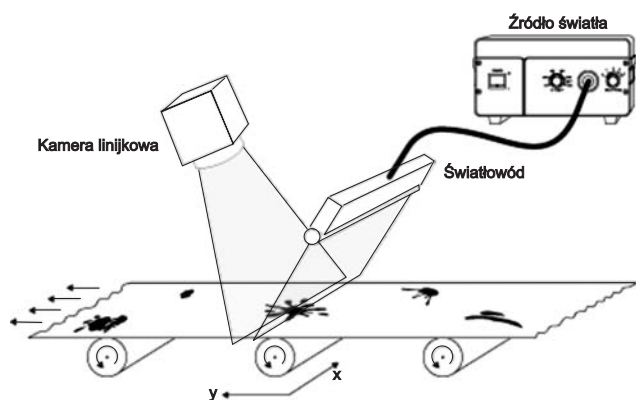


# Wizyjne kamery linijkowe w zastosowaniach przemysłowych

▶ Andrzej Syrczyński

Metody wizyjne są coraz szerzej stosowane w przemyśle, głównie do automatycznej kontroli jakości wytwarzania. Do inspekcji produktów wykorzystuje się częściej cyfrowe kamery matrycowe (powierzchniowe), których podstawowym składnikiem jest matryca elementów światłoczułych, złożona z linii i kolumn. Kamera matrycowa rejestruje i przekazuje do analizy komputerowej obraz dwuwymiarowy. Natomiast kamery linijkowe mają tylko jedną linijkę elementów światłoczułych, a obraz jest składany w komputerze z kolejnych przesłanych linii. Dzięki temu długość obrazu nie jest ograniczona, co pozwala na inspekcję materiałów ciągłych. W artykule przedstawiono główne właściwości kamer linijkowych, dokonano porównania obu rodzajów kamer, wskazano pola zastosowań kamer linijkowych, a także podano przykłady najnowszych rozwiązań obrazujące stan techniki.

**K**amera linijkowa jest cyfrowym urządzeniem wizyjnym zawierającym układ czujnikowy w postaci jednej linijki pikseli, elementy optyczne skupiające obraz i układy interfejsowe. Kamery linijkowe są stosowane przede wszystkim w szeroko rozumianych aplikacjach przemysłowych i służą do zdejmowania obrazu materiału przemieszczającego się w sposób ciągły. Strumień danych wydawany przez kamerę linijkową cechuje się cyklicznym powtarzaniem, z określoną częstotliwością, faz skanowania linijki i faz przerwy. Dane prezentujące jeden wymiar obrazu, czyli odwzorowanie 1D, przychodzące z kamery są zbierane w komputerze, który tworzy obraz dwuwymiarowy 2D. W toku zdejmowania obrazu wartości współrzędnej Y narastają nieograniczenie. Taki niekończący się obraz jest na bieżąco analizowany za pomocą komputerowych metod przetwarzania i analizy obrazów, stworzonych do wizyjnych aplikacji przemysłowych.



Rys. 1. Zasada działania systemu wizyjnego z kamerą linijkową

Podstawową strukturę i zarazem zasadę działania systemu wizyjnej kontroli wytwarzania stosującego kamerę linijkową przedstawiono na rys. 1. System taki składa się z kamery linijkowej, oświetlacza i zasilacza. Korzystne jest dobranie oświetlacza o wąskim kształcie oświetlanego pola, a więc oświetlacza światłowodowego lub lasera liniowego. Najczęściej układ wizyjny jest instalowany nad przenośnikiem transportującym sprawdzany produkt. Celem dokładnego synchronizowania częstotliwości wyzwalania kamery z ruchem produktu, napęd przenośnika jest wyposażony w impulsator lub enkoder.

## Składniki kamer linijkowych

Zewnętrzny wygląd kamer linijkowych jest zbliżony do kamer matrycowych. Widoczne są: metalowa obudowa, obiektyw, złącza zasilania i interfejsowe. Zasadnicza różnica ujawnia się po odkręceniu obiektywu. To pojedyncza linijka elementów światłoczułych zamiast matrycy. Na rys. 2 jest widoczna linijka w otworze służącym do mocowania obiektywu.



