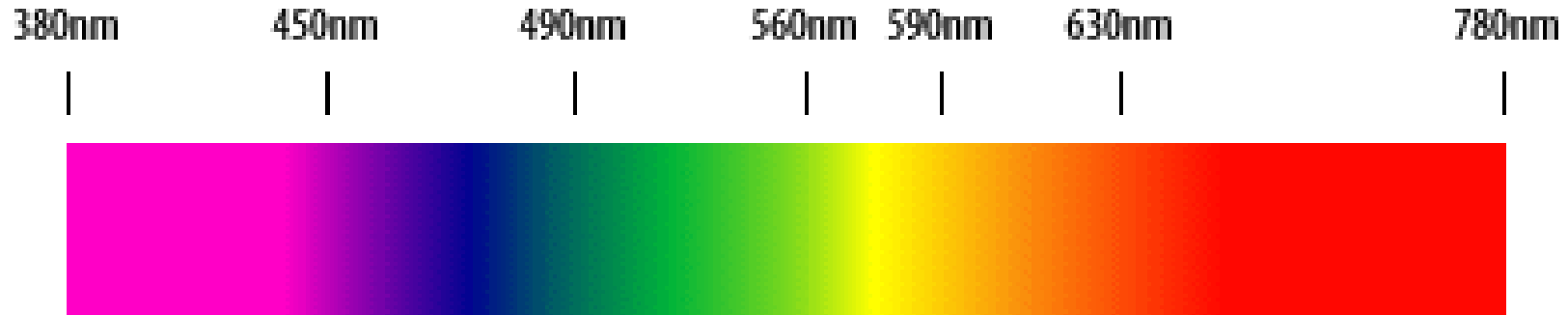
- Oprogramowanie wizyjne w ramach drivera zwykle realizuje funkcje:
 - *ustawianie parametrów kamery,*
 - *komunikację z kamerą – transfer obrazów,*
 - *może realizować pewne proste funkcje obróbki obrazu;*
- Programy do obróbki obrazów realizują:
 - *filtrowanie obrazów,*
 - *segmentację,*
 - *arytmetykę obrazów,*
 - *konwersję obrazów,*
 - *rozpoznawanie kształtów,*
 - *wykrywanie krawędzi,*
 - *wyszukiwanie obiektów,*
 - *odczyt kodów i tekstów,*
 - *analizę barwy i operacje na barwach,*
 - *i wiele innych, zwykle kilkaset różnych funkcji.*
- Programy obróbki obrazów różnych producentów zazwyczaj posiadają ten sam lub podobny zbiór funkcji obróbki obrazów.
- Program do obróbki obrazów – albo jako niezależny język programowania, albo jako biblioteka instalowana w popularnych językach programowania, służy do utworzenia aplikacji obsługującej zadanie wizyjne. Po napisaniu aplikacji jest ona kompilowana na plik *.exe, który później instalowany jest w komputerze zlecniodawcy.
- Praktycznie każdy producent kamer lub kart akwizycji ma w swojej ofercie jakiś software wizyjny, płatny lub darmowy (SDK = Software Developer Kit).

Zastosowanie przemysłowych systemów wizyjnych

- Przemysłowy system wizyjny przetwarza „to, co widzi”, czyli cechy fizyczne obiektów.
- Może więc analizować geometrię obiektów, ich położenie, stan powierzchni (barwa, chropowatość lub połysk, wady, nadruk) itp. cechy.
- Najpopularniejsze zadania realizowane przez przemysłowe systemy wizyjne to:
 - *identyfikacja obiektu (np. przez porównanie z wzorcem lub przez analizę cech)*
 - *pomiary wymiarów geometrycznych;*
 - *czytanie kodów;*
 - *kontrola tekstów (OCR, OCV);*
 - *kontrola jakości nadruku;*
 - *kontrola obecności (w tym i zliczanie obiektów) lub kontrola pozycji;*
 - *kontrola stanu powierzchni;*
 - *ocena barwy;*
 - *sortowanie wyrobów (np. owoców).*

Barwa

- Z fizycznego punktu widzenia światło jest promieniowaniem elektromagnetycznym, które wyróżnia się spośród innych rodzajów promieniowania elektromagnetycznego zdolnością wywoływania wrażeń wzrokowych.



Spektrum światła widzialnego

Barwa

- Opis fizyczny światła polega na podaniu jego składu widmowego, czyli w zależności wielkości opisującej intensywność promieniowania (strumienia energetycznego) od długości fali .
- Barwą nazywamy wrażenie psychofizyczne odczuwane za pośrednictwem zmysłu wzroku pod wpływem światła o określonym składzie widmowym.
- Potocznie barwą określamy specyficzną właściwość ciał materialnych rejestrowana podczas obserwacji, a także właściwość samego oświetlenia.

Barwy proste

- Barwę wywołaną promieniowaniem o ściśle określonej długości fali nazywamy barwą prostą (widmową, spektralną, monochromatyczną).
- Barwami prostymi są kolejne barwy tęczy:
 - fioletowa - fale o długości 380-450 nm,
 - niebieska - fale o długości 450-490 nm,
 - zielona - fale o długości 490-560 nm,
 - żółta - fale o długości 560-590 nm,
 - pomarańczowa - fale o długości 590-630 nm,
 - czerwona - fale o długości 630-780 nm.

