

informatyka+

Algorytmika i programowanie

Bazy danych

Multimedia, grafika i technologie internetowe

Sieci komputerowe

Tendencje w rozwoju informatyki i jej zastosowań

informatyka+

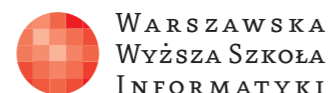
Wszechnica Poranna: Multimedia, grafika i technologie internetowe

Techniki rejestracji,
obróbki i wizualizacji
obrazów ruchomych

Andrzej Majkowski

Człowiek – najlepsza inwestycja

Człowiek – najlepsza inwestycja



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

Techniki rejestracji, obróbki i wizualizacji obrazów ruchomych

The logo consists of a lowercase 'i' followed by a plus sign '+', both in white, set against a gray square background.

i+



Rodzaj zajęć: Wszechnica Poranna

Tytuł: Techniki rejestracji, obróbki i wizualizacji obrazów ruchomych

Autor: dr inż. Andrzej Majkowski

Redaktor merytoryczny: prof. dr hab. Maciej M Sysło

Zeszyt dydaktyczny opracowany w ramach projektu edukacyjnego **Informatyka+** – ponadregionalny program rozwijania kompetencji uczniów szkół ponadgimnazjalnych w zakresie technologii informacyjno-komunikacyjnych (ICT).

www.informatykaplus.edu.pl

kontakt@informatykaplus.edu.pl

Wydawca: Warszawska Wyższa Szkoła Informatyki

ul. Lewartowskiego 17, 00-169 Warszawa

www.wysi.edu.pl

rektorat@wysi.edu.pl

Projekt graficzny: FRYCZ I WICHA

Warszawa 2009

Copyright © Warszawska Wyższa Szkoła Informatyki 2009

Publikacja nie jest przeznaczona do sprzedaży.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



WARSZAWSKA
WYŻSZA SZKOŁA
INFORMATYKI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

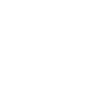
Techniki rejestracji, obróbki i wizualizacji obrazów ruchomych



Andrzej Majkowski

Politechnika Warszawska

amajk@ee.pw.edu.pl



Streszczenie

Obrazy ruchome odgrywają bardzo dużą rolę w przekazach medialnych. Filmy wykorzystywane są w wielu dziedzinach nauki i rozrywki. W trakcie wykładu poznamy, w jaki sposób obrazy, które obserwujemy, są przetwarzane do postaci cyfrowej. Używa się do tego celu urządzeń zwanych analizatorami obrazów. Analizatory obrazów wykonane w technologii CCD lub CMOS są szeroko stosowane w cyfrowych aparatach fotograficznych i kamerach cyfrowych. W dalszej części wykładu poznamy metody komputerowej edycji obrazu ruchomego. Opisane zostaną techniki wykorzystywane w procesie tworzenia własnego filmu wideo. Poznamy również standardy kodowania sekwencji wideo MPEG1 i MPEG2 stosowane do kodowania materiałów filmowych zapisywanych na płytach CD i DVD.

Warsztaty mają na celu zapoznanie słuchaczy z technikami przygotowywania własnego materiału filmowego. Pierwszą czynnością, od której rozpoczyna się każdy montaż filmu, jest przeniesienie zapisanego materiału wideo z kasyety na twardy dysk komputera. Edycja sekwencji wizyjnej jest bez wątpienia najważniejszym procesem każdego montażu materiału wideo. To właśnie dzięki niej mamy możliwość uporządkowania często chaotycznie zarejestrowanych ujęć. Wykorzystując możliwości montażu nieliniowego, możemy znacznie uatrakcyjnić i ożywić niezbyt ciekawe nagrania. Podstawowymi zabiegami edycyjnymi są precyzyjne docinanie, kopiowanie i układanie poszczególnych ujęć w żądanej kolejności. DVD authoring to tworzenie interfejsów płyt DVD, których zawartość można wyświetlać w komputerze osobistym lub odbiorniku telewizyjnym. Opracowany w trakcie edycji interfejs jest narzędziem do sterowania zawartością płyty. W trakcie trwania warsztatów słuchacze będą mogli stworzyć własny film.



Spis treści

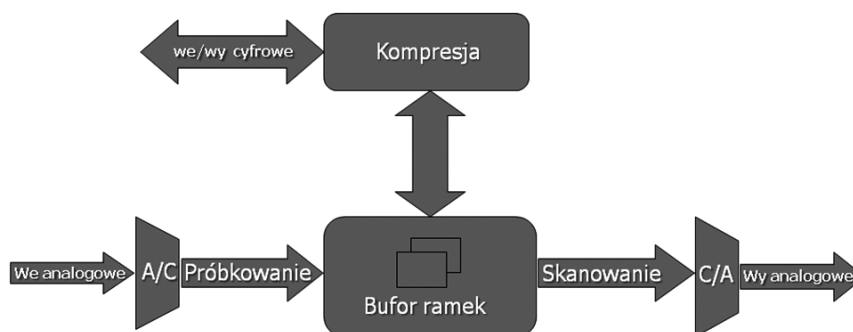
1. Wprowadzenie	5
2. Analizatory obrazów	6
3. Komputerowa edycja obrazu	11
4. Standardy kodowania sekwencji wideo MPEG	13
4.1. Przebieg kodowania w standardach MPEG-1 i MPEG-2	16
4.2. Różnice między standardami MPEG-1 i MPEG-2	18
Literatura	23

1 WPROWADZENIE

Cyfrowa obróbka obrazu jest nieodłączną cechą współczesnych systemów multimedialnych. Zanim obraz zostanie poddany cyfrowej obróbce, musi być przekształcony na postać elektryczną (sygnał wizyjny) w przetworniku analizującym (analizator obrazów), a następnie poddany dyskretyzacji i kwantyzacji. Operacje przetwarzania sygnału wizyjnego w przykładowym układzie pozyskiwania obrazu można pogrupować w następujący sposób (rys. 1):

Przetwarzanie analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe: Przetwarzanie A/C jest początkowym etapem pozyskiwania obrazu. Przejście z dziedziny analogowej do cyfrowej (i odwrotnie) dokonywane jest przy pomocy wizyjnych przetworników A/C (C/A). Analogowy sygnał wizyjny jest próbkowany w dziedzinie czasu z określoną częstotliwością.

Próbkowanie: Jest to właściwy proces dyskretyzacji obrazu, dokonywany poprzez dwuwymiarowe pobieranie zakodowanych wartości pikseli, niezależny od wcześniejszego próbkowania analogowego sygnału wizyjnego w przetworniku A/C. W zależności od późniejszego wykorzystania strumienia cyfrowej informacji o obrazie (produkcja, transmisja, zapis) stosuje się różne schematy próbkowania cyfrowych strumieni. Pobrane próbki są przechowywane w buforze zawierającym zwykle informacje obrazową z kilku ramek (obrazów). Umieszczenie wartości pikseli w buforze kończy proces pozyskiwania obrazu. Tak zgromadzona informacja stanowi materiał źródłowy dla operacji cyfrowego przetwarzania obrazu.



Rysunek 1.
Proces cyfrowego przetwarzania obrazów

Kompresja obrazu: Polega na zmniejszeniu ilości informacji o obrazie w celu zapisu na nośniku o ograniczonej pojemności lub transmisji w kanale o określonej szerokości pasma. Kompresja może być bezstratna (zdekodowany materiał jest identyczny z oryginałem), bądź stratna.

Skanowanie: Odczyt zawartości bufora w trybie kolejnoliniowym (bez przeplotu) (rys. 2) lub międzyliniowym (z przeplotem) (rys. 3). Stosowanie przeplotu jest charakterystyczne dla techniki telewizyjnej. Coraz częściej we współczesnych zastosowaniach wideo stosuje się jednak skanowanie progresywne, czyli tryb bez przeplotu.



Rysunek 2.
Odczyt zawartości bufora w trybie kolejnoliniowym (skanowanie progresywne)



Rysunek 3.
Odczyt zawartości bufora w trybie międzyliniowym (skanowanie międzyliniowe)

Opisany wyżej proces cyfrowego przetwarzania obrazu jest realizowany np. w kamerze cyfrowej. Podczas kręcenia filmu kamerą, najpierw przetwornik (np. matryca CCD) próbkuje światło docierające przez obiektyw i przetwarza je na sygnały elektryczne. Sygnały te są następnie wzmacniane i przesyłane do przetwornika analogowo-cyfrowego (A/C), który nadaje im postać cyfr. Na końcu zaimplementowany w kamerze komputer przetwarza zgromadzone w ten sposób dane cyfrowe, które potem są zapisywane w pamięci jako nowy obraz.

2 ANALIZATORY OBRAZÓW

Przetworniki obrazów świetlnych można podzielić na:

- **analizatory obrazów**, które wykonują złożony proces zamiany przebiegu wejściowego (czyli np. tego co widzi obiektyw kamery) na elektryczny sygnał wyjściowy, będący prostą funkcją tylko jednego parametru – czasu,
- **wyświetlacze obrazów** (np. monitory, telewizory), które wytwarzają niejako „produkt końcowy” całego procesu przetwarzania obrazów, podlegający fizycznej weryfikacji przez obserwatora, który tylko na tej podstawie może ocenić jakość tego procesu.

W dalszej części zajmiemy się analizatorami obrazów, które stanowią pierwszy element toru cyfrowego pozyskiwania obrazu.

Analizator obrazów świetlnych realizuje konwersję obrazów świetlnych na odpowiadający im sygnał elektryczny. Przetwornikiem dokonującym takiej konwersji może być fotokomórka, bądź fototranzystor. Analizatory obrazów wyróżnia jednoczesne zachodzenie w nich, dla każdego elementu analizowanego obrazu, trzech procesów: **przetwarzania optoelektrycznego**, polegającego na proporcjonalnej do natężenia oświetlenia modyfikacji elektrycznych właściwości ciała stałego, **akumulacji** wytworzonej informacji elektrycznej w miejscu jej powstania, do czasu jej odczytu oraz **adresowania**, czyli odczytania wytworzonej informacji elektrycznej i opatrzenia jej adresem, umożliwiającym określenie miejsca padania odpowiadającego tej informacji strumienia świetlnego.

Przetwarzanie optoelektryczne jest oparte na **efekcie fotoelektrycznym**. Efekt fotoelektryczny polega na uwalnianiu elektronów pozostających normalnie w stanie niewzbudzonym (w tzw. paśmie podstawowym) do pasma przewodzenia, w wyniku absorpcji przez elektron fotonu. Wyróżniamy **efekt fotoelektryczny zewnętrzny**, jeżeli energia fotonu jest na tyle duża, że elektron po wzbudzeniu opuści strukturę materiału oraz **efekt fotoelektryczny wewnętrzny**, jeżeli wzbudzony elektron pozostaje wewnątrz struktury materiału. W analizatorach obrazu wykorzystywany jest efekt fotoelektryczny wewnętrzny.