Rys. 2. Kamera linijkowa serii Sprint firmy BASLER

Składnikami kamer linijkowych są elementy światłoczułe w postaci linijki pikseli, elektronika odczytu pikseli i zamiany na postać szeregową, wewnętrzny mikrokomputer realizujący wstępne przetwarzanie obrazu oraz zadania wyższych warstw protokołu komunikacyjnego, na koniec układy interfejsu komunikacyjnego, a także obiektyw i obudowa.

W swojej podstawowej wersji, monochromatycznej, kamera linijkowa zawiera tylko jedną linię pikseli. Zależnie od rozdzielczości może zawierać od 512 pikseli do 16 000 pikseli (px). Najbardziej rozpowszechnione

▶ dr inż. Andrzej Syrczyński – Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów, Warszawa

kamery mają linijki złożone odpowiednio z 1 Kpx, 2 Kpx lub 4 Kpx. W kamerach linijkowych obszary światłoczułe pikseli zamontowanych w jednym rzędzie mogą być połączone się ze sobą, zapewniając 100 % pokrycia długości linijki. Składniki konstrukcyjne i elektroniczne elementy pomocnicze, w tym rejestr przesuwany służący do odczytu linii obrazu, są wtedy lokowane po obu stronach obszaru światłoczułego. Natomiast w czujnikach kamer matrycowych pokrycie powierzchniowe sięga co najwyżej 80 %, gdyż obramowania pikseli i elektronika muszą być lokowane pomiędzy pikselami.

**Obiektywy.** Ze względu na stosunkowo niewielkie zapotrzebowanie, nie produkuje się odrębnych typów szkieł i obiektywów do kamer linijkowych, np. o kształcie walcowym z symetrią jednoosiową. Producenci kamer dobierają obiektywy z szerokiego asortymentu dostępnych produktów. Specjalistyczna firma Schäfter+Kirchhoff GmbH z Hamburga przedstawia szeroką ofertę obiektywów i wyposażenia dobranych do kamer linijkowych, szczególnie o dużych rozdzielczościach, wraz z zaleceniami aplikacyjnymi. Oferta obejmuje obiektywy:

- wideo, standardu CCTV, z gwintem C-Mount, przeznaczone do czujników o długości do 15 mm
- fotograficzne 35 mm, z gwintem M40×0,75, przeznaczone do czujników o długości do 40 mm
- skanujące, cechujące się wysoką jakością obrazów, z gwintem M39×1/26", przeznaczone do czujników o długości do 70 mm
- makro o ogniskowych f 75 i f 120, stosowane przy powiększeniach bliskich jedności (od 0,8 do 3), przeznaczone do czujników o długości do 70 mm
- specjalne, np. obiektywy telecentryczne i skanujące o wyjątkowych parametrach.

Zalecane dodatkowe wyposażenia obejmują nakładane mostki blokujące z wkrętami do ustalania nastaw obiek-

tywów, filtry i pierścienie adaptacyjne. Do ekstremalnie dużych i ciężkich zestawów obiektywowych firma Schäfter+Kirchhoff GmbH oferuje konsole montażowe, zapewniające stabilność i odporność na wibracje.

**Obudowy** kamer linijkowych poszczególnych producentów nie różnią się od obudów kamer matrycowych. Zewnętrzne elementy konstrukcyjne to gwintowany otwór obiektywu, złącza zasilania i interfejsów komunikacyjnych oraz otwory mocujące. Tylko nieliczne typy kamer, zawierające wbudowane komputery o większej mocy, mają elementy chłodzące w postaci żebrowania.

