

Materiały informacyjne do ćwiczenia M4

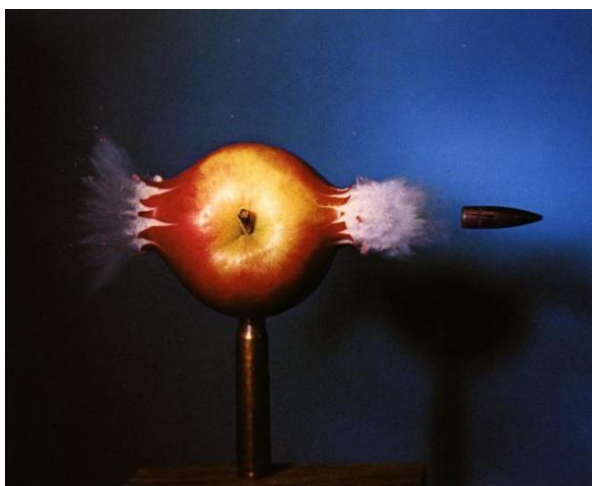
SPIS TREŚCI

1.	Wprowadzenie.....	2
2.	System rejestracji obrazu.....	3
3.	Opis kamery szybkoklatkowej Phantom v5.2	9
4.	Literatura.....	10

1. Wprowadzenie

Technika fotografii szybkoklatkowej (szybka fotografia) umożliwia analizę ruchu, w szczególności ruchu, którego ludzkie oko nie jest w stanie zauważyć, czy też w ogóle zdać sobie sprawy z jego istnienia. W wielu przypadkach, zarówno w badaniach procesów technologicznych jak i w badaniach podstawowych, zachodzi konieczność rejestrowania szybkich zmian wielkości charakteryzujących badany proces. W większości przypadków mierzone parametry fizyczne przetwarzane są na wielkości elektryczne poprzez różnego typu czujniki pomiarowe. Rejestracja wielkości elektrycznych nie nastęca większych problemów, gdyż można stosować stosunkowo niedrogie, szybkie (o częstotliwości próbkowania do kilkudziesięciu MHz) przetworniki analogowo-cyfrowe. Sytuacja wygląda gorzej gdy istnieje potrzeba zobrazowania proces szybkozmiennego poprzez wykonanie dokładnych zdjęć (filmu). Zrealizowanie tej czynności umożliwiają kamery szybkoklatkowe (ang. high speed camera).

Kamery szybkoklatkowe nie są jednak wyłącznie urządzeniami, które pozwalają zobaczyć dane zjawisko w zwolnionym tempie. Uzupelnione o specjalistyczne oprogramowanie stanowią potężne urządzenia pomiarowe dające informacje np.: o przemieszczeniach, prędkościach, przyspieszeniach.



Rys.1.1. Pocisk przebijający jabłko



Rys.1.2. Crash test samochodu osobowego

Badanie ruchu za pomocą kamery szybkoklatkowej jest kluczową technologią przy analizie szybkozmiennych procesów mechanicznych [2]. Kamera szybkoklatkowa video jest szeroko wykorzystywanym narzędziem umożliwiającym zapis sekwencji z bardzo dużą częstotliwością zapisu klatek (od kilku do kilkunastu tysięcy a nawet milionów klatek na sekundę), a następnie odtworzenie ich w zwolnionym tempie.



Rys.1.3 Kamera OLYMPUS i-speed LT i kamera Phantom v5.2

Najpopularniejsze zastosowania h kamer szybkoklatkowych to:

- przemysł samochodowy (testy zderzeniowe samochodów, analiza napełniania poduszek powietrznych, badanie procesów zachodzących w komorze spalania silników tłokowych),
- przemysł kolejowy (testy zderzeniowe pociągów, analiza zachowania podwozia na rozjazdach i przy dużych prędkościach jazdy),
- biomechanika (analiza ruchu i obciążeń kończyn, analiza lotu owadów i ptaków),
- przemysł spożywczy i farmaceutyczny (analiza błędów popełnianych przez maszyny pakujące),
- przemysł elektroniczny (analiza błędów popełnianych przez maszyny na liniach montażowych),
- przemysł lotniczy i kosmonautyczny (analiza zjawisk zachodzących w silnikach odrzutowych i rakietowych),
- przemysł zbrojeniowy (analiza ruchu pocisków i rakiet) prace badawczo-rozwojowe,