Materiał wykazujący zjawisko efektu fotoelektrycznego wewnętrznego, zwany dalej **materiałem światłoczułym** (fotoprzewodnikiem), jest zawsze półprzewodnikiem o dużej rezystancji. Jednostronne oświetlenie materiału światłoczułego strumieniem świetlnym, pochodzącym od analizowanego obrazu spowoduje pojawienie się wolnych ładunków w paśmie przewodzenia materiału, w ilości proporcjonalnej do natężenia oświetlenia danego miejsca płytki. Oznacza to, że po naświetleniu płytki w jej strukturze powstaje ładunkowa replika padającego obrazu świetlnego.

Pojawienie się w strukturze płytki dodatkowych nośników prądu zmienia także jej fizyczne właściwości, w szczególności powoduje spadek rezystancji skrośnej, proporcjonalny do liczby uwolnionych nośników. Po naświetleniu płytki w jej strukturze powstaje zatem druga - rezystancyjna replika padającego obrazu świetlnego. Obie wymienione elektryczne repliki analizowanego obrazu świetlnego są wykorzystywane we współczesnych analizatorach obrazu powszechnego zastosowania.

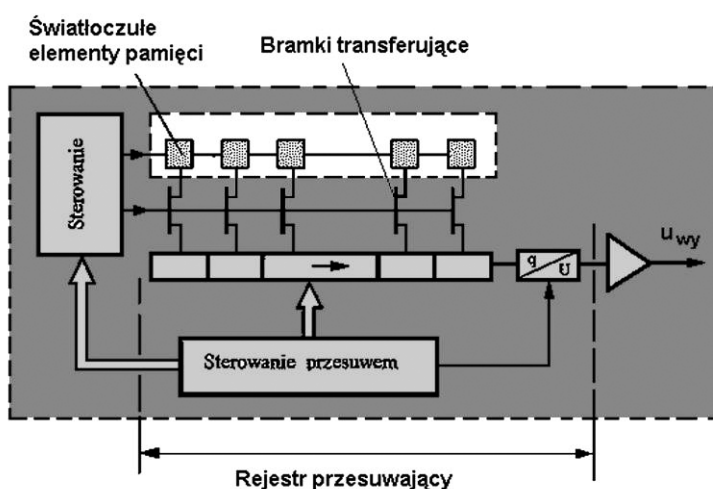
Akumulacja ładunku ma za zadanie podwyższenie czułości analizatora obrazów. Podczas analizy obrazu, tj. sekwencyjnego odczytywania wartości fotoładunku odpowiadającemu każdemu z pikseli czas „dostępny” do każdego z nich jest bardzo krótki. Wygenerowany w tym czasie fotoładunek jest za mały, aby wytworzony za jego pomocą wyjściowy prąd przetwornika miał satysfakcjonującą wartość przy normalnie stosowanych warunkach oświetlenia przetwornika. Akumulacja fotoładunków pozwala na ich gromadzenie w strukturze materiału światłoczułego piksela także pomiędzy jego odczytami, dzięki czemu liczba nośników prądu w momencie odczytu jest wielokrotnie większa. W rezultacie proporcjonalnie rośnie wyjściowy prąd sygnału analizatora, a więc w efekcie – jego czułość.

Jeżeli właściwości przewodzące materiału światłoczułego, z którego jest wykonana płytka są słabe (bliskie izolatorowi), akumulację zapewnia sam materiał światłoczuły, ponieważ duża wartość jego rezystan-



cji powierzchniowej uniemożliwia rozptyw wytworzonych w danym pikselu fotoładunków do sąsiednich pikseli. W przypadku materiałów o relatywnie niskiej rezystancji powierzchniowej, jak ma to miejsce w przypadku najpopularniejszego obecnie materiału światłoczułego, jakim obecnie jest monokrystaliczny krzem, akumulację zapewniają kondensatory.

Następnie odczytuje się zapisaną informację elektryczną. W celu określenia miejsca padania odpowiadającego tej informacji strumienia świetlnego stosuje się różne metody adresowania (określenia położenia poszczególnych pikseli). Często stosowany sposób adresowania, przedstawiony na rys. 4, wykorzystuje replikę ładunkową analizowanego obrazu. Do odczytu fotoładunków stosowane jest urządzenie elektroniczne przesuwające sekwencyjnie fotoładunki zgromadzone w światłoczułych elementach pamięci do wejścia przetwornika ładunek/prąd (q/U). Od tej charakterystycznej czynności, przetworniki wykorzystujące ten sposób adresowania noszą nazwę analizatorów obrazów z przesuwem ładunku lub inaczej: typu CTD (ang. *Charge Transfer Device*). Przesuw ładunków zachodzi w urządzeniach elektronicznych zwanych rejestrami przesuwającymi, najczęściej wykonanymi za pomocą technologii układów sprzężonych ładunkowo oznaczanej symbolem: CCD (ang. *Charge Coupled Device*) stąd określa się je także mianem analizatorów CCD.

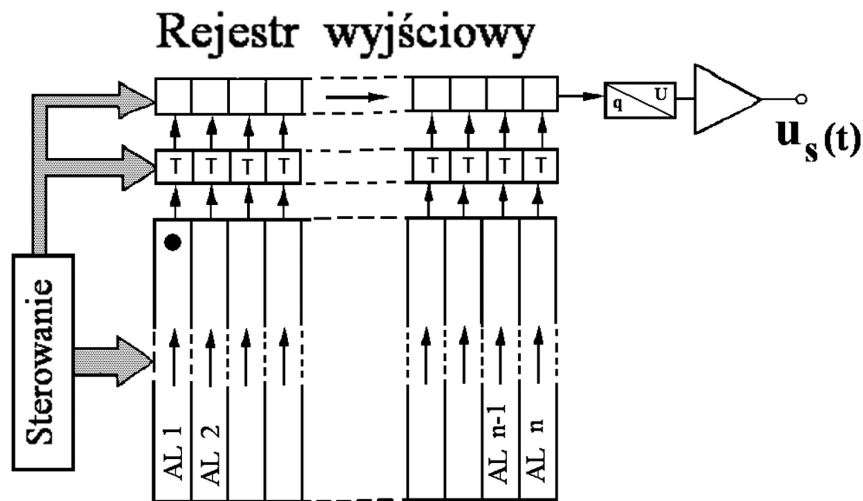


Rysunek 4.

Zasada działania rejestru przesuwającego stosowanego w przetwornikach typu CCD

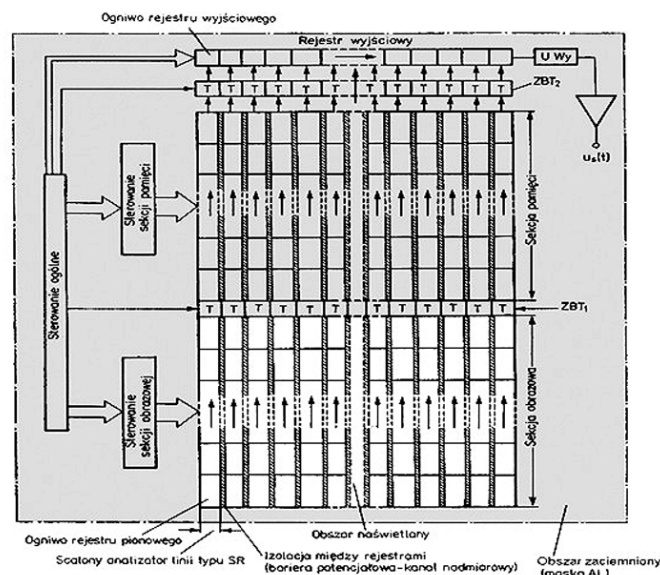
Matryca CCD została wynaleziona przez George Smith'a i Willard Boyle'a w 1969 roku. Matryca ta jest krzemowym układem scalonym, pokrytym siatką niewielkich elektrod nazywanych fotokomórkami, po jednej dla każdego piksela obrazu. W momencie kiedy światło dociera do fotokomórki, powoduje uwolnienie z niej pewnej liczby elektronów. Ponieważ każda komórka otoczona jest izolatorem, uwolnione elektrony pozostają w niej uwięzione. Fotokomórka gromadzi tym więcej elektronów, im więcej światła do niej dociera. Po naświetleniu matrycy CCD następuje pomiar napięcia wykonywany dla każdej komórki z osobna. W jego wyniku otrzymuje się informację o ilości elektronów zgromadzonych w danej komórce, a tym samym o ilości światła docierającego w to miejsce. Wynik pomiaru (próbkiwania) jest następnie przetwarzany w przetworniku analogowo-cyfrowym na postać cyfrową. Podczas naświetlania matrycy CCD fotoładunki są generowane i akumulowane w umieszczonych pionowo obok siebie analizatorach linii AL (rys. 5), nazywanych analizatorami kolumn. Rejestr adresujący każdego z analizatorów kolumn nie jest zakończony przetwornikiem q/U , lecz dołączony do przypisanego mu ogniwa rejestru przesuwającego CCD, zwanego rejestrem wyjściowym. Adresowanie pikseli w tej koncepcji polega na sekwencyjnym przesuwaniu zakumulowanej w analizatorach kolumn repliki fotoładunkowej do rejestru wyjściowego. Przesuw zachodzi skokowo, co linię analizy obrazu, w przedziale czasu przewidzianym na wygaszanie linii i polega na przesunięciu fotoładunków zgromadzonych w rejestrach analizatorów kolumn o jedno tylko ogniwo do przodu. Następnie ładunki w rejestrze wyjściowym są kolejno przesuwane do przetwornika q/U i odczytywane. Po odczytaniu wartości ładunków elektrycznych ze wszystkich komórek matryca CCD jest gotowa do zarejestrowania kolejnego zdjęcia. Fotokomórki są elementami wrażliwymi wyłącznie na ilość światła, które pada na ich powierzchnię, i nie rozpoznają one, na przykład, koloru.

Jednoczesne wykorzystywanie komórek pamięci do przetwarzania i adresowania jest niestety przyczyną poważnej wady opisywanego wyżej rozwiązania. Podczas przesuwu fotoladunków do transferowanych pakietów dodają się „obce” fotoladunki aktualnie wytwarzane w ogniach rejestru, przez co łączna ilość fotoladunków w transferowanych pakietach przestaje być proporcjonalna do natężenia oświetlenia piksela w ich „pozycji startowej”. Prowadzi to do istotnego zniekształcenia procesu przetwarzania, przejawiającego się m.in. zmianą jasności tła wzdłuż linii analizy (smużenie) oraz pojawianiem artefaktów („plamek”) w analizowanym obrazie, stąd nosi ono nazwę „zaplamienia”. Zaplamienie można wyeliminować jedynie przez zaciemnienie (zastąpienie) przetwornika podczas transferu ładunków, np. za pomocą przesłony mechanicznej lub ciekłokrystalicznej. Oba sposoby są jednak dość powolne i nie zawsze możliwe do zastosowania. W takich przypadkach natężenie zaplamienia można jedynie zmniejszyć minimalizując czas transferu ładunków, a więc zwiększając częstotliwość przebiegu zegarowego, co podwyższa koszt przetwornika.