**Interfejsy.** Obecnie w przemysłowych kamerach wizyjnych, także linijkowych, konkurują ze sobą dwa rozwiązania interfejsu o wysokiej wydajności. Wcześniejsze rozwiązanie to system Camera Link realizujący bezpośrednie dołączenie kamery do indywidualnego wejścia karty akwizycji obrazu w komputerze, za pomocą współosiowych kabli wizyjnych. Drugie, to rozwiązanie sieciowe GigE Vision, będące pochodną wersją systemu Gigabit Ethernet, specjalizowaną w szczegółach protokołu do zastosowań w technice wizyjnej. Dostawcy podkreślają szereg zalet systemu GigE Vision:

- w konfiguracji systemu wizyjnego eliminowana jest karta akwizycji obrazu
- zapewnia dołączenie do komputera większej liczby kamer
- zasięg jest powiększany do 100 m
- stosowane kable i osprzęt standardu Ethernet są znacznie tańsze niż kable wizyjne.

Te istotne korzyści okupione są bardziej rozbudowanym oprogramowaniem sieciowego protokołu komunikacyjnego, posadowionym w komputerze wewnątrz kamery, co jednak nie jest uciążliwe dla użytkownika.

Zestawienie wartości parametrów kilku kamer wprowadzonych na rynek w latach 2008 i 2009

Producent	Typ	Kolor	Rozdzielczość (piksele)	Częstotliwość powtarzania linii (kHz)	Częstotliwość przesyłu danych (MHz)	Typ interfejsu
BASLER seria Runner	ruL 2098-10gc	color	2098, piksele trójkolorowe	9,2	ok. 230	GigE Vision
BASLER seria Sprint	spL4096 spL8192	mono color	4096 8192	140 70	640	Camera Link
DALSA	Spyder 3	color	2×4096	18	80	Camera Link, GigE Vision
e2v	EliixA®3V	mono	3×4096	54	ok. 240	Camera Link
GOODRICH (SensorsUnlimited)	SUI-LDV	NIR 0,8–1,7 μm; 1,1–2,2 μm	256, 512, 1024	19		Camera Link
Hill Technical Sales Corp.	mono-line color line camera	color	1365 (4096:3)	15	60	Camera Link, GigE Vision*
Toshiba Teli	CLS8000CL	mono color	8160 3×4080	37	80	Camera Link

\* w opracowaniu

## Parametry

Najważniejsze parametry kamer linijkowych to:

- rozdzielczość, czyli liczba pikseli w linijce
- częstotliwość powtarzania linii
- częstotliwość przesyłania danych interfejsem łączącym kamerę z komputerem
- rozdzielczość barw – rozwiązania monochromatyczne i kolorowe
- typ interfejsu.

W tabeli zestawiono wartości wymienionych parametrów dla kilku reprezentatywnych typów kamer, wprowadzonych na rynek w latach 2008 i 2009. Dane te charakteryzują aktualnie najwyższy poziom techniczny kamer linijkowych produkowanych seryjnie do aplikacji przemysłowych. Lepsze parametry mają produkty specjalne, przeznaczone do badań technicznych i celów naukowych. Ekstremalnie częstotliwości powtarzania przekraczają milion linii na sekundę.

W zastosowaniach przemysłowych, szczególnie do kontroli jakości wytwarzania, priorytetem nie jest szybkie zbieranie wielkiej liczby obrazów, do późniejszej długotrwałej analizy przez specjalistów. Zadanie polega na szybkiej komputerowej analizie obrazów kolejnych przedmiotów i automatycznym sprawdzaniu, czy produkt spełnia wszystkie wymagania technologiczne. Dlatego w zastosowaniach przemysłowych ograniczenia wydajności w mniejszym stopniu leżą po stronie kamer, lecz bardziej wiążą się z wydajnością komputerowych programów przetwarzania i analizy obrazów.

## Problemy wyboru między kamerami matrycowymi i linijkowymi

Decydujące znaczenie przy wyborze rodzaju kamer ma dynamika procesów. Z jednej strony trzeba uwzględnić charakter i szybkość ruchu przedmiotu na linii produkcyjnej (względem nieruchomego obiektywu kamery), zaś z drugiej strony przebieg procesów pozyskiwania, przetwarzania i analizy obrazów. Celem wyjaśnienia warto rozważyć różne przypadki.