2. System rejestracji obrazu

Kamera szybkoklatkowa jest to urządzenie służące do nagrywania szybko poruszających się obiektów jako obrazu fotograficznego na nośnik pamięci. Po nagraniu obrazów zapisanych na nośniku mogą być odtwarzane w zwolnionym tempie. Wczesne szybkie kamery używały taśm filmowych do zapisu szybkozmiennych zdarzeń, lecz dzisiaj, kamery subklatkowe są całkowicie elektroniczne wykorzystując przyrządy o sprzężeniu ładunkowym CCD (charge-coupled device) lub czujniki CMOS (CMOS active pixel sensor), nagrywając zazwyczaj ponad 1000 klatek na sekundę i zapisując w pamięci DRAM skąd później odtwarza powoli zdjęcia do badania ruchu. Kamery te mogą być klasyfikowane jako kamery dużej prędkości filmu, który zapisuje na taśmie filmowej, kamery dużej prędkości kadrowania, która zapisuje krótką serię zdjęć na taśmie filmowej, kamery dużej prędkości smuga, zapisywanej na taśmie filmowej / pamięci cyfrowej, lub kamery dużej szybkości nagrywania zapisujące do pamięci cyfrowej.

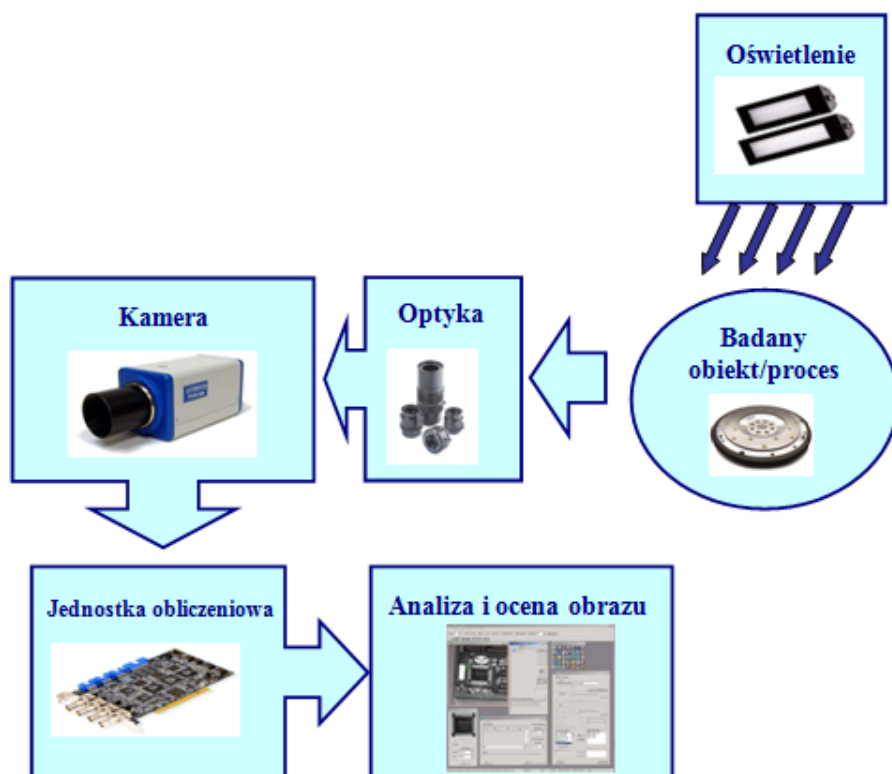
Normalny obraz ruchu jest filmowany i odtwarzany z prędkością 24 klatek na sekundę, podczas gdy telewizja używa 25 klatek / s (PAL) lub 29,97 klatek / s (NTSC). Szybkie kamery mogą nagrywać nawet ponad milion klatek na sekundę, uruchamiając film przez pryzmat obrotowy lub lustro zamiast migawki, co zmniejsza potrzebę zatrzymywania i uruchamiania

filmu za migawką, które rozrywają taśmę filmową przy takich prędkościach. Dzięki tej technice można rozciągnąć jedną sekundę dłużej niż dziesięć minut czasu odtwarzania (super slow motion). W tabeli 2 przedstawiono wymagania związane z minimalną liczbę klatek na sekundę w zależności do rejestrowanego zjawiska.