Rysunek 5.
Budowa i zasada działania matrycy CCD

Wad tych jest pozbawiony analizator CCD z przesuwem półobrazu (rys. 6). Sekcja obrazowa jest naświetlana analizowanym obrazem świetlnym (obszar jasny na rysunku). Wyjścia wszystkich analizatorów kolumn są dołączone



Rysunek 6.
Analizator CCD z przesuwem półobrazu

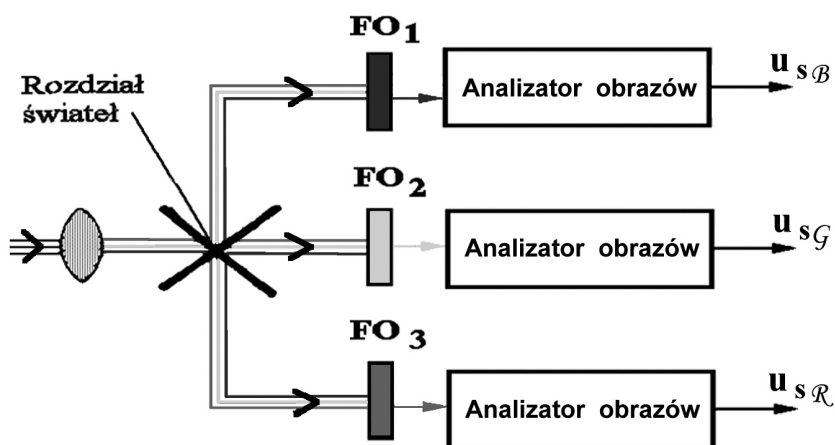
do identycznego zestawu rejestrów przesuwających CCD, umieszczonych w części zacienionej przetwornika (obszar zacieniony na rysunku), tworzących tzw. sekcję pamięci. Wyjścia rejestrów przesuwających sekcji pamięci dołączone są do odpowiadających im ogniw rejestru wyjściowego zakończonego przetwornikiem q/U. W pierwszym etapie obraz jest rejestrowany w sekcji obrazowej, następnie realizowany jest transfer ładunków do sekcji pamięciowej. Ponieważ na tym etapie nie ma konwersji q/U, transfer może być zrealizowany szybko, eliminując zaplamienie. W trzecim etapie zachodzi konwersja q/U, ale w sekcji zaciemnionej – może więc zachodzić wolno. Zastosowanie w opisywanym rozwiązaniu sekcji pamięci zminimalizowało efekt zaplamienia i pozwoliło na maksymalne wykorzystanie powierzchni światłoczułej w sekcji obrazowej, dzięki czemu analizatory CCD tego typu zapewniają obecnie najwyższą rozdzielczą spośród wszystkich rozwiązań analizatorów.

Istnieje jeszcze jedna obecnie szeroko stosowana klasa przetworników, a mianowicie **przetworniki typu CMOS APS** (ang. *Active Pixel Sensors*). Przetworniki te opracowano w drugiej połowie lat 90. XX wieku głównie w celu zmniejszenia kosztów produkcji sensorów i zmniejszenia poboru mocy. Przetworniki CMOS można łatwo zintegrować w układach scalonych. Możliwe jest nawet opracowanie kamery na jednym układzie scalonym. Takich możliwości, ze względów technologicznych, nie dają przetworniki CCD.

Matryca CMOS działa na tej samej zasadzie co matryca CCD. Światło padające na elementy światłoczułe generuje w nich ładunki elektryczne. A więc pojedynczy piksel w matrycach CCD i CMOS jest praktycznie taki sam. Dopiero „otoczenie” piksela jest w matrycy CMOS zupełnie inne. W odróżnieniu od matryc CCD, w matrycach CMOS każdy piksel ma swój przetwornik ładunku na napięcie, każdy piksel ma swój „adres” i jego zawartość może być odczytana w dowolnej kolejności. Współczynnik wypełnienia, czyli stosunek sumy powierzchni wszystkich pikseli do powierzchni całej matrycy jest mniejszy dla matryc typu CMOS. Efektem tego jest nieco mniejsza czułość matryc CMOS. Część światła wpadająca przez obiektyw pada na elementy elektroniki wbudowane w matrycę i nie jest zamieniana na ładunki elektryczne. Stąd wczesne implementacje przetworników CMOS miały niską czułość i charakteryzowały się dużymi szumami. Obecnie matryce CMOS mają prawie takie same parametry jak CCD.

Zarówno przetworniki CCD jak i CMOS nie umożliwiają w sposób bezpośredni analizy obrazów barwnych. W przypadku jednoczesnej, trójchromatycznej analizy światła wytwarzane są trzy sygnały dla barw podstawowych czerwonej, zielonej i niebieskiej o wartościach proporcjonalnych do udziału tych barw w analizowanym świetle.

Klasycznym rozwiązaniem jednoczesnej, trójchromatycznej analizy obrazów świetlnych jest zastosowanie trzech analizatorów obrazów, które dokonują analizy tego samego obrazu kierowanego do każdego z analizatorów poprzez system rozdzielenia światła (rys. 7). Taki sposób realizacji trójchromatycznej analizy obrazów świetlnych jest określany nazwą **analizy trójprzetwornikowej**.

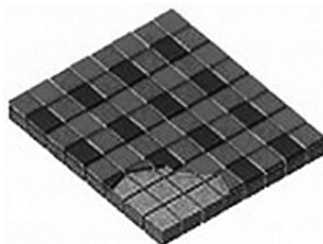


Rysunek 7.

Trójprzetwornikowa analiza obrazu barwnego

Zastosowanie trzech analizatorów obrazów do analizy obrazów świetlnych jest rozwiązaniem kosztownym. Stąd w kamerach powszechnego użytku, gdzie cena jest wyróżnikiem, stosuje się rozwiązanie uproszczone, w którym jednoczesną trójchromatyczną analizę obrazu barwnego wykonuje jeden, odpowiednio wykonany analizator obrazów. Realizacja trójdrożnej analizy światła przez jeden przetwornik jest możliwa, jeżeli powierzchnia jego materiału światłoczułego zostanie podzielona na wzajemnie rozłączne obszary, naświetlane tym samym obrazem, poprzez filtry.

Powierzchnia matrycy przykryta jest filtrem mozaikowym, który ogranicza działanie pojedynczego punktu światłoczułego na jeden z kolorów podstawowych. Z każdego punktu uzyskujemy więc dane o jasności sфотографowanego motywu ale tylko dla jednej składowej koloru. W najbardziej popularnym układzie mozaika wygląda następująco: na jeden piksel czerwony lub niebieski przypadają dwa zielone (rys. 8). Odpowiada to warunkom widzenia człowieka, który najbardziej reaguje na zmiany jasności w zielonej części widma. Znając zasadę wykonania filtra i adresowania jego powierzchni światłoczułej można łatwo przypisać aktualnie przetwarzanej informacji elektrycznej „barwę” segmentu filtra, spod którego została pobrana i skierować ją do właściwego toru sygnału obrazu barwy podstawowej. Aby uzyskać dane o kolorze danego punktu musimy skorzystać z algorytmu interpolacji (przybliżania) danych z sąsiednich pikseli. Dopiero po procesie interpolacji uzyskujemy dane o kolorze danego punktu.



Rysunek 8.

Barwny filtr mozaikowy

Istnieją różne rodzaje filtrów mozaikowych. Filtry takie nazywane są **filtrami Bayera** od nazwiska ich wynalazcy. Przetwarzany przy ich pomocy sygnał wizyjny umożliwia zatem uzyskanie „zielonego” obrazu składowego z rozdzielczością niewiele ustępującą analizie trójprzetwornikowej. Jest to istotne, ponieważ w zakresie postrzegania odcieni zieleni oko ludzkie cechuje najwyższa ostrość widzenia zabarwienia drobnych elementów obrazu. Ta cecha filtrów Bayera została okupiona silnym spadkiem zdolności rozdzielczej analizy obrazów przetwarzanych spod segmentów R (czerwonych) i B (niebieskich) filtra, które zapełniają równomiernie i po równo pozostałą jego powierzchnię. Liczba każdego z tych segmentów jest równa zaledwie maksymalnej liczby pikseli analizy, stąd zdolność rozdzielcza analizy w tych zakresach widma będzie 4-krotnie mniejsza od maksymalnej zdolności rozdzielczej przetwornika. Nie jest to jednak szczególna wada przetwornika, ponieważ zdolność oka do rozróżniania zabarwienia szczegółów w zakresie długo- i krótkofalowym (a więc „czerwieni” i „błękitów”) jest wielokrotnie niższa, stąd utrata informacji o zabarwieniu szczegółów w tych zakresach nie zostanie w ogóle dostrzeżona przez oko.

Zadanie 1. Pozyskiwanie materiału wideo.

Sprzęt potrzebny do wykonania zadania:

- kamery wideo pracujące w standardzie miniDV, kamery internetowe, telefon komórkowy z opcją nagrywania wideo,
- cyfrowy aparat fotograficzny.

Celem tego ćwiczenia jest zapoznanie słuchaczy z technikami przygotowywania materiału filmowego. Jest to jednocześnie pierwszy etap przygotowania własnego filmu.

Cyfrowy format miniDV wywodzi się z formatu DV. Podstawowa różnica to wielkość kasety, dzięki której zmniejszono rozmiar kamer. Jednak wskutek niewielkich rozmiarów nośnika skraca się długość taśmy. W trybie Standard Play można nagrać 60 minut nagrania, natomiast w trybie Long Play aż 120 minut. Ogólnie jakość obrazu i dźwięku jest bardzo wysoka. Dźwięk można zapisywać w 4 lub 2 kanałach z jakością porównywalną do płyt CD. Format miniDV zapewnia ponad 500 linii rozdzielczości poziomej. Kopiowanie odbywa się bezstratnie tzn. można przegrywać taśmę wielokrotnie bez pogorszenia jakości obrazu. Do przesyłania obrazów do komputera służy wyjście DV (kompatybilne ze złączem IEEE1394, tzw. FireWire).

Na wstępie należy się zapoznać ze sprzętem. Szczególną uwagę należy zwrócić na sposób obsługi i funkcje kamer cyfrowych. Na uwagę zasługuje system 3CCD, czyli potrójna matryca CCD, umożliwiający rejestrowanie najwyższej jakości obrazów w doskonałej rozdzielczości. Podstawą technologii zawartej w przetwornikach obrazu 3CCD jest pryzmat, który rozszczepia światło na trzy podstawowe kolory RGB (niebieski, czerwony i zielony). W ten sposób każdy z przetworników analizuje osobno odpowiednią barwę, wpływając na dokładność nagrywanego obrazu. Jest to więc analiza trójprzetwornikowa.

Na etapie przygotowania materiału filmowego gromadzimy różne media: pliki, które będą później elementami montowanego filmu: grafiki, dźwięki i klipy filmowe. Na tym etapie najpierw należy przygotować **własną koncepcję krótkiego filmu** do montażu. Film będzie montowany z różnych elementów dlatego należy przygotować: materiał filmowy nagrany różnymi kamerami, własne komentarze nagrane przy użyciu oddzielnych mikrofonów, zdjęcia wykonane aparatem cyfrowym. Wszystkie te elementy mogą być zapisywane w różnych formatach. Później będą one łączone w jeden film.