- (1) Poszczególne egzemplarze produktu są transportowane linią montażową, przy czym na czas operacji technologicznych są zatrzymywane na kolejnych stanowiskach. W takim reżimie pracy kamera wizyjna jest wyzwolana w czasie zatrzymań linii, obrazy są pobierane statycznie, nie występują ograniczenia dynamiczne. Można bez ograniczeń stosować kamery matrycowe, a komputer przetwarza i analizuje obrazy kolejnych egzemplarzy.
- (2) Produkt ciągle, traktowany jako niekończący się, jest wytwarzany i transportowany na linii bez zatrzymywania. W tym przypadku można zdejmować kolejne obrazy kamerą matrycową, jednak by zapewnić ciągłość kontroli, kolejne obrazy musiałyby się czę-



Rys. 3. Kamera linijkowa EliiXA 3V

ściowo pokrywać. Zmniejsza to wydajność systemu oraz komplikuje oprogramowanie analizujące obrazy, w sytuacjach gdy trzeba kwalifikować wady materiału pojawiające się na granicy kolejnych obrazów. Dlatego przy produktach ciągłych preferowane jest użycie kamer linijkowych, które pracują w sposób ciągły, nie wyróżniając granic obrazów. W komputerze jest odtwarzany ciągły charakter materiału, a analiza wady rozpoczyna się natychmiast w momencie wykrycia jej początku i nie jest utrudniana granicami obrazu.

- (3) Do przypadków pośrednich należy między innymi kontrola długich, ale nie ciągłych produktów, np. długości kilku metrów. Jeżeli jest konieczna kontrola określonych cech na całej długości przedmiotu, to korzystne jest użycie kamery linijkowej. Przykładem może być kontrola powierzchni płyt meblowych. Natomiast, jeżeli mają być kontrolowane tylko wyróżnione fragmenty, to preferowana będzie kamera matrycowa, wyzwalana kilkukrotnie we wskazanych miejscach przedmiotu. Nierzadko instaluje się szereg kamer matrycowych, gdy trzeba indywidualnie dobrać pozycje i ustawienia kątowe poszczególnych kamer.

Na wybór rodzaju kamery ma wpływ szereg dalszych czynników. Należą tu możliwości skanowania obu typów kamer, bowiem różnią się kształtem czujnika i sposobem rejestrowania obrazu. Kamera linijkowa może rejestrować obrazy określonej szerokości i nieskończonej długości, natomiast matrycowa zdejmuje obrazy o określonej rozdzielczości w każdym z obu kierunków. Oba typy różnią się także czasem ekspozycji. W kamerach linijkowych linie są pobierane kolejno, co powoduje, że czas ekspozycji jest bardzo krótki. Na przykład, aby pobrać 1000 linii w ciągu 100 ms, czas ekspozycji pojedynczej linii nie może przekroczyć wartości 100  $\mu$ s. Natomiast w kamerze z matrycą 1000  $\times$  1024 pikseli można wykorzystać cały czas, w tym przykładzie 100 ms, na ekspozycję pełnego obrazu. W rezultacie piksele kamery linijkowej muszą być znacznie czulsze niż w kamerze matrycowej lub/i odpowiednio większe musi być natężenie światła.

## Preferencje aplikacyjne kamer matrycowych

Kamery matrycowe są o wiele bardziej rozpowszechnione niż linijkowe. Znajdują zastosowanie w większości aplikacji wizyjnych, szczególnie gdy obiekt jest nieruchomy i można pobrać gotowy, pełny obraz do dalszej analizy. Są powszechnie stosowane w widzeniu maszynowym (ang. *machine vision*), inteligentnych systemach kontroli ruchu drogowego, systemach bezpieczeństwa, medycynie, rozpoznawaniu twarzy i wielu innych.

Ich zalety w stosunku do kamer linijkowych to niższy koszt, łatwiejsza instalacja, mniejsze problemy techniczne przy uruchamianiu i w toku eksploatacji. Ponadto kamery matrycowe działają szybciej. Najszybsze z nich mogą zdjąć obraz 2D nawet w ciągu kilku dziesiątych

mikrosekundy, podczas gdy kamera linijkowa buduje obraz stopniowo, podczas ruchu produktu.