Tabela 1. Wymagania minimalnej liczby klatek na sekundę dla rejestracji typowych zjawisk

Event	Typical Framing Rate Frames per Second (fps)
Man Walking	30
Bottle-Filling Machine	60
13-Ton Punch Press	120
Blink of an Eye	240
Pouring of Liquid	500
Driving a Nail	1,000
Wing Beat of a Honey Bee	2,000
Contact Chatter in a Switch	4,000
Circular Saw Cutting Wood	8,000
Cutting Action of a Dental Drill	16,000
Shot-Gun Pellets in Flight	32,000
Bursting a Toy Balloon	64,000
30/06 Rifle Bullet in Flight	125,000
Crack Propagation in Glass	250,000
Liquid Cavitation Phenomena	500,000
High Explosive Detonation	1,000,000
Electrical Spark Discharges	>2,000,000

Akwizycja obrazu jest to proces polegający na przetworzeniu informacji i otaczającym nas świecie na postać cyfrową, która jest dogodna do wszelkiej obróbki i analizy. Poniższy schemat przedstawia ogólną strukturę systemu akwizycji obrazu wykorzystującego kamerę szybkoklatkową [1].



Rys.2.1. Schemat stanowiska badawczego wykorzystującego kamerę szybkostrzalną [1]

Zapisywanie nagranych obrazów o dużej prędkości może być czasochłonne, przykładowo przy rozdzielczości do czterech megapikseli i z szybkością zapisu ponad 1000 klatek na sekundę, oznacza, że w ciągu jednej sekundy, będzie ponad 11 gigabajtów danych obrazu do zapisu. Technologicznie, kamery te są bardzo zaawansowane, zapisywanie obrazów wymaga użycia wolniejszych standardów wideo-komputerowych interfejsów. Podczas gdy nagrywanie jest bardzo szybkie, zapisywanie obrazów jest znacznie wolniejsze. Najszybsza z kamer szybkostrzalnych ma możliwość robienia zdjęć z prędkością 200 milionów klatek na sekundę. Jednym z rozwiązań, aby obniżyć ilość zapisywanych danych, lub zminimalizować wymagany czas na oglądanie zdjęć, jest wstępne wybranie interesujących nas części. Podczas analizy awarii przemysłowej, cykliczne filmowanie skupia się tylko na tej części cyklu, który jest interesujący.

Problemem szybkostrzalnych jest wymóg ekspozycji na światło, więc potrzebne jest bardzo jasne światło. Czasami prowadzi to do zniszczenia przedmiotu badanego z powodu ciepła oświetlenia. Filmowanie monochromatyczne (czarno / białe) jest czasem stosowane w celu zmniejszenia wymaganej ilości światła. Szybsze prędkości obrazowania są możliwe przy użyciu specjalistycznych kamer elektronicznych ze sprzężeniem ładunkowym (CCD). Te systemy obrazowania mogą osiągnąć prędkość ponad 25 milionów klatek na sekundę. Obecnie stosuje się kamery cyfrowe, które mają wiele lepsze parametry i mniej kosztów operacyjnych.

Wybór urządzenia, które zarejestruje proces (obraz), jest sprawą niezwykle ważną. Do ścisłej czołówki zaliczane są:

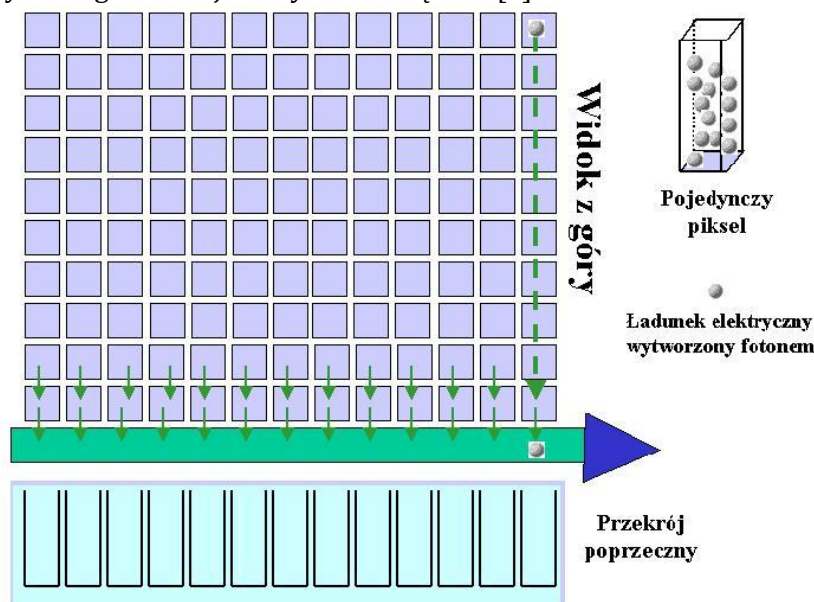
- cyfrowa kamera,
- cyfrowy aparat fotograficzny,

Kamera cyfrowa – to urządzenie rejestrujące obraz oraz dźwięk i zapisujące sygnał audiowizualny w postaci cyfrowej na nośnikach pamięci. Istota obrazowania kamer cyfrowych opiera się na specjalnych przetwornikach, tak zwanych matrycach. Wyróżniamy dwa rodzaje matryc:

- matryca CCD – Charge Coupled Device

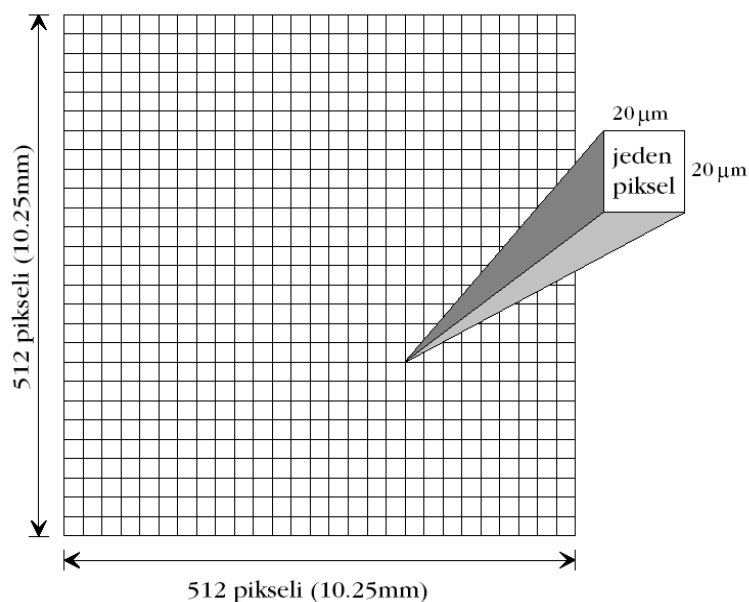
➤ matryca CMOS – Complimentary Metal-Oxide Semiconductor

Zdecydowanie najczęściej do akwizycji obrazu stosowane są kamery na matrycy CCD. Urządzenia tego typu posiadają bardzo dużą prędkość przetwarzania, oraz stosunkowo małe gabaryty. Kamera CCD zastąpiła zwykłe kamery, które wykorzystywały film fotograficzny. W kamerach CCD jest stosowane takie samo rozwiązanie optyki, różnica polega na tym, że zamiast filmu w płaszczyźnie ogniskowej mamy strukturę CCD [1].