Każdy słuchacz (lub zespół) powinien na tym etapie:

- przygotować koncepcję własnego krótkiego filmu do montażu (bez użycia komputera należy zastanowić się, zapisać co się chce przedstawić);
- skompletować klipy filmowe nagrane kamerami pracującymi w standardzie miniDV, kamerami internetowymi i ewentualnie nagrane przy użyciu telefonu komórkowego z opcją rejestracji wideo;
- mieć zdjęcia, które mają być później ilustracją do filmu (np. plansze tytułowe, przerywniki);
- mieć muzykę mogącą służyć za podkład do scen w filmie.

3 KOMPUTEROWA EDYCJA OBRAZU

Cyfrowe przetwarzanie obrazów wideo przy pomocy komputera osobistego PC stanowi przykład zaawansowanej formy kształtowania informacji multimedialnych. Do pozyskania materiału wideo stosuje się specjalne karty. Początkowo były to urządzenia typu frame grabber, umożliwiające przechwyt pojedynczych ramek sekwencji wizyjnej. Wraz z rozwojem technologii układów scalonych realizujących kompresję pojawiły się karty akwizycyjne video capture umożliwiające przechwycenie ze źródła analogowego (magnetowidu, kamery lub telewizora) sygnału standardów PAL lub NTSC w pełnej rozdzielczości. Skompresowany strumień był zapisywany na szybkim (zwykle SCSI) dysku komputera. Przy pomocy odpowiednich programów można było dokonać edycji zgromadzonego materiału i przeprowadzić stosowny montaż poszczególnych scen. Po zrealizowaniu gotowego wideofilmu można było go poprzez kartę wyprowadzić do zewnętrznego magnetowidu. Taki sposób obróbki sekwencji obrazu nazywany jest montażem nieliniowym w odróżnieniu od klasycznego montażu przy pomocy dwóch magnetowidów, gdzie sceny materiału końcowego nagrywane są jedna po drugiej. Programy do montażu nieliniowego oferowały coraz większą gamę narzędzi do przetwarzania obrazów oraz towarzyszącego mu dźwięku. Szczególnie wzrastały możliwości w zakresie efektów specjalnych i dodawania dodatkowego tekstu i grafiki. Wraz ze wzrostem mocy obliczeniowej komputerów PC wykonanie nawet najbardziej złożonych trójwymiarowych operacji na obrazie o pełnej rozdzielczości stawało się relatywnie mało czasochłonne, a większość efektów mogła być realizowana w czasie rzeczywistym.

Dopiero jednak upowszechnienie się w kamerach amatorskich cyfrowego standardu DV spowodowało znaczące zmiany w konstrukcji kart i programów edycyjnych. Podstawową metodą kompresji stał się standard DV gwarantujący przy stopniu kompresji 5:1 dobrą jakość obrazu o rozdzielczości poziomej 500 linii. Karty zostały wyposażone w interfejsy IEEE 1394 umożliwiające dwukierunkową transmisję skompresowanego sygnału DV. W niektórych kartach pracujących w tym standardzie nawet nie stosuje się gniazd analogowych: podgląd montowanego materiału odbywa się na ekranie monitora komputera, a importowany i eksportowany materiał występuje tylko w postaci cyfrowej. Do przekształcania strumienia danych stosowane są specjalne urządzenia lub programy zwane **kodekami**. Kodek jest skrótem od „koder/dekoder”. Kodeki mogą zmienić strumień danych w formę zakodowaną (często w celu transmisji, składowania lub zaszyfrowania) lub odzyskać (odkodować) strumień danych z formy zakodowanej, by umożliwić ich odtwarzanie bądź obróbkę.



Przy szybkich komputerach kodek DV może być realizowany w wersji programowej. Kariera DVD jako kolejnego po kasecie DV nośnika cyfrowego, spowodowała pojawienie się kart stosujących kompresję MPEG-2. Jakość sprzętowych koderów MPEG-2 na takich kartach jest już obecnie wystarczająca dla zastosowań amatorskich lub półprofesjonalnych. Przy zastosowaniu odpowiedniego oprogramowania użytkownik może zmontowany materiał wideo nagrać na komputerowej nagrywarce DVD.

Używana w kamerach cyfrowych kompresja DV powoduje jednak pewne, nieznaczne przekłamania obrazu. Przy nagraniach „naturalnych” pozostają one w zasadzie niezauważalne, ale „sztuczne” obrazy, takie jak grafika komputerowa, ostre, kontrastowe kształty, jaskrawe kolory, uwidaczniają wyraźnie wady i zniekształcenia. Warto zauważyć, że pasmo sygnału nieskompresowanego: 720x576x25 daje ok. 20MB/s nagrania (kolor zapisany 16 bitowo), co jest w większości przypadków nie do przyjęcia. Kompresja DV ma ustalony na stałe współczynnik 5:1, więc redukuje pasmo do 3,7MB/sek. na obraz, do czego dochodzi 2x16x48000=1,5MB/sek. na dźwięk, dając nam łącznie ok. 5MB/sek., czyli znacznie redukuje ilość danych.

W przypadku kart analogowych proces przechwytywania materiału wideo często nazywany jest **digitalizacją**. W trakcie przeprowadzania tego procesu analogowy materiał wideo zostaje poddany złożonemu procesowi, podczas którego zamieniany jest z postaci analogowej na cyfrową. Istotnym czynnikiem decydującym o jakości digitalizowanego materiału wideo jest rodzaj algorytmu oraz stopień kompresji, im wyższy, tym jakość obrazu jest gorsza. Najczęściej stosowanymi algorytmami kompresji w kartach analogowych są Motion JPEG, MPEG-2. Większość kart analogowych podczas przechwytywania umożliwia regulację podstawowych parametrów obrazu i dźwięku: jasności, kontrastu, nasycenia kolorów, ostrości oraz poziomu głośności dźwięku.

W przypadku kart cyfrowych podczas przechwytywania następuje jedynie cyfrowe kopiowanie skompresowanego materiału wideo z kasyety na dysk. Warto dodać, że kamera cyfrowa już w trakcie filmowania, aby zmniejszyć strumień danych, kompresuje obraz w stopniu 5:1 (kompresja DV). Niezaprzeczną zaletą formatu DV jest zachowanie niezmiennie wysokiej jakości, począwszy od rejestracji, poprzez przechwytywanie, edycję, aż po końcowy zapis. Dla porównania – każde analogowe przechwytywanie, edycja, zapis i kopiowanie stale obniżają jakość.

Zadanie 2. Zgrywanie sekwencji wizyjnej

Sprzęt potrzebny do wykonania zadania:

- komputer,
- kamery wideo pracujące w standardzie miniDV, kamery internetowe, telefon komórkowy z opcją nagrywania wideo,
- cyfrowy aparat fotograficzny,
- oprogramowanie do montażu nieliniowego Pinnacle Studio 9.

Pierwszą czynnością, od której rozpoczyna się każdy montaż nieliniowy, jest przeniesienie zapisanego materiału wideo z kasyety na twardy dysk komputera określane potocznie **przechwytywaniem**. Celem tego ćwiczenia jest zapoznanie słuchaczy z metodami zgrywania sekwencji wizyjnej na dysk komputera.

Pakiet Pinnacle Studio 9 umożliwia zgrywanie materiału filmowego zarówno bezpośrednio z cyfrowej kamery DV jak i ze źródła analogowego za pomocą analogowej karty przechwytyującej. Ponieważ dysponujemy nagraniami cyfrowymi będziemy korzystać z pierwszej opcji. Zazwyczaj istnieje możliwość zapisania materiału w postaci pliku AVI (format DV) jak i zgranie materiału bezpośrednio do formatu MPEG lub WMV. W naszym przypadku zgrywamy materiał do pliku .avi z kompresją DV. Zwykle do zgrywania materiału lepiej jest wykorzystywać magistralę FireWire niż USB. FireWire jest powszechnie używany do łączenia kamer wideo i urządzeń pamięci masowej. Stosuje się go zamiast popularniejszego USB z powodu większej szybkości transmisji (prędkość nie zależy od wielkości plików jak przy USB). Nie ma również konieczności wysyłania sygnałów potwierdzających aktywność urządzenia po drugiej stronie, co czyni USB nieefektywnym dla profesjonalnej obróbki wideo.

Problemem przy przechwytywaniu może być wielkość pliku z materiałem wideo zapisywanym na dysku. Chociaż w przypadku Windows XP lub Vista dla dysków sformatowanych w formacie NTFS bariera wielkości pliku wynosi 12 TB (czyli można uznać, że w praktyce nie istnieje), to pakiety programowe,



jak Pinnacle Studio 9, nie zawsze dobrze radzą sobie z bardzo dużymi plikami. Dużo zależy też od konfiguracji komputera. Dlatego wygodnie jest na etapie przechwytywania podzielić plik wideo na mniejsze części. Takie pliki jest dużo łatwiej przetwarzać i przechowywać.

Wygodną metodą przeszukiwania jest tzw. skanowanie taśmy, podczas którego automatycznie zostają wyszukane wszystkie zmiany kodu czasowego powstałe na taśmie w wyniku zatrzymania procesu nagrywania (przez naciśnięcie przycisku Stop lub Pause). W rezultacie uzyskujemy gotową listę cięć, według której można automatycznie przechwycić materiał wideo podzielony na poszczególne ujęcia. Taki sposób przechwytywania umożliwia również pakiet Pinnacle Studio 9.

Na etapie zgrywania sekwencji wizyjnej słuchacze powinni:

- zapoznać się z metodami łączenia poszczególnych urządzeń (kamery, aparat fotograficzny, cyfrowy aparat fotograficzny, mikrofony i wzmacniacze mikrofonowe) z komputerem;
- zapoznać się z metodami, możliwościami, magistralami umożliwiającymi skopiowanie materiałów multimedialnych na dysk komputera (FireWire i USB);
- zapoznać się z zasadą działania i podstawowymi funkcjami programu i pakietu oprogramowania Pinnacle Studio 9;
- przygotować materiały do montażu:
 - materiały własne przechwycone z kamery przy użyciu programu Pinnacle Studio 9,
 - materiały własne przechwycone z kamery internetowej lub telefonu komórkowego,
 - zdjęcia cyfrowe,
 - gotowe przykładowe sekwencje wizyjne;
- przygotować dodatkowe materiały graficzne (np. plansze, napisy);
- jeszcze raz przemyśleć koncepcję własnego krótkiego filmu do montażu (bez użycia komputera, należy zastanowić się, co chcemy zamieścić w filmie, które materiały będą użyte, a które nie).

4 STANDARDY KODOWANIA SEKWENCJI WIDEO MPEG

Skrót MPEG pochodzi od nazwy grupy roboczej *Moving Picture Experts Group*, opracowującej standardy kompresji audio-video na potrzeby międzynarodowej organizacji normalizacyjnej ISO.

