

Kamera cyfrowa w urządzeniach mikroprocesorowych (1)

Wielu Czytelników konstruujących urządzenia oparte na mikrokontrolerach zapewne dołącza do nich wyświetlacze LCD, nieraz kolorowe, o coraz wyższych rozdzielczościach i coraz lepszych parametrach.

Ten temat był już nieraz poruszany. A gdyby tak umożliwić układowi odczyt obrazu? Niniejszy artykuł stanowi skrótowe omówienie sposobu wykorzystania sensorów obrazu w urządzeniach mikroprocesorowych. Jako konkretny przykład sensora obrazu wybrałem moduł kamery cyfrowej PO2030N (fotografia otwierająca artykuł) firmy Pixelplus. Sensory obrazu podobne do omawianego w artykule znajdują się w wielu telefonach komórkowych wyposażonych w funkcje aparatu fotograficznego lub kamery. Moduły z telefonów są o wiele tańsze niż PO2030N (można je kupić jako część serwisową), lecz mogą wystąpić problemy ze zdobyciem odpowiedniej dokumentacji.

Moduły kamer typowo wyposażone są we wszystkie bloki funkcjonalne potrzebne do odczytu obrazu, jego wstępnej obróbki i przekształcenia na sygnał cyfrowy: począwszy od układu optycznego i sensora obrazu CMOS, przez przetworniki A/C, na interfejsie cyfrowym skończywszy.

Sygnal z kamery cyfrowej

Sygnal z sensorów obrazu przypomina sygnał sterujący kolorową matrycą LCD –

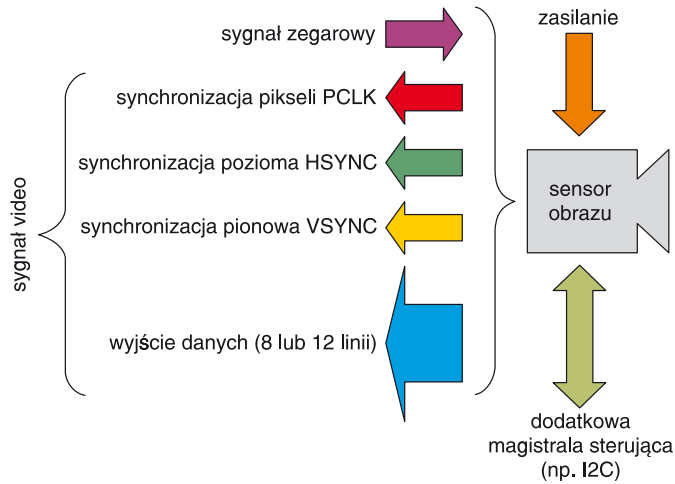
oczywiście główna różnica tkwi w kierunku przepływu danych. Z racji dość dużych ilości informacji przetwarzanych przez sensory obrazu, dane wysyłane są z nich równoległe przez 8- lub 12-bitową magistralę (rys. 1). W jednym „słowie” wysłanym przez kamerę, w zależności od typu sensora obrazu i jego ustawień, może być zawarta informacja np. o:

– jednym całym pikselu (np. w trybie skali szarości, *grayscale*),

– jednej składowej kolorystycznej (np. samym komponentem czerwonym lub samej luminancji),

– „połowie piksela” (np. w pierwszym słowie bity 8:0 to komponent czerwony, a 11:9 to najstarsze bity komponentu zielonego).

Dane z kolejnych słów tworzą informację o pełnych pikselach (typowo 1...3 słowa na piksel) oraz o całym obrazie. Kolejne słowa synchronizowane są sygnałem, który często oznacza się akronimem **PCK** lub **PCLK**



Rys. 1.

(lub innym podobnym) oznaczającym *Pixel Clock*. Sygnal ten generowany jest przez moduł sensora obrazu, a jego częstotliwość zależy od częstotliwości taktowania modułu kamery i od jej aktualnych ustawień.