## Zalety kamer linijkowych

Kamery linijkowe są preferowane przy bardzo dużych prędkościach i wymaganej wielkiej rozdzielczości obrazów. Takie wymagania występują przy kontroli materiałów wytwarzanych w procesach ciągłych. W toku kontroli kamery linijkowe nieprzerwanie skanują i wysyłają do komputera informację kolejnymi przesyłkami, z których każda zawiera wartość cyfrową pikseli ustawionych w jednej linii prostopadłej do kierunku ruchu materiału. Ponieważ kamery te zawierają tylko jedną linijkę pikseli, to względnie ekonomiczne nie stoją na przeszkodzie znacznemu powiększaniu długości linijki. Rozdzielczości sięgają 12 Kpx, nawet 16 Kpx, czyli wartości nieosiągalnych w kamerach matrycowych.

Przy inspekcji przedmiotów pozostających w ruchu kamery linijkowe w porównaniu z kamerami matrycowymi mają jeszcze inne zalety. Ponieważ obraz jest tworzony z linijek zdejmowanych w projekcji prostopadłej, to zmniejszane są zniekształcenia kątowe. Także wpływ innych zniekształceń optycznych zmniejsza się. Pozwala to pozycjonować kamerę pod kątem innym niż 90° do powierzchni produktu, co zwiększa możliwości kontroli powierzchni i właściwości metrologiczne.

## Dalsze kwestie związane z wyborem

Wybór rodzaju kamery jest zwykle oczywisty, jednak w części przypadków wyboru musi dokonać projektant systemu, bowiem niezależnie od omawianych różnic, w wielu sytuacjach można zastosować kamery linijkowe lub matrycowe. Wtedy czynnikami decydującymi o wyborze mogą być: możliwość zapewnienia odpowiedniego oświetlenia, koszty układu wyzwalania kamery, wreszcie poziom służb utrzymania ruchu, ponieważ systemy z kamerami linijkowymi są trudniejsze zarówno w fazie uruchamiania, jak i utrzymania.

Znane są też przykłady zastosowań wykorzystujących oba typy kamer. Przy kontroli szkła podłoże może być skanowane kamerą linijkową z dużą szybkością. Jeżeli zostanie wykryty defekt mikroskopowy, to kamera matrycowa z obiektywem mikroskopowym może zostać automatycznie przesunięta do tego obszaru, żeby uzyskać obrazy z wysoką rozdzielczością i bardzo szczegółową informacją o wadach. Inny przykład to zastosowanie kamery linijkowej do szybkiej kontroli płytek drukowanych bez elementów, a następnie sprawdzanie pakietów z polutowanymi elementami kamerą matrycową, w reżimie *start-stopowym*.

## Integracja systemów wizyjnych z kamerami linijkowymi

Poszczególne fazy budowania systemu wizyjnego z kamerą wizyjną są trudniejsze i bardziej złożone niż ma to miejsce przy wykorzystaniu kamery matrycowej. Pierw-

szy problem wiąże się z wyzwalaniem kamery. Kamera matrycowa jest często wyzwalana prostym czujnikiem wykrywającym pojawienie się przedmiotu. Natomiast kamera linijkowa wymaga synchronizacji momentów wyzwalania kamery, w celu rejestracji każdej linijki, z ruchem produktu podlegającego inspekcji. Brak dokładnej synchronizacji będzie powodował rozciągnięcie lub zagęszczenie fragmentów obrazu. Rozwiązaniem jest zainstalowanie enkodera wraz z elektroniką towarzyszącą, tworzącą ciąg impulsów wyzwalających kamerę. Komplikuje to zarówno instalację, jak i eksploatację.