Potrzeba kompresji audio-video pojawiła się podczas prób zapisania analogowego sygnału wizji i fonii w postaci cyfrowej. Przykładowo popularny system przesyłania sygnału telewizyjnego PAL przekazuje obraz telewizyjny składający się z 25 klatek na sekundę o rozdzielczości 704 na 576 i każdy punkt jest opisany 24 bitową głębią kolorów. Próba zapisanie takiego obrazu cyfrowo powoduje że każda sekunda obrazu zajmuje około 30 megabajtów. Na początku lat 90. XX wieku opracowany został standard kompresji **MPEG-1**, który umożliwia przesyłanie obrazu audio-video z przepustowością 1,5 Mb/s przy rozdzielczości ekranu 352x240 lub 352x288. Standard ten pozwolił na stworzenie cyfrowego zapisu audio-video Video CD, którego jakość była porównywalna do standardu VHS. Niskie rozdzielczości, jakie oferuje standard MPEG-1, powodują zniekształcenia obrazu przy pełnoekranowym wyświetlaniu, przez co nie nadaje się on do przesyłania obrazów dobrej jakości, a takie wymagania stawia między innymi telewizja kablowa i satelitarna. To właśnie na potrzeby telewizji cyfrowej w połowie lat 90. XX wieku powstał standard **MPEG-2**, który umożliwia przesyłanie obrazów o znacznie większych rozdzielczościach, aż do 1920 x 1152 punktów, i przepustowości między 3 a 100 Mb/s. Opublikowanie standardu MPEG-2 stało się przełomowym wydarzeniem dla techniki telewizyjnej. Standard ten określający metodę kompresji i kodowania sygnału wizyjnego, fonii i danych dodatkowych otworzył drogę do opracowania i wdrożenia cyfrowych standardów emisji programów telewizyjnych. Jest to pierwszy cyfrowy standard opracowany pod kątem zastosowania w telewizji programowej. Wcześniejsze standardy: JPEG, MPEG-1 były przeznaczone do innych celów i znalazły tylko ograniczone zastosowanie w telewizji. Standard **MPEG-4**, opracowany w 1999 roku, przystosowany został głównie do kompresji danych strumieniowych (np. wideokonferencje), dlatego ma zaimplementowane funkcje ochronne przed błędami przesyłu. MPEG-4 oferuje najwyższy stopień kompresji z całej rodziny standardów MPEG.

We wszystkich standardach MPEG stosowana jest stratna metoda kompresji wizji, tzn. sygnał po dekompresji różni się od pierwotnego. Wykorzystuje się przy tym:



- właściwości oka ludzkiego – oko ludzkie nie jest idealnym przetwornikiem, nie jest w stanie dostrzec wszystkich detali w transmitowanych obrazach, a więc z obrazów tych można usunąć część informacji nie powodując przy tym pogorszenia subiektywnej oceny jakości obrazu;
- korelację przestrzenną (wewnątrzobrazową) – w większości obrazów występują jednolite lub nieznacznie tylko różniące się fragmenty, dzięki zastosowaniu dyskretnej transformaty kosinusowej DCT (ang. *Discrete Cosine Transform*) obszary takie mogą być efektywnie zakodowane;
- korelację czasową - kolejne obrazy w sekwencji składającej się na obraz telewizyjny z reguły niewiele od siebie się różnią, na podstawie bieżącego obrazu można z dobrym przybliżeniem wyznaczyć następny obraz w sekwencji jeśli zostaną wykryte przesuwające się obiekty i prawidłowo zostanie opisany ich ruch, metoda ta nazywana jest także metodą kompensacji ruchu;
- właściwości statystyczne sygnału – w transmitowanym sygnale pewne symbole pojawiają się częściej, a inne rzadziej, zastosowanie do ich kodowania słów o różnej długości – krótszych słów dla symboli częściej się pojawiających, dłuższych dla pozostałych pozwala na zmniejszenie przepływności binarnej sygnału.

Aby przedstawić sposób kompresji obrazów, konieczne jest zrozumienie podstawowych faktów związanych z obrazem kolorowym. Próby opisanie obrazu kolorowego doprowadziły do powstania modelu RGB, który opisuje nasycenie trzech barw (czerwonej, zielonej i niebieskiej) dla każdego punktu obrazu, w urządzeniach, które emitują światło. Odpowiednie dobranie poszczególnych parametrów umożliwia generowanie wielu barw widzianych przez ludzkie oko. Model ten ma pewne niedoskonałości (np. problem z uzyskaniem czystej bieli), ale mimo wad jest on wystarczający do reprezentowania obrazu kolorowego.

Na potrzeby przesyłania kolorowego sygnału telewizyjnego zostały opracowane modele, w których obraz jest kodowany jako jedna składowa **luminancji** (jasności) oraz dwie składowe **chrominancji** (koloru) – $Y C_R C_B$. Poszczególne składowe są obliczane na podstawie wartości dla poszczególnych kolorów RGB mnożonych przez różne współczynniki (patrz wzory niżej).

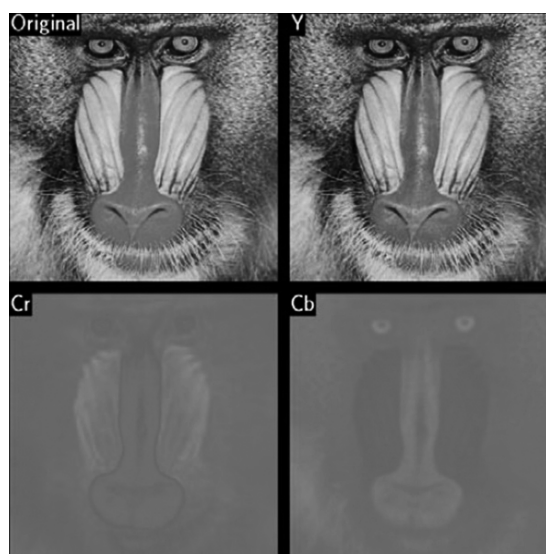
$$Y = 0.299(R - G) + G + 0.114(B - G)$$

$$C_b = 0.564(B - Y)$$

$$C_r = 0.713(R - Y)$$

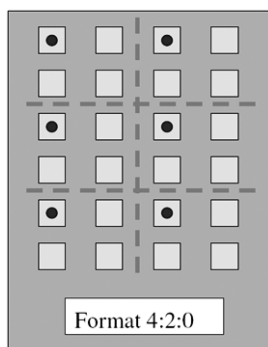
gdzie Y to luminancja, a C_b, C_r to sygnały chrominancji.

Specyfika ludzkiego wzroku, dla którego bardziej znaczące jest informacja o jasności punktu niż o kolorze, umożliwia pominięcie niektórych informacji zawartych w modelu $Y C_R C_B$, dzięki temu ograniczając ilość informacji o chrominancji można uzyskać obraz o zbliżonej jakości, ale z mniejszą liczbą informacji potrzebnych do wygenerowania tego obrazu. Obraz rozłożony na składowe chrominancji i luminancji jest przedstawiony na rys. 9.



Rysunek 9.
Składowe luminancji Y i chrominancji $C_R C_B$ obrazu kolorowego

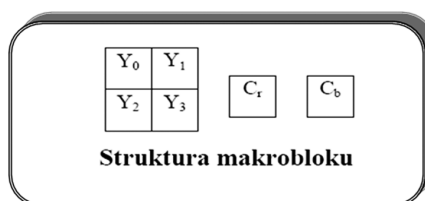
Dla standardu MPEG-1 przyjęto strukturę próbkowania obrazu 4:2:0 (na 4 próbki luminancji przypadają dwie próbki chrominancji w jednej linii, oraz 0 próbek chrominancji w kolejnej linii). Taka struktura próbkowania przedstawiona jest na rys. 10. Wartości brakujących próbek chrominancji wyznacza się poprzez interpolację (obliczenie wartości przybliżonych).



Rysunek 10.

Format próbkowania obrazu 4:2:0 stosowany w standardzie MPEG-1

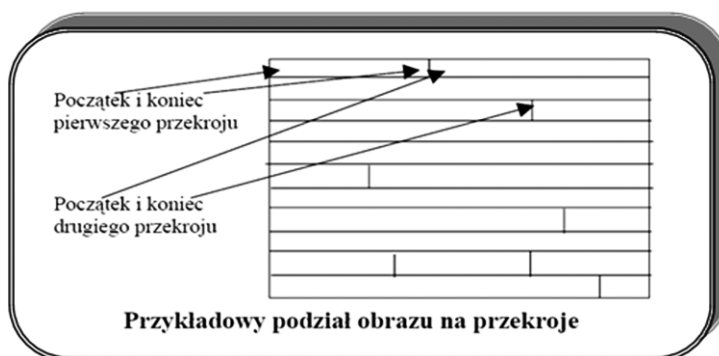
Elementarną porcję obrazu kodowaną przez koder MPEG nazywa się **makroblokiem**. Makroblok to tablica 16x16 pikseli złożona z próbek luminancji i odpowiadające im tablice chrominancji C_R i C_B o rozmiarze 8x8 pikseli (rys. 11).



Rysunek 11.

Struktura makrobloku

W następnym kroku makrobloki są składane w tzw. **przekroje**, które mogą zawierać różną ilość makrobloków (rys. 12). Niezależne kompresowanie każdego przekroju zabezpiecza przed rozszerzaniem się ewentualnych błędów na cały obraz.



Rysunek 12.

Podział obrazu na przekroje

W dalszych etapach kodowania MPEG występuje kilka procesów, które wymagają dodatkowego wyjaśnienia. Należą do nich dyskretna transformacja kosinusowa, kwantyzacja, kodowanie Huffmana.

Dyskretna transformacja kosinusowa (DCT) nie służy do kodowania a jedynie do przekształcenia danych odpowiadających wartościom amplitud pikseli danego bloku 8x8 pikseli do postaci umożliwiającej efektywne zastosowanie metod kompresji. Transformacja DCT przetwarza obraz z obszaru przestrzennego do częstotliwościowego. W wyniku działania transformaty na sygnale wejściowym powstają odpowiadające mu współczynniki transformaty. Zaletą transformaty DCT jest to, że większość współczynników jest zwykle bliska zeru,

a zatem po procesie kwantyzacji współczynniki te można pominąć, co umożliwia lepszą kompresję danych. Transformata kosinusowa jest odwracalna, to znaczy, że dysponując tylko współczynnikami transformaty można odtworzyć odpowiadający im obraz bez żadnych strat.