Obraz z sensora wysyłany jest liniami, czyli seriami pikseli, ułożonych **poziomo** od jednej krawędzi obrazu do drugiej. Rozpoczęcie i zakończenie wysyłania linii obrazu sygnalizowane jest aktywnością sygnału **synchronizacji poziomej**, nazywanego najczęściej **HSYNC** od *Horizontal Synchronization*. W podstawowej konfiguracji popularnych sensorów obrazu sygnał HSYNC zmienia swoją wartość z „0” na „1”, informując o rozpoczęciu wysyłania danych stanowiących kolejną linię.

Aby układ odczytujący obraz wiedział, która linia jest pierwsza (kiedy rozpoczyna się wysyłanie nowego obrazu), sensor obrazu wysyła także sygnał **synchronizacji pionowej**, nazywany **VSYNC** od *Vertical Synchronization*. VSYNC typowo zmienia swoją wartość z „0” na „1” przed rozpoczęciem wysyłania danych stanowiących pierwszą linię obrazu. Sytuacja przedstawiona została na **rys. 2**.

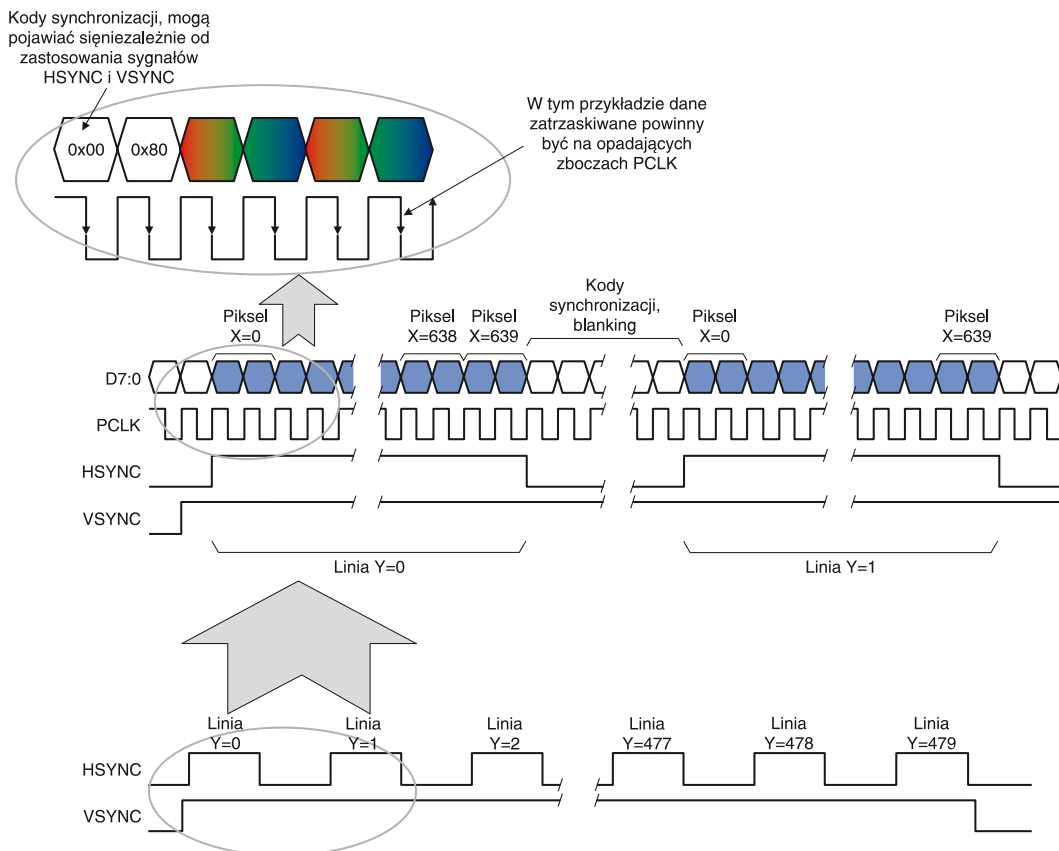
W omówionym wyżej sposobie przesyłania danych, moduł kamery informuje układ odbierający dane o rozpoczęciu i zakończeniu wysyłania linii bądź obrazu za pomocą sprzętowych linii HSYNC i VSYNC. Istnieje także możliwość uzyskania synchronizacji pionowej i poziomej za pomocą specjalnych kodów wysyłanych przez sen-