Atrybuty barwy

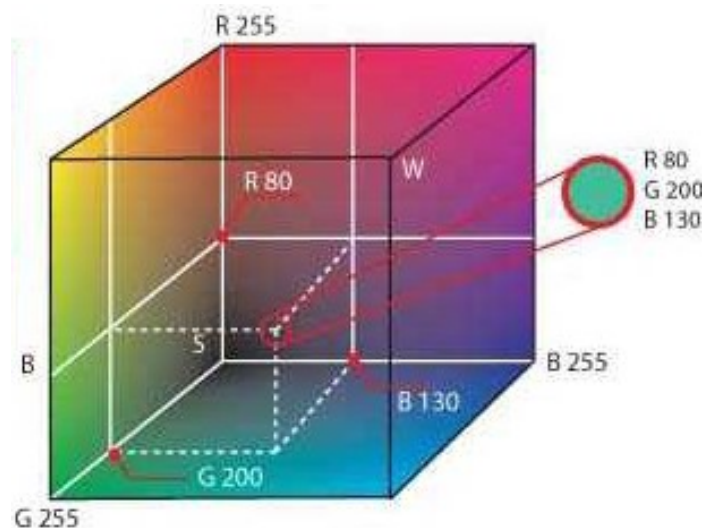
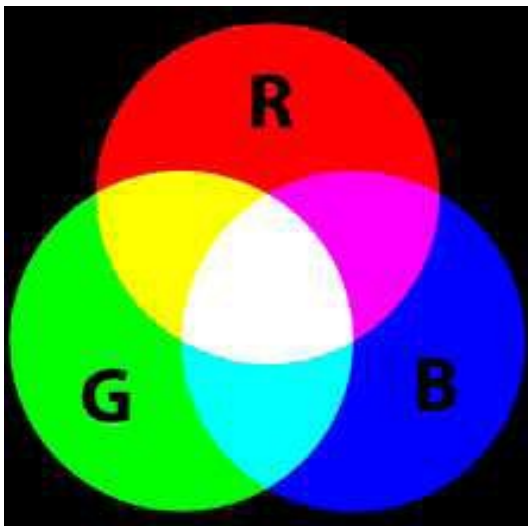
- Barwę można scharakteryzować trzema atrybutami:
 - odcień, kolor, walor - nadaje barwie jej nazwę, określa go odpowiednia długość fali elektromagnetycznej z zakresu od około 380 do 780 nm,
 - nasycenie - uzyskiwane jest poprzez zmieszanie promieniowania barwnego z wiązką światła białego; zmieniając ilość światła białego uzyskujemy wrażenie tego samego koloru ale rozjaśnionego lub przyciemnionego,
 - jasność, jaskrawość, natężenie - odpowiada wrażeniu słabszego lub mocniejszego strumienia światła które nie wpływa na zmianę koloru ani nasycenia.

Barwy złożone i mieszanie barw

- Barwa złożona jest efektem mieszania różnych barw chromatycznych.
- Wyróżnia się mieszanie addytywne, sumujące promieniowania poszczególnych barw oraz mieszanie substraktywne (odejmujące), polegające na wchłanianiu składowych barw.
- Wypadkowa addytywnego mieszania barw dąży do barwy achromatycznej - bieli. Natomiast wypadkowa substraktywnego mieszania barw prowadzi do drugiej barwy achromatycznej - czerni.

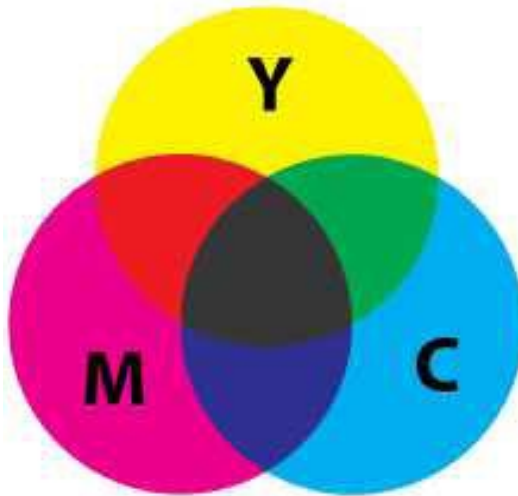
Model koloru RGB

- inne kolory tworzą się na zasadzie dodawania (model addytywny)
- liczbę możliwych kolorów określa poziom zmienności każdej ze składowych:
 - 16 bitów (5-6-5) – 65536 kolorów
 - 24 bity (8-8-8) – ok. 16,7 mln kolorów
 - 32 bity, jak wyżej, 8 bitów nieużywane lub kanał alfa
 - 48 bitów (16-16-16), zastosowania profesjonalne