Kwantyzacja jest to proces ograniczenia zbioru wartości sygnału w taki sposób, aby można go było zapisać na skończonej liczbie bitów. Polega na przypisaniu wartości analogowych do najbliższych poziomów reprezentacji, co oznacza nieodwracalną utratę informacji. Kwantyzacja polega na przeskalowaniu współczynników DCT poprzez podzielenie ich przez właściwy współczynnik znajdujący się w tabeli kwantyzacji, a następnie zaokrągleniu wyniku do najbliższej liczby całkowitej. Proces kwantyzacji można opisać równaniem:

$$k(x) = \text{round}\left(\frac{F(x)}{Q(x)}\right)$$

gdzie $F(x)$ jest współczynnikiem transformacji, $Q(x)$ jest tablicą kwantyzacji, a $\text{round}(x)$ jest funkcją zaokrąglającą x do najbliższej liczby całkowitej. Tablica kwantyzacji odpowiada za stopień kompresji. Kwantyzacja jest procesem kompresji stratnej. Informacja utracona w wyniku kwantyzacji nie może być odzyskana. Im większy stopień kompresji tym gorsza jakość odtworzonego obrazu. Tablice kwantyzacji są dobierane na podstawie eksperymentów i analizy między innymi zdolności percepcyjnej oka ludzkiego osobno dla luminancji, osobno dla składowych koloru.

Kodowanie Huffmana jest to bezstratna metoda kodowania, przedstawiona przez Davida Huffmana w roku 1952. Kodowanie Huffmana stanowi jedną z najprostszych i łatwych w implementacji metod kompresji bezstratnej. W algorytmie jest wykorzystywany fakt, że pewne wartości danych występują częściej niż inne. Jeżeli zatem zakodujemy częściej występujące wielkości za pomocą krótszych słów kodowych, a rzadziej występujące - za pomocą dłuższych, to sumarycznie długość zakodowanych danych będzie krótsza niż przed kodowaniem.

4.1 PRZEBIEG KODOWANIA W STANDARDACH MPEG-1 I MPEG-2

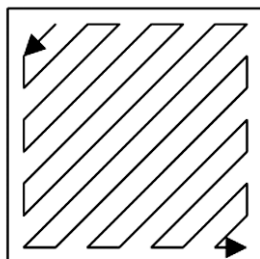
Kompresja MPEG wykorzystuje to, że obraz wideo ulega stopniowym zmianom, a część tego obrazu, w jakimś okresie czasu, często jest niezmienna. Poprzez zachowanie informacji raz na około 0,5 sek., o pełnych pojedynczych klatkach (**ramkach**) filmu oraz informacji o zmianach jakie następują w ciągu tego czasu możliwe jest znaczne ograniczenie wielkości przekazu wideo. Dzięki zastosowaniu specjalnych algorytmów możliwe jest generowanie ramek na podstawie informacji o zmianach oraz stanie poprzednich i następnych ramek.

Wyróżniamy trzy typy ramek **I**, **P** i **B**. Typ pierwszy **I**, to ramki zawierające pełną informację o obrazie. Ramki typu **P** są tworzone na podstawie obrazu poprzedniej ramki typu **I** lub **P**. Zawierają one informacje o elementach zmiennych w sekwencji wideo oraz o kierunku przesunięcia zmian (ruchu). Ramki typu **B** są tworzone na podstawie dwóch obrazów poprzedniego typu **I** lub **P** oraz następnego typu **I** lub **P**, według zasad stosowanych przy ramach typu **P**.

Obrazy **typu I** są kodowane w sposób następujący: cały obraz jest dzielony na bloki o wymiarach 8x8 pikseli (sygnał luminancji niezależnie od sygnału chrominancji), a następnie dla każdego bloku (niezależnie od pozostałych bloków) jest wyznaczana jego transformata kosinusowa. Transformata kosinusowa jest przekształceniem odwracalnym i z jej współczynników można odtworzyć pierwotny blok. Współczynniki transformaty kosinusowej zawierają informację o tym, jak szybko zmieniają się wartości próbek w przetwarzanym bloku. W większości obrazów występują obszary stałe, wartości próbek bloków należących do takich obszarów niewiele różnią się od siebie. Natomiast współczynniki transformaty kosinusowej mają znacznie różniące się wartości – tylko współczynnik odpowiadający składowej stałej i sąsiednie współczynniki odpowiadające niskim częstotliwościom mają duże wartości, pozostałe odpowiadające wyższym częstotliwościom są równe lub bliskie zeru. Z badań nad właściwościami wzroku ludzkiego wiadomo, że oko jest znacznie bardziej wrażliwe na składowe niskoczęstotliwościowe obrazu niż na składowe wysokoczęstotliwościowe. Jeśli więc będziemy kwantować współczynniki transformaty kosinusowej, to współczynniki niskoczęstotliwościowe powinny być kwantowane dokładniej, z dużą liczbą bitów, a współczynniki wysokoczęstotliwościowe mniej dokładnie. W wyniku takiej kwantyzacji większość współczynników wysokoczęstotliwościowych, które były bliskie zeru, przyjmie zerowe wartości. Na etapie kwantyzacji następuje nieodwracalna utrata części informacji o obrazie, ze skwantowanych współczynników zostaną odtworzone próbki różniące się od pierwotnych. Jeśli jednak poszczególne współczynniki będą wystarczająco dokładnie skwantowane (zostanie im przypisana dostatecznie duża liczba bitów), to różnice pomiędzy pierwotnym, a odtworzonym blokiem obrazu



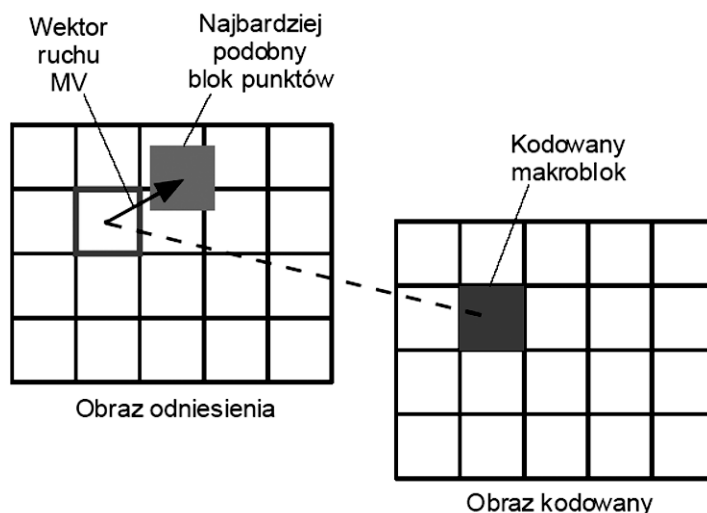
będą niedostrzegalne przez człowieka. Współczynniki transformaty kosinusowej są wybierane według określonego porządku (wybieranie zygzakowe) (rys. 13). Wybieranie zygzakowe jednocześnie szereguje współczynniki od najbardziej istotnych do najmniej ważnych z punktu widzenia kompresji obrazu. Współczynnik DC (średnia wartości pikseli w bloku, której odpowiada pierwszy współczynnik transformaty kosinusowej) jest kodowany różnicowo względem predykcji czyli współczynnika DC z poprzedniego bloku. Z pozostałej części macierzy współczynników DCT tworzona jest sekwencja współczynników według porządku „zygzak”. Następnie po kwantyzacji współczynniki są kodowane kodem Huffmana.



Rysunek 13.

Sposób wybierania współczynników transformaty DCT – „zygzak”

Przy kodowaniu obrazów **typu P** korzysta się z podobieństwa obrazów w sekwencji. Dlatego koduje się nie poszczególne obrazy, ale różnice pomiędzy kolejnymi obrazami. Dwa kolejne obrazy są odejmowane od siebie i ich różnicę koduje się tak, jak omówione wcześniej obrazy typu I, wykorzystując transformatę kosinusową i kwantyzację jej współczynników. Ponieważ jest to kompresja stratna więc transmitowana informacja różni się od wyniku odejmowania kolejnych obrazów. Ta różnica mogłaby spowodować rozbieżności pomiędzy procesami kodowania i dekodowania obrazów. Żeby tego uniknąć w koderze odtwarza się poprzez odwrotną transformatę kosinusową i odwrotną kwantyzację dokładnie taki sam obraz jaki powstanie w dekodерze – obraz ten nazywany jest **obrazem odniesienia** (rys. 14). Kodowaniu poddawana jest więc różnica pomiędzy bieżącym obrazem a obrazem odniesienia. Przedstawiony schemat kodowania jest skuteczny, jeśli kolejne obrazy w sekwencji niewiele różnią się od siebie, a więc gdy transmitowana scena jest prawie statyczna. Jeśli jednak występują w niej ruchome elementy, to metoda kompresji oparta na kodowaniu różnic pomiędzy tymi obrazami przestaje być efektywna.

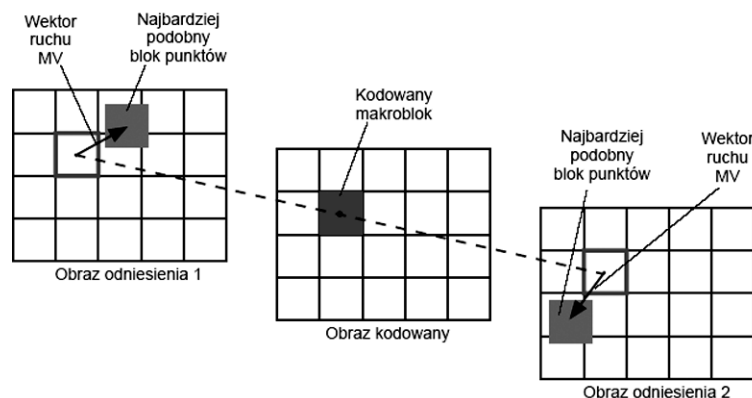


Rysunek 14.

Sposób kodowania obrazów typu P

Obrazy **typu B** kodowane są podobnie jak obrazy typu P, z tym że jednocześnie wykorzystuje się dwa obrazy odniesienia – wcześniejszy i późniejszy. Prognoza kodowanego obrazu tworzona jest przez uśrednienie informacji pochodzących od obu obrazów odniesienia, dlatego też ten typ obrazu nazywany jest **obrazem interpolowanym** (rys. 15). Metoda kodowania obrazów typu B wymaga, aby dekodер wcześniej znał oba obrazy odniesienia. Obrazy odniesienia muszą być wysłane wcześniej niż zakodowane obrazy typu B. Bez nich niemożliwe jest rozkodowanie.

Poszczególne typy obrazów I, P i B stosowane w standardzie MPEG zapewniają różne stopnie kompresji. Najmniejszy stopień kompresji umożliwiają obrazy typu I, gdyż zawierają pełną informację o obrazie. Obrazy te muszą być jednakże dość często transmitowane, gdyż odbiornik może rozpocząć dekodowanie sekwencji tylko od tego typu obrazu. Obrazy typu P zapewniają większy stopień kompresji, przy ich kodowaniu powstają jednak pewne zniekształcenia spowodowane skończoną dokładnością obliczeń, które kumulują się i dlatego liczba kolejno następujących po sobie obrazów typu P nie może być zbyt duża. Jeszcze większy stopień kompresji umożliwiają obrazy typu B. W tym przypadku także występują wspomniane wcześniej zniekształcenia, a ponadto przy transmisji obrazów tego typu musi zostać zmieniona kolejność nadawania obrazów – najpierw muszą być wysłane oba obrazy odniesienia, a dopiero potem obraz typu B. Wymaga to wyposażenia dekodera w odpowiednio dużą pamięć.