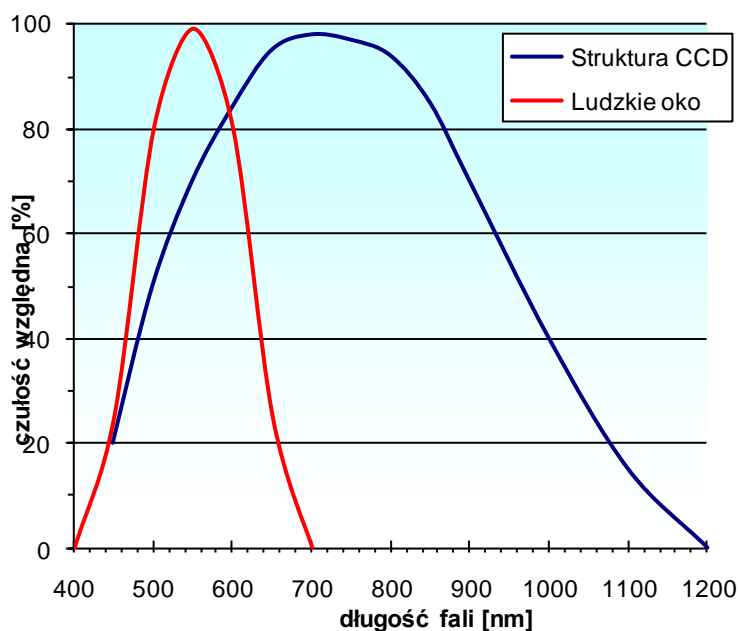
Rys.2.2. Schemat przedstawiający zasadę działania matrycy CCD

Układ scalony CCD jest to szczególny rodzaj struktury krzemowej, która działa jak detektor natężenia światła. Kryształ krzemu jest siecią atomów, których wiązania mogą być zerwane w wyniku absorpcji światła o różnych długościach fali. Gdy takie wiązania zostaną zerwane, wówczas są uwalniane elektrony. Są one utrzymywane w tym określonym obszarze struktury (studni potencjałowej) reprezentującym piksel albo element obrazu dopóki stan tego piksela nie zostanie odczytany przez komputer. Każdy mały obszar jest naładowany elektrycznie. Ładunek (liczba uwolnionych elektronów) jest proporcjonalny do ilości światła padającego na ten obszar. Konwerter analogowo-cyfrowy (A/C) zamienia zarejestrowany ładunek elektryczny na postać cyfrową, która może być przetwarzana i pamiętana przez komputer. W ten sposób w komputerze zostaje zapamiętany plik zawierający tablicę liczb uporządkowaną w rzędy i kolumny z których każda odpowiada rzeczywistemu fizycznemu obszarowi w strukturze CCD. Z kolei oprogramowanie wykorzystuje ten plik jako wejście dla różnych operacji, jakie użytkownik zechce wykonać. Typowe formaty struktur są następujące: 320 x 512, 512 x 512, 800 x 800 i 1024 x 1024. Są również większe struktury – są one jednak drogie i wykorzystywane tylko w profesjonalnych zastosowaniach naukowych. Typowy wymiar liniowy każdego elementu to 20 μm , a całej struktury ok. 1 cm.



Rys.2.3. Budowa matrycy CCD [1]

Jeżeli chodzi o zakres przetwarzanego promieniowania to dla przetworników z układami typu CCD wynika on bezpośrednio z faktu zastosowania krzemu jako podstawowego materiału półprzewodnikowego. Struktury są w stanie odczytać obraz od 300nm (ultrafiolet) do 1300 (bliska podczerwień), maksymalna czułość względna tych struktur przypada na długość fali bliską 750nm. Dla porównania ludzkie oko jest w stanie odczytać obrazy w zakresie od 350nm do 750nm z maksimum przypadającym w okolicach 550nm. Dla lepszego zobrazowania różnic pomiędzy strukturą CCD a ludzkim okiem zamieszczono rys. 2.4. na którym zamieszczono wykres czułości spektralnej omawianych elementów. Aby dostosować „sposób widzenia” kamery CCD do ludzkiego oka stosuje się odpowiednie filtry optyczne.



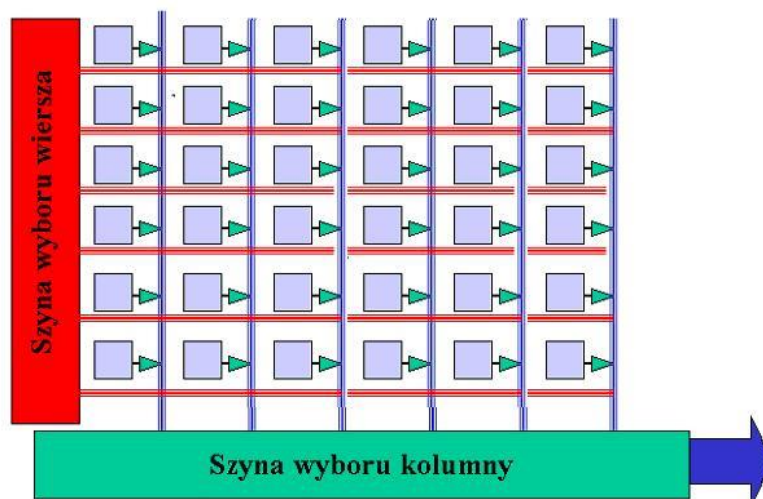
Rys. 2.4. Wykres czułości spektralnej struktury CCD oraz ludzkiego oka [1]