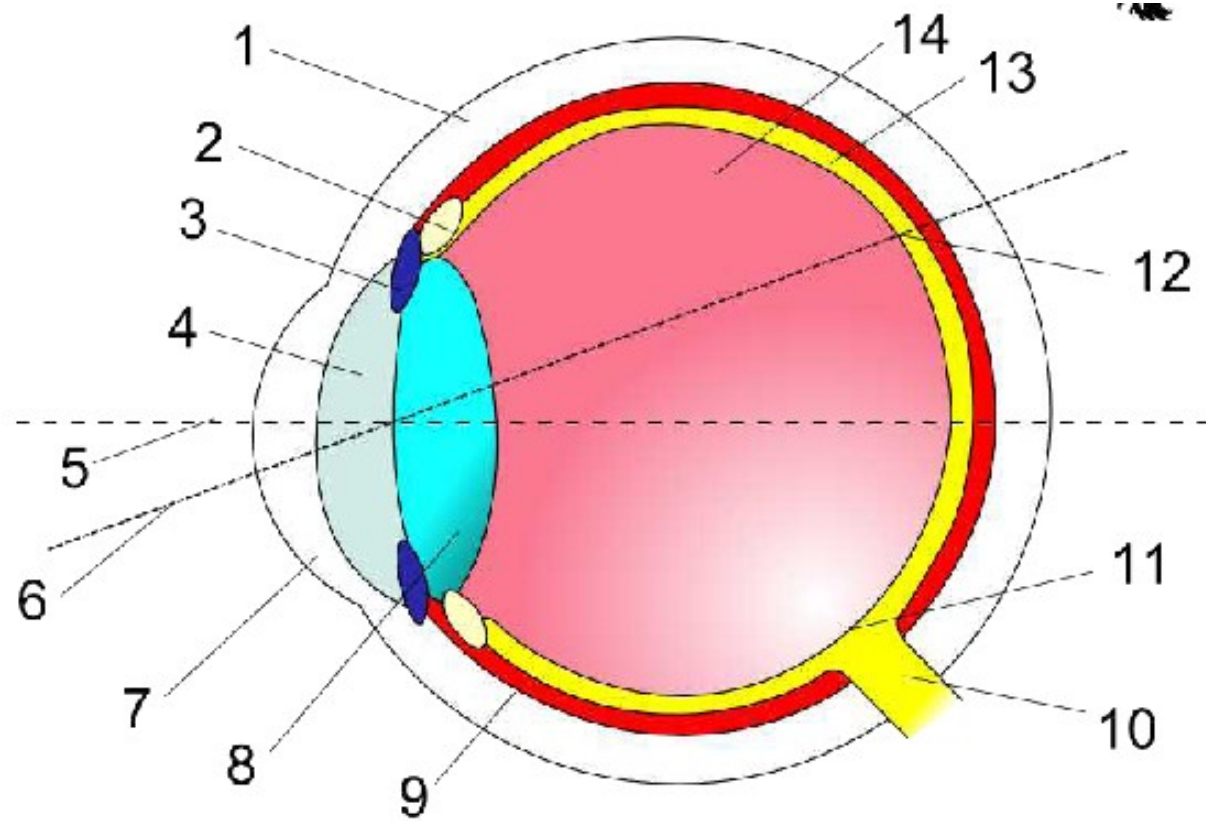
Model koloru CMY(K)

- Kolory tworzą się na zasadzie odejmowania (model substrakcyjny)
- Podstawowe są trzy kolory, czwarty kolor (czarny) dodany ze względów praktycznych
- Używany powszechnie w poligrafii



Podstawy postrzegania barw

- 1 - twardówka
- 2 - ciało rzęskowe
- 3 - tęczęwka
- 4 - ciecz wodnista
- 5 - oś optyczna
- 6 - oś widzenia
- 7 - rogówka
- 8 - soczewka
- 9 - naczyniówka
- 10 - nerw wzrokowy
- 11 - plamka ślepa
- 12 - dołek środkowy
(plamka żółta)
- 13 - siatkówka
- 14 - ciało szkliste