sor obrazu. Kody te nazywane są **SAV** (*Start of Active Video*, start aktywnego obszaru wideo) oraz **EAV** (*End of Active Video*, koniec aktywnego obszaru wideo). Sygnał SAV to po prostu liczba `0xFF000080` wysyłana na liniach danych sensora. Natomiast EAV to liczba `0xFF00009D`. Układ cyfrowy odbierający dane z kamery wykrywa te liczby, przez co można zrezygnować z linii HSYNC i VSYNC. Kiedy nie jest transmitowany żaden sygnał wideo (pomiędzy liniami, przed rozpoczęciem i po zakończeniu transmitowania całego obrazu) kamera powinna wysyłać sygnał *blanking* (brak obrazu) składający się na zmianę z kodów `0x80` i `0x10`.

Zauważmy, że oba sposoby synchronizacji (sprzętowy oraz za pomocą kodów) nie kolidują ze sobą, ponieważ sensor obrazu może wysyłać zarówno sygnały SAV i EAV, jak i odpowiednio ustawiać linie HSYNC i VSYNC. W takim przypadku dla sensora nie jest istotne, które sygnały interpretowane będą przez układ odczytujący obraz (np. mikrokontroler lub układ FPGA). Oprócz tego w takich sensorach jak omówiony dalej PO2030N istnieje możliwość elastycznej konfiguracji zachowania linii synchronizacyjnych (aktywne poziomy, sposoby sygnalizacji).

Krótką charakterystyka sensora obrazu PO2030N

Sensor obrazu PO2030N jest dość prosty w obsłudze. Użytkownik ma jedynie odpowiednio podłączyć zasilanie oraz sygnał



Rys. 2.

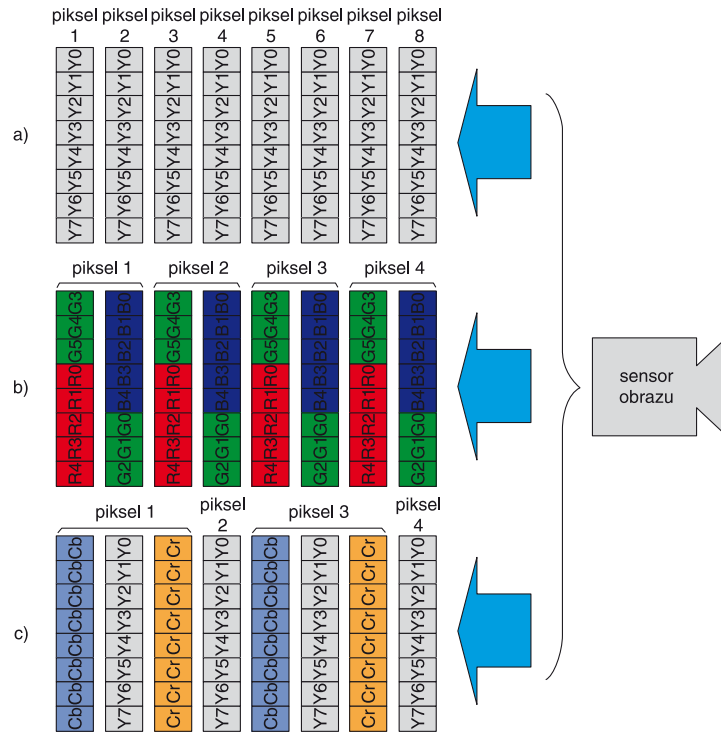
zegarowy, a w zamian otrzyma sygnał wideo podobny do omówionego wyżej. Co ciekawe, sensor ten po włączeniu zasilania od razu wysła dane, nawet bez konieczności inicjalizacji. Oczywiście nic nie stoi na przeszkodzie, aby wykonać dodatkową konfigurację modułu kamery w celu uzyskania parametrów dopasowanych do własnych potrzeb.