Rysunek 15.
Sposób kodowania obrazów typu B

Liczba obrazów poszczególnych typów jak i długość całej **grupy obrazów** nie jest określona w standardzie MPEG i może być różna w zależności od wymagań stawianych danemu systemowi transmisji. Struktura grupy obrazów nie musi być stała w czasie całej transmisji i może się zmieniać w zależności od aktualnej treści przekazywanego programu. Przykładowa struktura grupy obrazów jest przedstawiona na rys. 16.



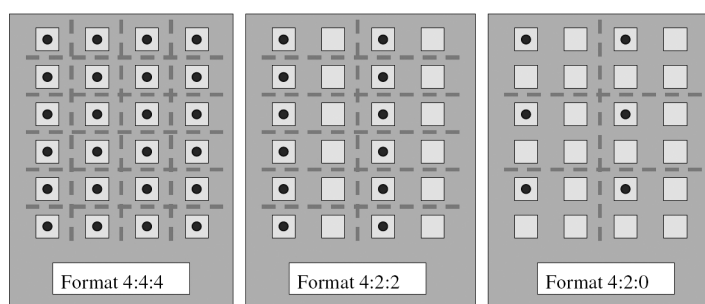
Rysunek 16.
Struktura grupy obrazów

4.2 RÓŻNICE POMIĘDZY STANDARDAMI MPEG-1 I MPEG-2

Standard MPEG-2 został opracowany z myślą zastosowania w cyfrowych systemach telewizyjnych, do obsługi których MPEG-1 się nie nadawał. MPEG-2 nie jest związany z żadnym wykorzystywanym obecnie analogowym standardem telewizyjnym. Zgodnie z tym standardem można transmitować zarówno programy telewizyjne zrealizowane w europejskim standardzie 625 linii/50Hz, jak i amerykańskim 525 linii/60Hz. W standardzie MPEG-2 można także przesyłać programy zrealizowane w standardach wysokiej rozdzielczości HDTV. Standard MPEG-2 dopuszcza stosowanie zarówno międzyliniowego, jak i kolejnoliniowego wybierania obrazu, format ekranu może być 4:3 lub 16:9. Dla zapewnienia możliwości odtwarzania obrazów panoramicznych na zwykłych odbiornikach przesyłana jest w nim informacja o tym, która część obrazu powinna być w danej chwili

li wyświetlana. Standard MPEG-2 dopuszcza także podział sygnału na hierarchicznie zorganizowane warstwy, które umożliwiają np. jednoczesną transmisję jednego programu telewizyjnego w standardowej i dużej rozdzielczości. Dzięki kompresji sygnału wizyjnego standard MPEG-2 umożliwia kilkukrotne zwiększenie liczby nadawanych programów w dostępnych obecnie sieciach transmisji programów telewizyjnych. Wprowadzono również nowe elementy, jak przetwarzanie dźwięku w pięciokanałowym systemie przestrzennym *surround*, wielojęzyczne napisy oraz znaczniki np. do znajdowania określonych fragmentów filmu.

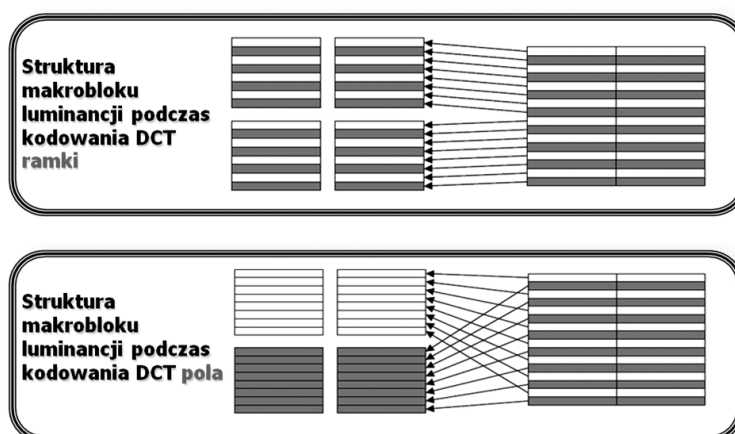
Standard MPEG-2 wykorzystuje strukturę próbkowania 4:2:0 lub 4:2:2 (rys. 17). W strukturze próbkowania 4:2:0 następuje zmniejszenie rozdzielczości sygnałów chrominancji w obu kierunkach: pionowym i poziomym. Makroblok w standardzie 4:2:0 składa się z 4 bloków luminancji, jednego bloku chrominancji C_r i jednego bloku chrominancji C_b . Jeden blok zawiera 8x8 pikseli. Natomiast w strukturze próbkowania 4:2:2 liczba próbek chrominancji w kierunku pionowym nie ulega zmianie, zmniejsza się natomiast liczbę tych próbek w kierunku poziomym. Makroblok w standardzie 4:2:2 składa się z 4 bloków luminancji, 2 bloków chrominancji C_r i dwóch bloków chrominancji C_b . Dla porównania pokazano również strukturę próbkowania 4:4:4, gdzie na każdą próbkę sygnału luminancji Y przypada po jednej próbce sygnału chrominancji C_r i C_b .



Rysunek 17.

Formaty próbkowania obrazu 4:2:0 i 4:2:2 stosowane w standardzie MPEG-2

W przypadku wybierania międzyliniowego, ramka sygnału wizyjnego składa się z dwu pól. Jako obraz kodowana może być ramka (każdy blok powinien być złożony naprzemiennie z linii dwóch pól) lub pole (każdy blok powinien być złożony tylko z linii jednego z dwóch pól). Specyfikacja MPEG-2 umożliwia kodowanie ramki jako jednego obrazu oraz kodowanie niezależnie dwóch obrazów (kodowanie pola) – rysunek 18.



Rysunek 18.

Struktura makrobloku luminancji podczas kodowania ramki i pola

Zmiana typu kodowania może następować w każdej kolejnej ramce. Kodowanie ramki daje lepsze rezultaty, gdy w sekwencji obrazów jest mało ruchu – półobrazy dobrze uzupełniają się przestrzennie. Kodowanie pola jest lepsze przy dużym natężeniu ruchu w sekwencji obrazów – korelacja przestrzenna półobrazów jest zakłócona i lepiej jest użyć kompensacji ruchu.

Standard MPEG-2 może być wykorzystywany do kodowania obrazów o różnej rozdzielczości przy zastosowaniu różnych wariantów kompresji sygnałów. W tym celu przyjęto dwa podstawowe pojęcia **poziom** (ang.

Level) oraz **profil** (ang. *Profile*). Pojęcie poziomu jest związane rozdzielczością kodowanego obrazu. Dla każdego z poziomów można stosować różne warianty metod kompresji sygnału, umożliwiające uzyskanie różnych prędkości bitowych. Parametry te definiuje profil. Najważniejsze ze stosowanych w systemie MPEG-2 profili to:

- **Profil prosty** (ang. *Simple Profile*) – wykorzystuje dyskretną transformację kosinusową, kodowanie z prognozowaniem (obrazy typu P) oraz kompensację ruchu, przy czym sygnały chrominancji są kodowane sekwencyjnie, co drugą linię (standard 4: 2: 0).
- **Profil główny** (ang. *Main Profile*) – wykorzystuje tę samą metodę kodowania, lecz dwa rodzaje prognozowania (ramka P i B), co zapewnia lepszą jakość sygnału przy tej samej prędkości bitowej.
- **Profil skalowany szumowo** (ang. *SNR Scaleable Profile*) – dane wizyjne są podzielone na części: sygnał podstawowy i sygnał podwyższający jakość. Sygnał podstawowy wytwarza obraz o zmniejszonym stosunku sygnału do szumu i wymaga znacznie mniejszej prędkości bitowej, może więc być przesyłany przez tory transmisyjne o mniejszej przepustowości. Dodanie do sygnału podstawowego sygnału podwyższającego jakość poprawia stosunek sygnału do szumu w obrazie. Zapewnia to przy tej samej prędkości bitowej lepszą jakość odtwarzanego obrazu niż w profilu głównym.
- **Profil skalowany przestrzennie** (ang. *Spatially Scaleable Profile*) – jest zbudowany podobnie jak profil skalowany szumowo, lecz wykorzystuje inną metodę podziału danych, a mianowicie w zależności od rozdzielczości obrazu. Sygnał podstawowy odpowiada obrazowi o zmniejszonej rozdzielczości. Obraz pełnej rozdzielczości otrzymuje się przez zsumowanie tego sygnału z sygnałem poprawiającym jakość.

Zadanie 3. Edycja sekwencji wizyjnej oraz eksport materiału wideo do formatu MPEG-2

Sprzęt potrzebny do wykonania zadania:

- komputer,
- oprogramowanie do montażu nieliniowego Pinnacle Studio 9.

Edycja sekwencji wizyjnej jest bez wątpienia najważniejszym procesem każdego montażu materiału wideo. To właśnie dzięki niej mamy możliwość uporządkowania często chaotycznie zarejestrowanych ujęć. Wykorzystując możliwości montażu nieliniowego, możemy znacznie uatrakcyjnić i ożywić niezbyt ciekawe nagrania. Podstawowymi zabiegami edycyjnymi są precyzyjne docinanie, kopiowanie i układanie poszczególnych ujęć w żądanej kolejności. Ponadto możliwe jest tworzenie stop-klatki, regulacja tempa oraz kierunku odtwarzania klipu wideo. Wszystkie programy edycyjne wyposażone są w ścieżki wideo i audio, oś lub linię czasu oraz podstawowe narzędzia edycyjne. Edytowane ujęcia są umieszczane na poszczególnych ścieżkach wideo i audio. Podstawową operacją przeprowadzaną podczas edycji jest cięcie, które ma wyodrębnić poszczególne ujęcia z materiału wideo. Do tego celu używamy zazwyczaj wirtualnych nożyczek. Precyzyjne dobieranie początku i końca ujęcia możliwe jest również dzięki zastosowaniu znaczników wejścia i wyjścia. W niektórych programach dostępna jest opcja **trymowania**, która w precyzyjny sposób kontroluje i jednocześnie obserwuje proces przycinania ujęcia. Stop-klatki w montowanym materiale wideo można uzyskać na dwa sposoby. Pierwszym z nich jest zaimportowanie do programu montażowego klatki w postaci pliku graficznego np. BMP, TIFF, JPEG, jak również ustawienie jej bezpośrednio z ujęcia umieszczonego na ścieżce wideo. Zmiana tempa odtwarzanego materiału wideo wpływa na zwolnienie lub przyśpieszenie akcji filmu, natomiast zmianę kierunku odtwarzania możemy zastosować w celu uzyskania efektu specjalnego. Oprócz możliwości odpowiedniego przycięcia sekwencji na tym etapie możemy rozjaśnić bądź przyciemnić sekwencję wideo, lub też zastosować różnego rodzaju filtry.