Drugi krytyczny czynnik występuje przy dużych prędkościach ruchu obiektu. Wtedy czas ekspozycji musi być bardzo krótki i w konsekwencji wynikają trudności z uzyskaniem bardzo wysokiego natężenia strumienia światła, jak i równomierności oświetlenia na całej szerokości przedmiotu. Zachodzi potrzeba stosowania źródeł o najwyższej intensywności, a więc oświetlaczy światłowodowych dużych mocy i laserów liniowych. Lasery są często ustawiane pod określonym kątem do powierzchni. Aby ograniczyć moc pobieraną przez zasilacze i linie oświetlające, stosuje się pracę impulsową. Ze względu na powyższe trudności, w literaturze przedmiotowej spotyka się zalecenie, by prace projektowe nad systemami wizyjnymi, szczególnie z kamerami linijkowymi, rozpoczynać od rozwiązania sprawy oświetlenia.

Kamery linijkowe mogą zdejmować obraz bardzo szybko i z dużą rozdzielczością. Dlatego szybkość transmisji danych obrazowych na wyjściu kamery może sięgać kilkuset megabajtów na sekundę. Operowanie tak znacznymi strumieniami danych wymaga odpowiednio wydajnych systemów komputerowych.

Kolejną istotną trudnością przy doborze elementów i uruchamianiu systemów z kamerami linijkowymi jest fakt, że integrator nie widzi obrazu przed skompletowaniem całości systemu, łącznie z przenośnikiem i poruszającym się na nim materiałem. Konieczne jest spore doświadczenie, by poprawnie dobrać i zgrać ze sobą parametry i ustawienia kamery, obiektywu, systemu oświetlenia, a także synchronizacji wyzwalania z szybkością napędu.

## Zestawienie obszarów zastosowań kamer linijkowych

Poniżej zebrano możliwie szeroko sfery aplikacji kamer linijkowych na podstawie danych zawartych w specjalizowanych czasopismach i materiałów promocyjnych wiodących firm.

- Najbardziej typowe i częste zastosowania dotyczą inspekcji materiałów ciągłych, jak wykrywanie wad tafli szkła, wstęg papieru, blach, folii metalowych i plastikowych, materiałów włókienniczych. Zadaniem kontroli jest wykrywanie nieciągłości powierzchni (dziur), nierówności (wybrzuszeń, zagięć), wad krawędzi, wad wewnętrznych (np. ciał obcych, pęcherzy). Często kontroluje się jakość powierzchni, w tym obecność rys lub zatarć. Przy dużych szerokościach materiału, np. tafli w hucie szkła

o szerokości do 6 m, zachodzi konieczność instalowania wielu kamer, mocowanych na jednej szynie, prostopadłej do kierunku ruchu materiału. Do kontroli materiałów przezroczystych urządzenia oświetlające instaluje się po przeciwnej stronie w stosunku do kamer.