Parametry obrazu. PO2030N pracuje z domyślną rozdzielczością wynoszącą 640 (X) na 480 (Y) pikseli. Nie jest to może oszałamiająca wartość (VGA), lecz mimo wszystko powinna wystarczyć do wielu zastosowań, a na pewno do pierwszych eksperymentów. Głębina koloru (liczba bitów na piksel) zależy od wybranego formatu danych wyjściowych. Łatwa do uzyskania jest głębina 16-bitowa przy formacie wyjściowym RGB565. Moduł kamery PO2030N ma możliwość pracy zarówno w trybie rejestracji obrazów ruchomych (wideo), jak i nieruchomych (*still image*). Domyślnym trybem pracy jest tryb video, w którym kamera wysyła dane klatka po klatce. Maksymalna deklarowana przez producenta liczba klatek na sekundę wynosi 30. Za pomocą PO2030 istnieje także możliwość „robienia zdjęć” (*still image capture*).

Efekty. PO2030N oraz inne podobne sensory tej samej firmy mają możliwość wykonywania prostych operacji przetwarzania obrazu. Z podstawowych efektów mamy do dyspozycji m.in.: możliwość ustawiania nasycenia składowych kolorystycznych, regulację czasu naświetlania matrycy, redukcję efektu migotania wywołanego zakłóceniami sieciowymi czy korekcję gamma. Można także uzyskać bardziej zaawansowane efekty, takie jak: wyostrenie krawędzi, automatyczną regulację balansu bieli, generowanie obrazu w kolorze sepii, przeliczanie różnych standardów wyświetlania obrazu (kamera może generować zarówno sygnał RGB przydatny w wyświetlaniu obrazu, jak i YCbCr przydatny w przetwarzaniu i kodowaniu obrazu).

Formaty danych wyjściowych. Jako 3 najbardziej typowe formaty danych wideo można wymienić:

- Dane czarno-białe, a dokładniej dane w skali szarości (sam tzw. sygnał luminancji oznaczany jako Y). Jedno słowo wyjściowe kamery zawierać może typowo informacje o jednym pikselu (rys. 3a).
- Dane w formacie RGB. Ten rodzaj kodowania chyba najłatwiej jest wyobrazić sobie intuicyjnie. Każdy piksel tworzony jest z trzech składowych: koloru czerwonego (R), zielonego (G) i niebieskiego (B). Intensywności składowych R, G i B decydują o ostatecznym kolorze piksela. Jednym z możliwych do uzyskania rodzajów kodowania RGB jest format o nazwie RGB565. RGB565 oznacza, że kolor czerwony (R) i niebieski (B) kodowane



Rys. 3.

będą na 5 bitach, natomiast kolor zielony (G) kodowany będzie na 6 bitach. Z racji, że kamera PO2030N ma interfejs 8-bitowy, dane w formacie RGB565 transmitowane mogą być w następujący sposób: w pierwszym słowie kodowana jest cała zawartość składowej R i najstarsze bity G, natomiast w drugim słowie kodowane są młodsze bity G i cała zawartość B (rys. 3 b). Możliwe są także inne kombinacje ułożenia składowych R, G i B w słowach wyjściowych kamery.