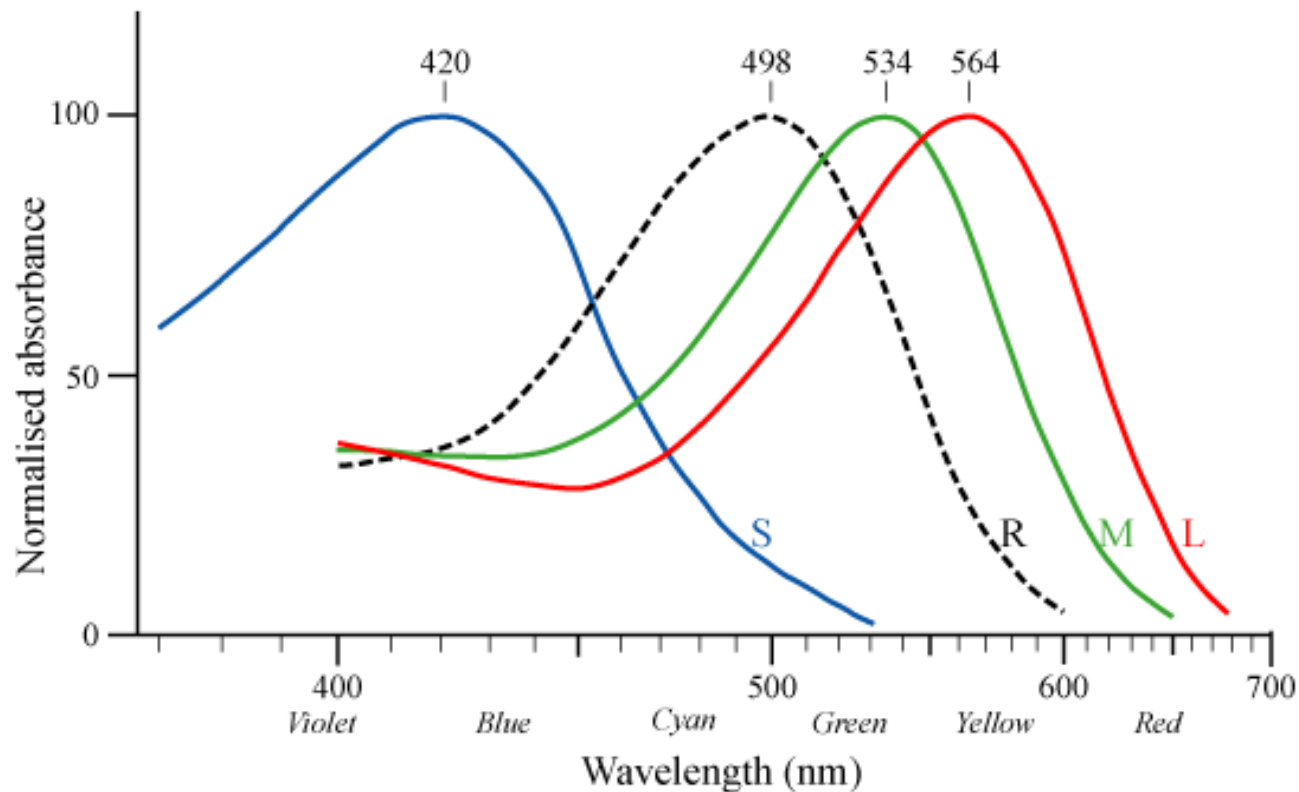


Podstawy postrzegania barw

- czopki (ang. cones) 3 rodzaje, reagujące na 3 długości fal, ok. 6 mln, skupione wokół żółtej plamki, niewielka czułość
- pręciki (ang. rods) 1 rodzaj, reakcja na 1 długość fal, ok. 100 mln, na całej siatkówce, duża czułość nawet na słabe światło
- inspiracja dla modelu RGB

Absorpcja częstotliwości

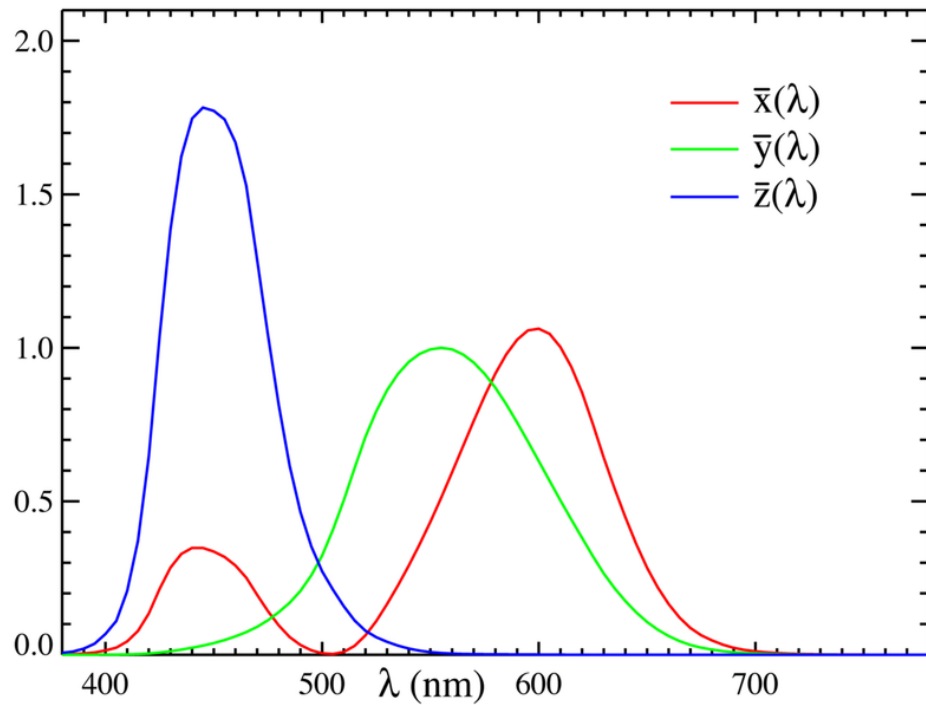
- Absorbpcja częstotliwości przez 3 rodzaje czopków (S, M, L) i pręciki