Wszystkie programy do obróbki wideo, w tym Pinnacle Studio 9, na etapie edycji oferują dwa tryby pracy: Storyboard i Timeline. Tryb **Storyboard** jest najszybszą i najprostszą metodą dodawania klipów do tworzonego właśnie filmu, poprzez zastosowanie przenoszenia poszczególnych sekwencji. W trybie tym każdy obrazek reprezentuje pojedyncze zdarzenie w edytowanym filmie. Istnieje możliwość prze-



noszenia żądanych klipów filmowych i umieszczania ich w założonym miejscu. Dodatkowo pomiędzy klipami można dołączyć różne efekty przejścia. Tryb **Timeline** umożliwia dokładne dopasowywanie efektów i edycję materiału. W trybie tym jest pokazywana dokładnie chronologia pojawiania się poszczególnych elementów filmu na poszczególnych ścieżkach. Klipy filmowe w tym trybie są przenoszone z bibliotek na odpowiednie ścieżki i są wyświetlane jako krótkie sekwencje.

Edycja klipów filmowych obejmuje:

- dodawanie klipu filmowego do ścieżki,
- przycinanie klipu filmowego,
- podział klipu filmowego na segmenty,
- podział na sceny,
- ekstrakcja materiału,
- korzystanie z filtrów.

a) Efekty specjalne

Obecnie każdy program edycyjny ma różnego rodzaju efekty specjalne, które możemy podzielić na: efekty przejść (miksy), filtry obrazu, kluczowanie obrazu, nakładanie obrazu oraz wprowadzanie napisów. Z efektów przejść korzystamy w sytuacji, gdy zamierzamy w atrakcyjny sposób połączyć ze sobą dwa różne ujęcia. Generalnie, efekty przejść można podzielić na dwuwymiarowe (2D) i trójwymiarowe (3D). Najprostszy efektami dwuwymiarowymi są przenikania obrazu (miksy) oraz tzw. kurtynki, natomiast efekty trójwymiarowe najczęściej kojarzone są z efektem odwijanej kartki lub transformacji obrazu w trójwymiarową bryłę. Rodzaj oraz liczba efektów przejść zależne są od klasy i typu programu edycyjnego.

Filtry obrazu mogą spełniać rozmaite funkcje. Pierwszą z nich jest korekcja parametrów obrazu. Do tego celu przeznaczone są filtry regulujące balans kolorów (RGB), jasność, kontrast, nasycenie itp. Drugą z nich jest wprowadzanie prostych efektów, takich jak odwracanie obrazu w pionie i poziomie, docinanie itp. Natomiast trzecią z nich jest wprowadzanie efektów specjalnych: rozmycia, wyostrenia, płaskorzeźby, kalejdoskopu, fali, deformacji, efektów świetlnych itp.

Kolejny efekt, **kluczowanie**, w uproszczeniu polega na usunięciu z obrazu wideo pewnych obszarów charakteryzujących się wspólnymi cechami (np. kolorem, jasnością itp.) i nadaniu im przezroczystości. Dzięki kluczowaniu uzyskujemy możliwość nakładania na siebie poszczególnych warstw z kolejnymi obrazami wideo lub grafiką. Najczęściej stosowanymi rodzajami kluczy są:

- *color key* – usuwanie obszarów o określonym kolorze;
- *chroma key* – usuwanie obszarów o określonym kolorze wraz z jego odcieniami (działa dużo precyzyjniej od *color key*, ponieważ uwzględnia poziom nasycenia koloru);
- *luma key* – usuwanie obszarów jedynie o określonym poziomie jasności;
- *blue screen* – usuwanie niebieskich obszarów (często zamiast koloru niebieskiego używa się koloru zielonego oraz klucza *green screen*) - są to najczęściej stosowane klucze używane do usunięcia tła za filmowaną postacią, np. spikerem w wiadomościach lub prognozie pogody;
- *alpha channel* – usuwanie obszarów zdefiniowanych specjalną maską zapisaną w dodatkowym kanale alfa.

Niestety często się zdarza, że efekty dalekie są od ideału. Wynika to z trudności w uzyskaniu jednolitych obszarów obrazu, które mogłyby być precyzyjnie usunięte. Profesjonalne rozwiązania postępują się specjalnie przygotowywanymi maskami umożliwiającymi bardzo precyzyjne kluczowanie.

Pakiet Pinnacle Studio 9 umożliwia miksowanie i zastosowanie zestawu dostępnych efektów podczas edycji materiału. Wszystko to służy uzyskaniu profesjonalnego wyglądu tworzonego filmu.

b) Nakładanie scen

Kolejnym efektem jest nakładanie obrazu. Mamy tu do czynienia z efektami powstałymi w wyniku nałożenia na obraz wideo jednego lub więcej często zdeformowanych obrazów pochodzących z plików wideo



lub plików graficznych. Dobrym tego przykładem mogą być efekty typu obraz w obrazie (ang. *PIP – Picture In Picture*). Deformacje mogą dotyczyć zarówno wielkości, jak i kształtu nakładanego obrazu, który dodatkowo może być statyczny lub ruchomy. Wprowadzanie napisów jest efektem polegającym na nałożeniu na obraz wideo przede wszystkim napisów, ale również grafik lub małych animacji. Nakładanie napisów jest możliwe dzięki towarzyszącemu mu nieodłącznie efektowi kluczowania (najczęściej *alpha channel*). Napisy mogą być zarówno statyczne, jak i dynamiczne. Większość programów do montażu wideo ma wbudowane proste funkcje do tworzenia napisów, jednak oferują one jedynie podstawowe możliwości.

Bardzo ważnym elementem każdego filmu jest ekran tytułowy oraz ekran z napisami końcowymi. Aby stworzyć napisy, które mają być potem wykorzystane przy sekwencji początkowej lub końcowej, należy wybrać ramkę, do której dodawać chcemy napisy tytułowe. Następnie tworzymy napis tytułowy. Do tekstu można dodać efekty, np. napisy przewijane, napisy zanikające, inne efekty animacji.

Na etapie edycji wideo słuchacze powinni:

- Dokonać montażu wideo z zastosowaniem kroków przedstawionych w punktach a) i b) niniejszej instrukcji.

c) Eksport materiału wideo do formatu MPEG-2

W drugiej części ćwiczenia słuchacze zostaną zapoznani z metodami przygotowywania materiału do nagrania płyty DVD oraz *authoringu*. Program Pinnacle Studio 9 stanowi kompletny zestaw narzędzi umożliwiających tworzenie własnych płyt VCD/SVCD/DVD.

Proces ten obejmuje następujące elementy, z którymi słuchacze zostaną zapoznani:

- a) konwersja plików AVI do odpowiednich formatów zgodnych ze standardami zapisu płyt DVD,
- b) budowanie menu scen (*authoring*),
- c) nagrywanie przygotowanych materiałów na nośnik.

DVD authoring to tworzenie interfejsów płyt DVD, których zawartość można wyświetlać w komputerze osobistym lub odbiorniku telewizyjnym. Opracowany w trakcie edycji interfejs jest narzędziem do sterowania zawartością płyty. Podczas *authoring*u są wykonywane następujące czynności:

- zapisanie do postaci cyfrowej obrazu i dźwięku,
- zakodowanie do MPEG-1 lub MPEG-2 obrazu dla DVD-Video,
- zakodowanie do Dolby Digital lub DTS lub MPEG Audio lub LPCM dźwięku dla DVD-Video
- wykonanie projektu graficznego do interfejsu,
- połączenie wszystkich elementów audio-video odpowiednimi linkami w celu zapewnienia współpracy z użytkownikiem,
- sformatowanie obrazu płyty,
- zapisanie tego obrazu na odpowiednim nośniku (np. DVD, dysk twardy).

Przygotowanie materiału wizyjnego do nagrania na płycie DVD bądź CD składa się z kilku etapów. Pierwszy etap to zaplanowanie zawartości płyty. Konieczne jest zastanowienie się nad liczbą i standardem zapisu ścieżek dźwiękowych, stosowaniem elementów interaktywnych oraz różnymi wersjami językowymi. W etapie planowania konieczne jest również zaplanowanie elementów oraz formy menu. Etap tworzenia menu to wykorzystanie najczęściej gotowego szablonu, który można oczywiście modyfikować. Niektóre programy umożliwiają całkowite przemodelowanie szablonu, przez zmianę układu ikon dla rozdziałów, czcionki w napisach czy tła. Kolejnym etapem jest odpowiedni montaż oraz kompresja wszystkich materiałów, które chcemy wykorzystać do nagrania płyty. Mowa tu przede wszystkim o materiale wizyjnym, ale również o przygotowaniu ścieżek dźwiękowych. Ostatnim etapem jest proces *authoringu*. Termin ten oznacza wszystkie procesy, jakie muszą być zrealizowane po zakodowaniu dźwięku i obrazu, a przed otrzymaniem końcowego produktu. Etap ten polega na połączeniu ze sobą obrazu i wszystkich ścieżek dźwiękowych, podpisów do dialogów, stworzeniu menu oraz podziału na sceny. Korzystając z programu Pinnacle Studio 9 większość tych operacji wykonywane jest automatycznie.



Na etapie eksportu materiału wideo do formatu MPEG-2 słuchacze wykonują następujące operacje:

- zapoznają się z zasadą działania i podstawowymi funkcjami programu Pinnacle Studio 9 dotyczącymi *authoringu*,
- na podstawie założeń przedstawionych podczas ćwiczenia przez prowadzącego przygotowują koncepcję tworzonej płyty,
- przeprowadzają konwersję wykorzystywanych materiałów do formatu MPEG-2,
- nagrywają gotowy materiał filmowy na dysk komputera lub płytę DVD.

LITERATURA

1. Adobe Premiere Elements. *Domowe studio wideo*, praca zbiorowa, Helion, Gliwice 2007
2. Beach A., *Kompresja dźwięku i obrazu wideo*, Helion, Gliwice 2009
3. Danowski B., *Komputerowy montaż wideo. Ćwiczenia praktyczne*, Helion, Gliwice 2006
4. Nasiłowski D., *Jakościowe aspekty kompresji obrazu i dźwięku. Poglądowo o DivX*, Mikom, Warszawa 2004
5. Ozer j., *Tworzenie filmów w Windows XP. Projekty*, Helion, Gliwice 2005
6. Rak R., Skarbek W. (red.), *Wstęp do inżynierii multimediiów*, Politechnika Warszawska, Warszawa 2004
7. Zieliński T.P., *Cyfrowe przetwarzanie sygnałów. Od teorii do zastosowań*, WKiŁ, Warszawa 2005





W projekcie **Informatyka +**, poza wykładami i warsztatami, przewidziano następujące działania:

- 24-godzinne kursy dla uczniów w ramach modułów tematycznych
- 24-godzinne kursy metodyczne dla nauczycieli, przygotowujące do pracy z uczniem zdolnym
 - nagrania 60 wykładów informatycznych, prowadzonych przez wybitnych specjalistów i nauczycieli akademickich
 - konkursy dla uczniów, trzy w ciągu roku
 - udział uczniów w pracach kół naukowych
 - udział uczniów w konferencjach naukowych
 - obozy wypoczynkowo-naukowe.

Szczegółowe informacje znajdują się na stronie projektu

www.informatykaplus.edu.pl