- Kamery linijkowe wykorzystuje się do inspekcji produktów nieciągłych, ale o znacznej długości, rzędu kilku metrów. W ten sposób sprawdza się jakość powierzchni rur, wałów, płyt meblowych, arkuszy różnych materiałów, także po operacjach wykańczających, jak lakierowanie, nanoszenie nadruków.
- Kontrolę materiałów sypkich, np. zbóż, cukru, produktów młynarskich itp. wykonuje się wizyjnie na przenośnikach, monitorując cienkie warstwy produktu. Zadaniem kontroli jest stwierdzenie jednorodności produktu i braku ciał obcych bądź zanieczyszczeń.
- Kamery linijkowe stosowane są do pomiarów materiałów o nieregularnych kształtach. Typową grupą zastosowań jest obmiar kłód drewna, pryzm i desek, w celu komputerowej optymalizacji dalszego rozkroju oraz kwalifikowania do klas wymiarowych. Te same kamery linijkowe mogą być wykorzystywane do detekcji wad widocznych na przekroju, np. wykrywania sęków czy pęknięć przekraczających określone wymiary.
- Podobne zastosowania funkcjonalne są do inspekcji produktów pochodzenia biologicznego, przesuwających się na taśmie, traktowanych przez linijkowy system wizyjny jak niekończący się ciąg. Selekcjonowanymi produktami mogą być kwiaty, tusze mięsne, ryby. Jeżeli dodatkowo oświetlacze laserowe rzutują poprzeczną linię otaczającą przedmiot, to system wizyjny może określać jednakowe objętości (i masy) kolejnych porcji, i wyznaczać kolejne miejsca, w których tusze zostaną pocięte.
- Przy zastosowaniu kamer linijkowych z czujnikami bliskiej podczerwieni (NIR) można kontrolować, mierzyć i kwalifikować gorące przedmioty w toku procesów technologicznych, bez oczekiwania na ochłodzenie. Dotyczy to technologii kształtowania przez kucie oraz kwalifikacji odlewów.
- Kontrola druku w szybkich maszynach drukarskich, jak też kontrola zgodności położenia kolorów przy druku wielobarwnym wymagają urządzeń wizyjnych o najlepszych parametrach, szczególnie dużej szybkości pobierania obrazów i przetwarzania danych. Podobnie wymagające są aplikacje bankowe, obejmujące m.in. bardzo szybkie skanowanie banknotów i czeków.
- Kolejna grupa zaawansowanych aplikacji to rozdzielnie pocztowe. W maszynach sortujących zdejmowane są obrazy kopert przemieszczanych z prędkościami ponad 3 m/s. Do identyfikacji i selekcji paczek budowane są systemy z kamerami linijkowymi, zdolne skanować jednocześnie sześć ścian paczek, o dowolnych wymiarach. Następnie system odczytuje z utworzonych obrazów 2D teksty adresów lub wartości kodów. Dodatkowo obrazy są odtwarzane na monitorach ekranowych, celem podejmowania decyzji przez operatorów.

## Nowe rozwiązania i tendencje rozwojowe

Na przestrzeni kilkunastu lat zachodził stały proces doskonalenia obu grup kamer – zarówno matrycowych jak i linijkowych. Na przykład stale rośnie efektywność sensorów, wyrażana stosunkiem liczby wyzwanych elektronów do liczby padających fotonów. Elementy składowe czujników – piksele – podlegały miniaturyzacji. Wielokrotnie rosła rozdzielczość i szybkość działania kamer. Skuteczność sensorów podwyższają m.in. mikrosoczewki mocowane do pikseli. Zwiększają one współczynnik wypełnienia powierzchni.

Początkowo kamery linijkowe znajdowały zastosowanie do wykrywania wad produktów ciągłych, do czego wystarczały kamery monochromatyczne. Obecnie wiele zaawansowanych aplikacji, np. kontrola dokumentów czy selekcja kwiatów, wymagają wierne odtwarzania barw. Poszczególne firmy opracowały różne rozwiązania problemu.

Jedno z nich polega na umieszczeniu w pojedynczej długiej linijce potrójnej liczby pikseli i nadaniu pikselom czułości na odpowiednie barwy za pomocą subminiaturywnych filtrów. Rozwiązanie takie, przedstawione na rys. 4, stosuje firma Hill Technical, uznając je za najkorzystniejsze technicznie i tańsze.

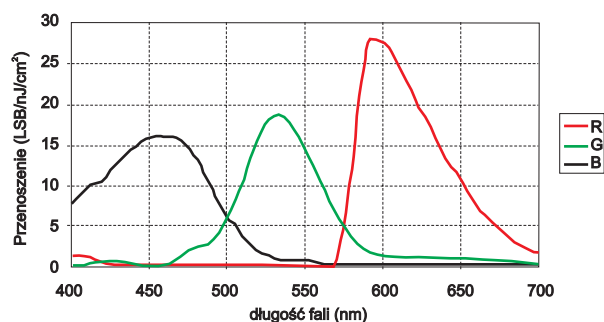


Rys. 4. Sekwencje kolorowych pikseli w linijce

W kamerze tej firmy jest zainstalowana linijka czujnika o długości 4095 pikseli. Na listwę pikseli jest nałożona listwa filtrów typu BG38. Cyfrowy sygnał wyjściowy może być interpretowany bądź jako 1365 trójkolorowych pikseli o rastrze 30 mm, lub też jako 4095 pojedynczych pikseli o różnych kolorach. W tym drugim przypadku dzięki interpolacji uzyskuje się raster wysokiej precyzji równy 10 mm.