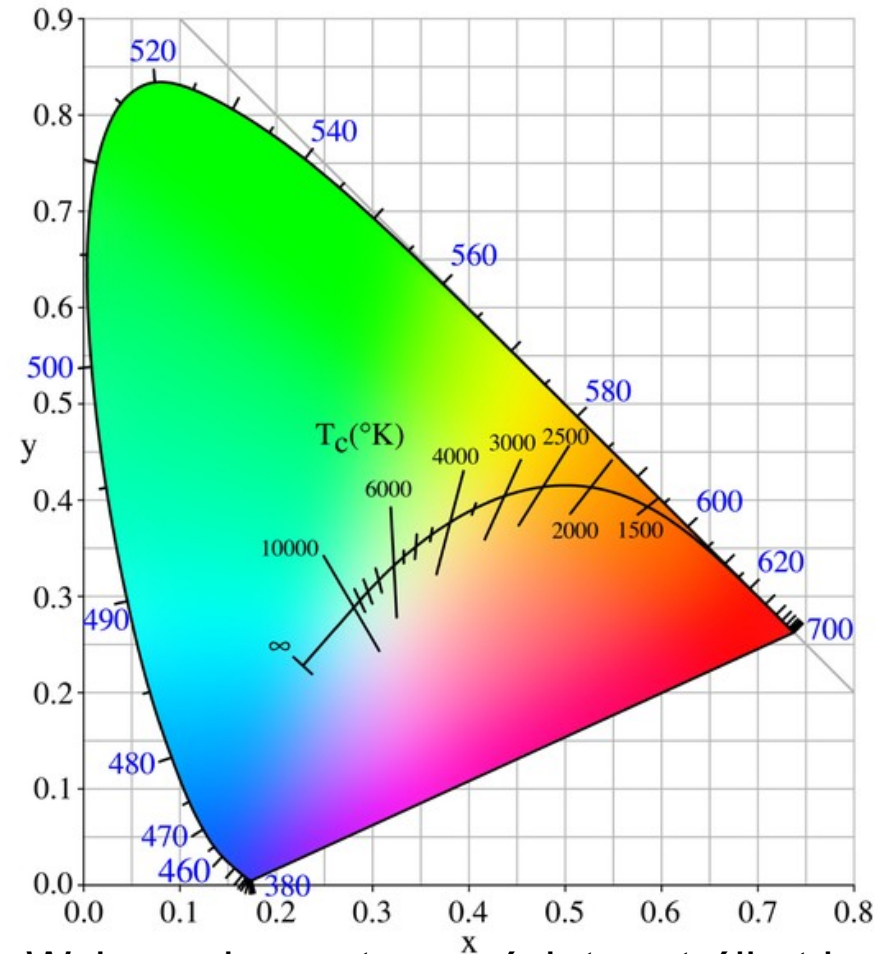
Przestrzeń Lab

- Przestrzenie bazujące na modelach RGB i CMYK opisują zdolność reprodukcji koloru przez fizyczne urządzenia - odp. monitory ekranowe i urządzenia poligraficzne w procesie CMYK, natomiast ludzka percepcja koloru lepiej modelowana jest przez system Lab.
- Standardy Lab zbudowane są na bazie tzw. trójchromatycznego modelu percepcji barw, CIE 1931 XYZ.
- CIE XYZ jest opisem trójwymiarowy, żeby umożliwić opis w dwóch wymiarach, wprowadzono przestrzeń barw CIE xyY, która przelicza składowe barw X, Y, Z na współrzędne trójchromatyczne x, y, Y, gdzie x i y określają chromatyczność a Y jasność.