Jak już wspomniano w kamerach CCD światło (sztuczne albo naturalne) odbija się od obiektu fotografowanego, jest odpowiednio ogniskowane i kierowane na strukturę CCD. Jasności obrazu są rejestrowane w postaci tablicy liczb zapamiętywanej w komputerze w celu

umożliwienia dalszego przetwarzania. Odwzorowanie barwy odbywa się za pomocą filtrów umieszczonych między obiektem a kamerą. Niezależnie filtrowane obrazy są później odpowiednio łączone w celu uzyskania obrazu z pełną barwą. Obraz uzyskany w taki sposób jest znacznie łatwiejszy do dalszej obróbki [1].

Matryca CMOS działa na podobnej zasadzie co matryca CCD. Światło padające na kryształ krzemu tworzący piksele 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. 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 wpadające przez obiektyw pada na elementy elektroniki wbudowane w matrycę i nie jest zamieniana na ładunki elektryczne. Istnienie przy każdym pikselu przetwornika ładunek/napięcie powoduje, że współczynnik zamiany ładunku na napięcie jest minimalnie różny dla różnych pikseli. Daje to pewne zróżnicowanie czułości na światło poszczególnych pikseli. Ten mankament może być łatwo skompensowany poprzez wycechowanie matrycy po jej wyprodukowaniu i uwzględnienie różnic między pikselami w programie aparatu cyfrowego. Uproszczony schemat matrycy fotograficznej typu CMOS pokazany jest poniżej.



Rys. 2.4. Budowa matrycy CMOS

Porównując schemat matrycy CMOS ze schematem matrycy CCD widać, że puste powierzchnie między pikselami są znacznie większe w matrycach CMOS. Wynika to z konieczności umieszczenia obok pikseli obwodów przetwarzających ładunek na napięcie zintegrowanych ze wzmacniaczem tego napięcia. Istnienie szyn adresowych wyboru kolumny i wiersza pozwala programowo odczytywać zawartość dowolnych pikseli w dowolnej kolejności. Ułatwia to bardzo tzw. zablokowanie pikseli, czy rejestrowanie zdjęcia na części powierzchni matrycy. W aparatach wyższej klasy montuje się matryce CMOS, chociaż są wyjątki. W specjalnych kamerach używanych np. w astronomii montowane są matryce CCD, jako mające większą czułość i mniejsze szумы, czyli zakłócenia obrazu wynikające z ruchów termicznych atomów i molekuł. W takich aparatach matryce CCD są chłodzone do bardzo niskich temperatur, np. temperatury ciekłego azotu (około -196 C).

Tabela 2. Podstawowe różnice pomiędzy matrycami CCD a CMOS.

CCD	CMOS
Nie można odczytać zawartości pojedynczego piksela. Trzeba odczytać zawartość całej matrycy i potem dopiero wybrać interesujący nas piksel. To powoduje, że ich działanie jest spowolnione.	Można odczytywać zawartość dowolnej liczby pikseli i w dowolnej kolejności, tak jak odczytuje się zawartość pamięci komputerowych. Z tego względu urządzenia działają znacznie szybciej.
Matryca ma jeden przetwornik ładunku na napięcie i jeden przetwornik A/D (napięcie na liczbę). Zawartość wszystkich pikseli jest odczytywana po kolei przez ten układ.	Każdy piksel matrycy CMOS ma swój przetwornik ładunek na napięcie i układ odczytujący zawartości pikseli odczytuje już napięcie wytworzone padającym na ten piksel światłem. W bardzo zaawansowanych matrycach CMOS każdy piksel ma swój przetwornik A/D, co ułatwia i przyspiesza dalszą obróbkę obrazu.
Ze względu na swą budowę matryce CCD pobierają więcej mocy w czasie pracy, bardziej się grzeją i szybciej zużywa się bateria lub akumulator zasilający aparat z tą matrycą.	Zużywają mniej mocy elektrycznej, co pozwala wykonać więcej zdjęć z raz naładowanego akumulatora.
Większy współczynnik wypełnienia, czyli stosunek powierzchni pikseli do powierzchni całej matrycy.	Mniejszy współczynnik wypełnienia, gdyż część powierzchni matrych zajmują obwody przetwarzające ładunek na napięcie.