Podobne rozwiązanie zastosowała firma Toshiba Teli w jej najbardziej zaawansowanej kamerze typu CLS8000CL. Wyróżnia się linijką zawierającą aż 12 Kpx. Może jednocześnie wydawać informacje jako kamera kolorowa w konfiguracji 3 × 4083 piksele przy 8-bitowym kodowaniu pikseli lub jako kamera monochromatyczna z jedną linijką długości 8160 pikseli, przy kodowaniu pikseli 8/10 bitów. Piksele pracują z częstotliwością 80 MHz, zapewniając przy tym powtarzalność linii 37 kHz zarówno dla prezentacji kolorowej RGB jak i monochromatycznej. Kamera stosuje na wyjściu szybki interfejs Camera Link, kompatybilny ze standardowymi kablami i modułami akwizycji danych. Według producenta preferowane zastosowania to aplikacje o najwyższych szybkościach, jak inspekcja taśm przy produkcji papieru, szkła, tkanin itp., analizy obiektów wirujących i przesuwających się, rozpoznawanie i detekcja kodów kreskowych 2D, OCR, szybka kontrola pakietów elektronicznych.

Inne rozwiązania wprowadziła firma BASLER, również należąca do światowej czołówki. W serii Runner



Rys. 5. Charakterystyki filtra BG 38

wprowadzono kamerę linijkową ruL2098-10gc z czujnikiem kolorowym, złożonym z trzech niezależnych linii pikseli CCD, każda o długości 2098 pikseli. Trzy linijki są zamontowane równolegle. Precyzyjny pryzmat zamocowany nad sensorami rozdziela długości fal i kieruje barwy składowe na odpowiednie rzędy pikseli, nadając im funkcje detekcji barw R, G, B. Powtarzalność skanowania linii wynosi 9,2 kHz. Wprowadzono nowy interfejs sieciowy GigE Vision, a do obsługi programowej zainstalowano firmowe oprogramowanie sieciowe Pylon.

Do najszybszych kamer linijkowych należy produkt o symbolu **sprint 8k** firmy BASLER. Przy rozdzielczości 8192 pikseli zapewnia szybkość powtarzania linii 70 kHz. Natomiast warianty kolorowe kamer **2k**, **4k**, **8k** serii **sprint** stosują sensory CMOS w konfiguracji podwójnej linijki. Wykorzystano w nich filtr Bayer, który pozwala wybrać jeden z kilku wariantów obserwacji i przesyłu informacji o kolorach.

Kamery zyskały więcej inteligencji, często wprowadza się wstępną obróbkę obrazów w kamerze, także w celu synchronizacji pracy systemów wielokamerowych i odtwarzania przestrzennego 3D. Wprowadzenie sieciowych protokołów komunikacyjnych również zmieniło technologię działania kamer i powiększyło ich funkcjonalność, w tym znacznie ułatwiło integrację systemów wielokamerowych.

Specjaliści uważają, że zakresy aplikacji obu typów kamer będą nadal się rozszerzały. Przykładowo rozwój produkcji paneli baterii słonecznych pociągnie za sobą znaczne zapotrzebowanie na kamery linijkowe. Z drugiej strony szybki rozwój techniczny kamer matrycowych umożliwi ich wejście na niektóre obszary aplikacji dotychczas zajęte przez kamery linijkowe, głównie dzięki wielkiej szybkości i rosnącej rozdzielczości. Panuje pogląd, że ze względu na łatwiejsze wprowadzanie, liczbowa przewagę będą miały nadal kamery matrycowe.

## Podsumowanie:

- Kamery matrycowe utrzymają przewagę ilościową, między innymi dzięki prostszej budowie systemów, łatwiejszemu konfigurowaniu przez integratorów i użytkowników, tańszej i szybszej instalacji oraz uruchamianiu.
- Kamery linijkowe pozostaną bezkonkurencyjne dla większych prędkości i inspekcji materiałów ciągłych.