Model koloru CIE XYZ 1931



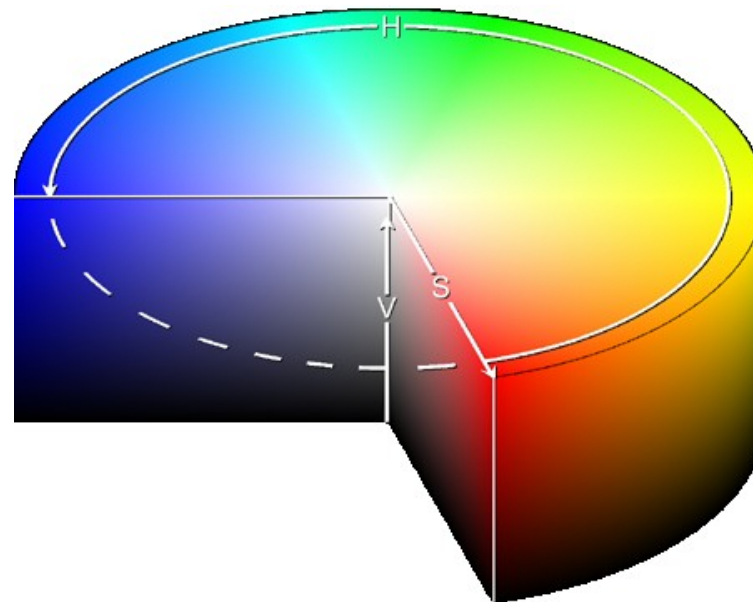
Tróchromatyczne składowe widmowe



Wykres chromatyczności, tzw. trójkąt barw

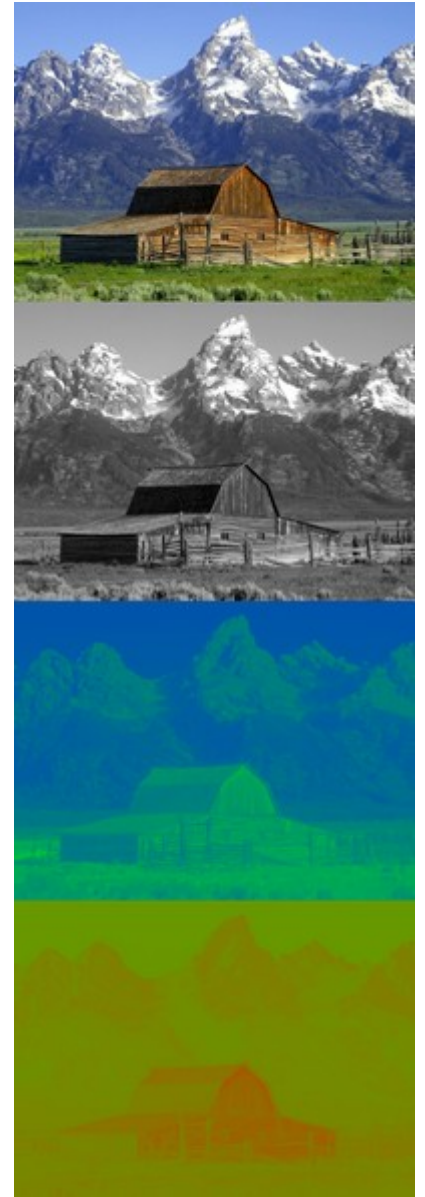
Model koloru HSV

- Hue, Saturation, Value (czasem Brightness, Lightness, Intensity) - alternatywna reprezentacja przestrzeni RGB, która lepiej oddaje relacje właściwe ludzkiej percepcji barwy, zachowując prostotę obliczeniową.
- H określa numerycznie barwę (w skali kątowej 0-360°, w odniesieniu do koła barw), S - nasycenie, natomiast V - jasność koloru (B, L, I to inne miary jasności)



Model YUV

- YUV - model barw, w którym Y odpowiada za jasność obrazu (luminancję), a pod UV zaszyta jest barwa - dwie chrominancje.
- Model YUV był wykorzystywany w czasie przechodzenia od telewizorów czarno-białych na kolorowe. Czarno-białe odbiorniki wyświetlały jedynie jasność obrazu, a kolorowe dodawały kolor, co pozwoliło posiadaczom czarno-białych nie pozbywać się odbiorników od razu.
- Y - luminacja (dla obrazu czarno-białego) U - przeskalowana składowa B V - przeskalowana składowa R
- $Y = 0.299 * R + 0.587 * G + 0.114 * B$
- $U = B - Y$
- $V = R - Y$



Temperatura barwowa

- Temperatura barwowa jest parametrem stosowany do opisu rozkładu natężenia promieniowania świetlnego emitowanego przez dane ciało.
- Temperatura barwowa odpowiada takiej temperaturze ciała doskonale czarnego, w jakiej stosunek nateżeń promieniowania dla dwóch wybranych długości fali światła (typowo: 655 nm i 450 nm) równy jest analogicznemu stosunkowi w widmie badanego ciała.
- Ciało doskonale czarne jest pojęciem teoretycznym oznaczającym ciało, które niezależnie od temperatury całkowicie pochłania padające nań promieniowanie posiadające dowolny skład widmowy (współczynnik absorpcji równy jedności).

Temperatura barwowa

- Skala temperatury barwowej jest przydatna do charakteryzowania achromatycznych źródeł światła (umownie białych).
- Temperaturę barwową określa się w Kelwinach. Standardowe światło białe ma temperaturę barwowa 6774K.



Przykładowe temperatury barwowe

- bezchmurne niebo latem 10.000K - 20.000K,
- bezchmurne niebo zima 8.000K - 10.000K,
- wschód słońca latem 4.600K - 4.880K,
- zachód słońca zima 2.600K - 2.800K,
- niebo zachmurzone 6.800K - 7.000K,
- mgła 7.500K - 8.500K,
- elektronowa lampa błyskowa 5.400K - 6.000K,
- żarówka halogenowa 1.000K - 3.200K,
- lampa naftowa 1.900K,
- świeca parafinowa 1.800K.

Reprezentacja koloru

- Każdy z elementów dyskretnej reprezentacji obrazu może przyjmować tylko jeden z pośród ograniczonej ilości stanów.
- Ilość ta popularnie zwana ilością kolorów, może być także w komputerowej reprezentacji obrazu interpretowana jako ilość bitów przeznaczonych na zapamiętanie stanu jednego elementu (bpp – bits per pixel).
- Najpopularniejsze formaty
 - binarny – 1 bpp – 2 kolory
 - monochromatyczny – 8 bpp – 256 stopni szarości
 - kolorowy – 24 lub 32 bpp – ok. 17 milionów odcieni kolorów