3. Opis kamery szybkoobrotowej Phantom v5.2

Firma Vision Research to światowy lider w zakresie szybkiej rejestracji obrazu. Początki firmy sięgają 1950 roku, kiedy to pojawiła się na rynku pod nazwą Photographic Analysis i przez pierwsze 42 lata swojego istnienia zajmowała się dostarczaniem szybkich kamer bazujących na klasycznej taśmie. W 1992 roku firma Photographic Analysis zdecydowała się pójść o krok dalej i powołała do życia nowy dział, który miał na celu opracowanie nowej szybkiej kamery, opierającej swoje działanie na elektronice całkowicie wyłączając użycie taśmy. Niniejszy dział po pewnym czasie zaczął samodzielnie funkcjonować na rynku pod nazwą Vision Research. Innowacyjne podejście firmy do cyfrowej rejestracji obrazu zostało szybko dostrzeżone przez Amerykański Urząd Patentowy i opatentowane. Firma Vision Research w chwili obecnej posiada bardzo szeroką ofertę cyfrowych urządzeń do szybkiej rejestracji obrazu o zróżnicowanych parametrach technicznych, mogących sprostać wymaganiom praktycznie każdej aplikacji. Phantom v5.2 to w jedna z najszybszych i najbardziej czułych kamer dostępna na światowym rynku. Bazujące na architekturze wielokrotnie nagradzanego Phantoma v12 urządzenie jest w stanie zarejestrować do 1000 klatek na sekundę przy maksymalnej rozdzielczości wynoszącej 1152 x 896 pikseli. Przy rozdzielczości zredukowanej prędkość rejestracji może sięgnąć nawet 148000 tysięcy klatek na sekundę. Panoramiczny sensor kamery sprawia, że jesteśmy w stanie oglądać szybko poruszające się obiekty w szerszym kadrze. Kamera umożliwia zmianę głębi bitowej sensora za pomocą oprogramowania. Jest w stanie korzystać z głębi równej 8 do 12 bitów. Mniejsza głębia bitowa umożliwia zwiększenie czasów rejestracji oraz zapis danych w mniejszych plikach. Większa głębia gwarantuje natomiast, że na zarejestrowanym obrazie zobaczymy więcej szczegółów.

Tabela 3 Specyfikacja techniczna kamery szybkoklatkowej Phantom v5.2

Typ przetwornika	CMOS	Resolution	Frame rate
Rozmiar czujnika	1.032.192 piksele	1152X806	1000
Rozdzielczość (max)	1152x896	1152X720	1244
Płynne dostrajanie rozdzielczości	Tak, 96x8	1024X512	1886
Szybkość przy pełnej rozdzielczości	1000 klatka/s	768X768	1667
Maksymalna szybkość	148.000 klatka/s	768X512	2480
Czas naświetlania	2 μ s	640X480	2071
Wbudowana pamięć	3GB	512X512	3164
ISO (ISO 12232 Standard)	2400 Mono 600 Kolor	512X256	6220
Segmentacja pamięci	Tak, 16 segmentów	256X256	10362
Głębina piksela	8, 10, 12 bitów	128X128	25000
Gigabitowy Ethernet	Tak	96X32	88888
Wyjścia wideo	PAL, NTSC HD 720p	96X8	148148
Temperatura pracy	10°C do 40°C		

4. Literatura

1. Tadeusiewicz Ryszard, Korohoda Przemysław: *Komputerowa analiza i przetwarzanie obrazów*, Wydawnictwo Fundacji Postępu Komunikacji, Kraków 1997.
2. Nowe kamery szybkie w ofercie Vision Research. Dostępny w internecie: <http://www.ects.pl/?page=PStructure&id=54&aid=95>