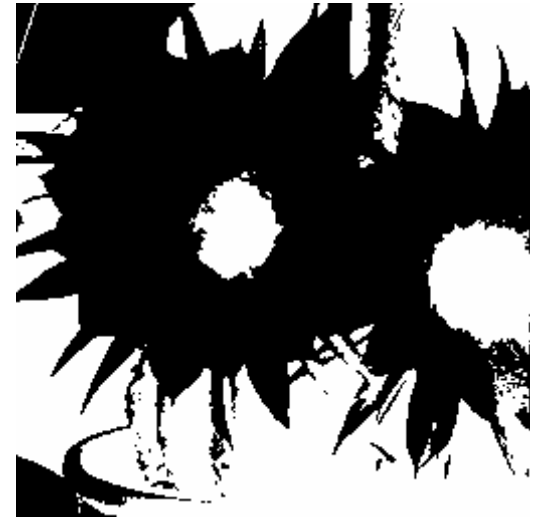
Typy obrazów



kolorowy



monochromatyczny



binarny

Obrazy indeksowane

- Nie zawsze wszystkie kolory są potrzebne
- Ze względu na objętość obrazu używa się palety – tablicy kolorów użytych w obrazie, ponumerowanych i w pełnej formie
- Obraz zawiera wtedy ich indeksy w paletcie
- Palety można wymieniać bez ingerencji w sam obraz

obraz cyfrowy indeksowany

```
1  1  2  3  4  4
1  2  2  3  4  4
1  1  1  1  3  4
1  1  1  2  3  4
```

paleta kolorów

Indeks	R	G	B
1	245	23	12
2	12	33	122
3	123	123	123
4	0	0	255

Przetwarzanie obrazów

- Przetwarzanie obrazów jest to proces składający się z następujących operacji:
 - Pozyskanie (akwizycja) obrazu i przetworzenie do postaci cyfrowej;
 - Wstępne przetworzenie obrazu, jego filtracja i wyostanie, a także jego binaryzacja;
 - Segmentacja obrazu i wydzielenie poszczególnych obiektów oraz ich fragmentów (np. krawędzi i innych linii);
 - Analiza obrazu i wyznaczenie cech obiektów oraz informacji o ich lokalizacji;
 - Rozpoznanie i rozumienie obrazu (identyfikacja klasy).

Podział algorytmów przetwarzania obrazów

- Przekształcenia geometryczne
- Przekształcenia punktowe (bezkontekstowe)
- Przekształcenia kontekstowe (filtry konwolucyjne, logiczne, medianowe)
- Przekształcenia widmowe
- Przekształcenia morfologiczne

Przekształcenia geometryczne

- Na przekształcenia geometryczne składają się:
 - przesunięcia,
 - obroty,
 - odbicia,
 - inne transformacje geometrii obrazu.
- Przekształcenia te wykorzystywane są do korekcji błędów wnoszonych przez system wprowadzający oraz do operacji pomocniczych



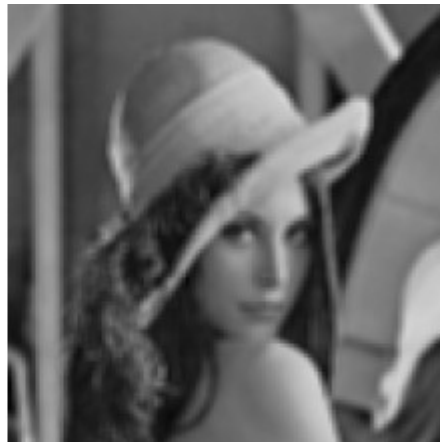
Przekształcenia punktowe

- Przekształcenia punktowe polegają na modyfikacji poszczególnych elementów obrazu niezależnie od stanu elementów sąsiadujących.
- Podstawowe operacje to: utworzenie negatywu, rozjaśnienie lub zaciemnienie obrazu.



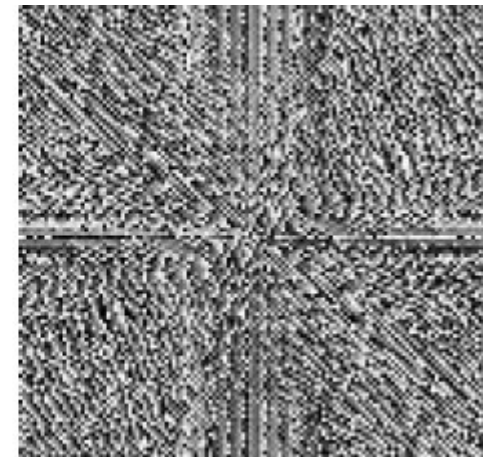
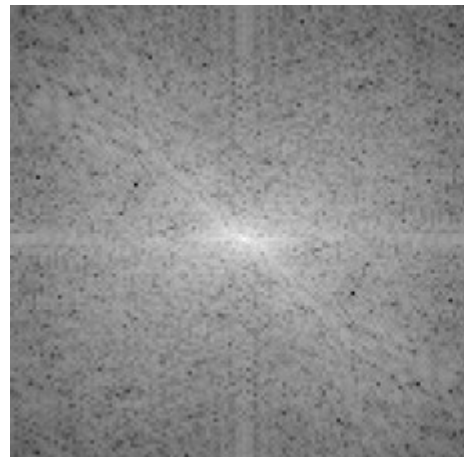
Przekształcenia kontekstowe

- Przekształcenia przy pomocy filtrów polegają na modyfikacji poszczególnych elementów obrazu w zależności od stanu ich samych i ich otoczenia.
- Wymagają stosunkowo dużej ilości obliczeń, lecz obliczenia realizowane są przez stosunkowo proste algorytmy.
- Obliczenia realizowane są niezależnie dla każdego punktu, dlatego możliwe jest zrównoleglenie obliczeń



Przekształcenia widmowe

- Przekształcenia widmowe polegają na wyznaczeniu dwuwymiarowego widma obrazu z użyciem transformacji Fouriera.
- Modyfikacji tego widma, np. usunięcie składowych w wyższych częstotliwościach
- Rekonstrukcji obrazu z wykorzystaniem odwrotnej transformacji Fouriera.
- Duża złożoność obliczeniowa tego typu przekształceń

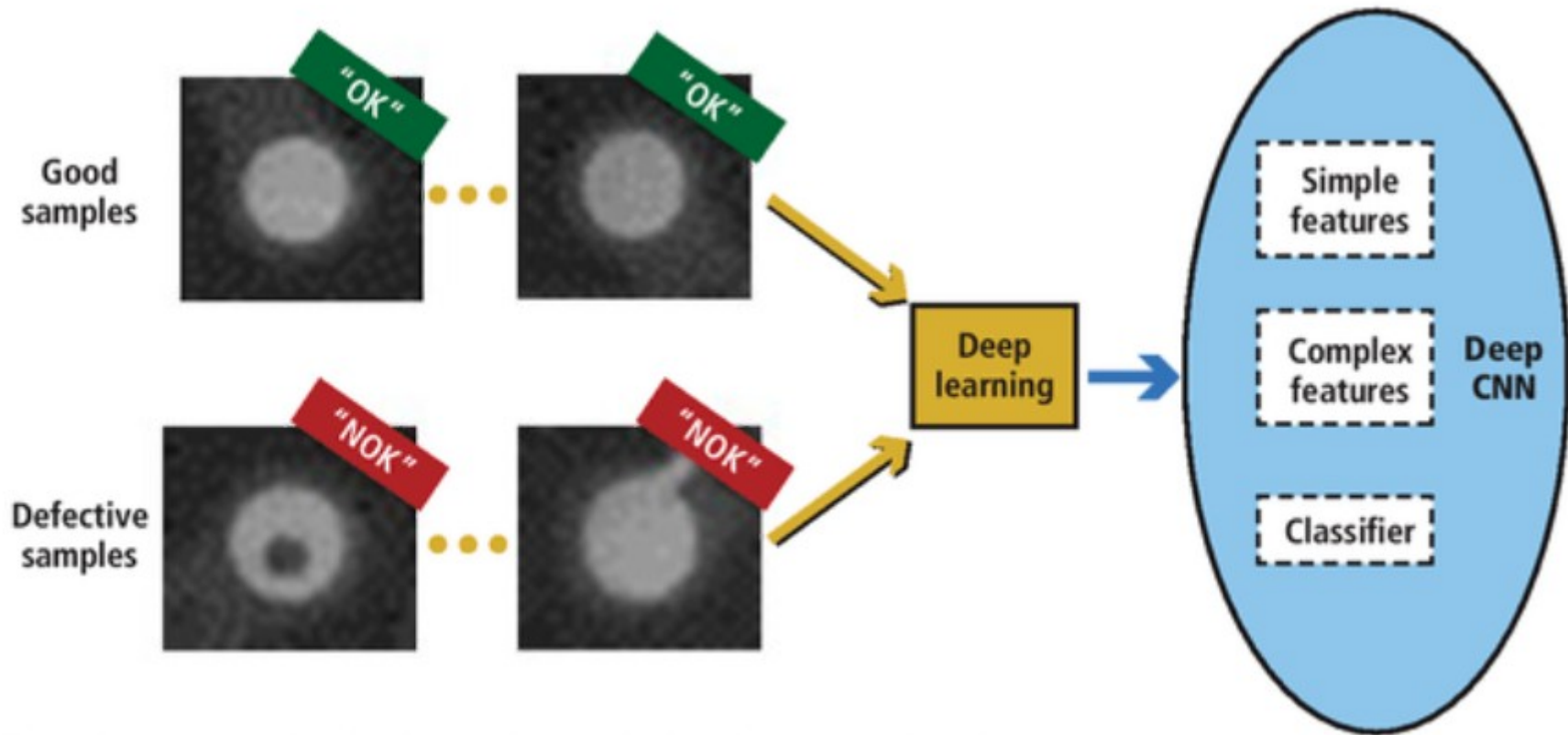


Przekształcenia morfologiczne

- Przekształcenia morfologiczne różnią się od filtrów tym, że dany element obrazu jest modyfikowany, gdy spełniony jest zadany warunek logiczny.
- Umożliwiają złożone operacje związane z analizą kształtu elementów obrazu, ich wzajemnego położenia.
- Duża złożoność obliczeniowa.



Deep learning – uczenie sieci



Deep learning technologies and convolutional neural networks (CNNs) can learn and distinguish between defects.

Deep learning - rozpoznawanie