- Dane w formacie YCbCr. W tym formacie sygnał reprezentowany jest przez 3 składowe: luminancję (jasność piksela oznaczaną Y), składową chrominancji Cb będącą różnicą pomiędzy luminancją a zawartością koloru niebieskiego oraz składową chrominancji Cr będącą różnicą pomiędzy składową luminancji a zawartością koloru czerwonego. Standardu YCbCr używa się w przesyłaniu, przechowywaniu i kompresji obrazów. Przykład kodowania sygnału YCbCr znajdziemy na rys. 3 c. Zauważmy, że w sygnale wyjściowym składowa luminancji Y pojawia się dla każdego piksela osobno. Jest ona najlepiej rozróżniana przez wzrok człowieka. Natomiast składowe różnic chrominancji (Cb i Cr) pojawiają się tak, jakby dla „co drugiego” piksela. Nie wysyłając sygnału Cb i Cr każdego piksela, oszczędza się na ilości danych, lecz oszczędność ta nie jest wyraźnie zauważalna dla ludzkiego oka. „Brakujące” składowe można odtworzyć programowo lub sprzętowo na podstawie sąsiednich pikseli.

Wymienione tutaj formaty danych nie wyczerpują wszystkich możliwości typowych

sensorów obrazu i są jedynie przykładami formatów podstawowych. Więcej na temat formatów danych znajdziemy w nocie katalogowej wybranego sensora obrazu.

Wymiary. Dużą zaletą modułu PO2030N są jego niewielkie rozmiary, ok. 6 x 7 mm. Interfejs elektryczny wyprowadzony jest na elastycznej taśmie z obwodem drukowanym zakończonej miniaturowym, 20-pinowym złączem o rastrze wyprowadzeń ok. 0,4 mm. Zazwyczaj do kamery można dokupić lub otrzymać pasujące do niego, dość nietypowe złącze.

Interfejs elektryczny. Kamera cyfrowa ma wyprowadzenia sygnałów, które można zgrupować w następujące 4 kategorie: zasilanie, reset, transmisja obrazu, magistrala sterująca. Do zasilania kamery PO2030N potrzebne jest nietypowe, dość niskie napięcie. Zarówno cyfrową, jak i analogową część sensora obrazu trzeba zasilac napięciem wynoszącym 2,5 V (napięcie to podajemy na wyprowadzenia AVDD i DVDD). Wejścia i wyjścia cyfrowe, czyli magistrala wideo i magistrala sterująca, akceptują poziomy napięcie w zakresie 2,5...3,1 V. Napięcie interfejsów cyfrowych ustalane jest na „nóżce” o nazwie HVDD. Do sterowania pracą kamery przeznaczona jest typowa magistrala I²C. Za jej pomocą można zapisywać i odczytywać wartości z rejestrów wewnętrznych kamery, przez co także zmieniać jej ustawienia.

Chciałbym zwrócić uwagę Czytelników na fakt, że nota katalogowa kamery PO2030N zawiera przede wszystkim informacje o sensorze obrazu (układzie scalonym) stanowiącym główny element kamery. Jednak prawdopodobnie z przyczyn praktycznych nie wszystkie „nóżki” (właściwie kulki) układu scalonego sensora obrazu zostały wyprowa-

dzony na złącze kamery. Na zewnętrznym 20-pinowym złączu brakuje m.in. najstarszych bitów 12-bitowej magistrali danych sygnału wideo, przez co magistrala staje się tylko 8-bitowa (wystawione są jedynie sygnały D7...D0). Oznacza to, że nie będziemy mogli korzystać z wszystkich możliwych formatów przesyłania danych (np. format RGB888 wymaga magistrali 12-bitowej).

Co zrobić z odebranymi danymi?

Dane pojawiające się na wyjściu sensora obrazu nie są trudne do odebrania. Wystarczy jedynie na odpowiednim zboczku sygnału PCLK odczytywać stan linii synchronizujących oraz magistralę danych. Odczytane dane można umieszczać w pamięci operacyjnej. Mimo że odczyt danych jest dość prosty, pojawia się pewien problem z ilością danych. Aby uzyskać wartościowy obraz (o rozsądnej

rozdzielczości i głębi koloru), trzeba odczytać i przechować w pamięci dużą ilość danych. Niestety „małe mikrokontrolery” (nawet te z popularnym rdzeniem ARM7TDMI) mogą sobie z tym zadaniem nie poradzić w rozsądnym czasie oraz prawdopodobnie wystąpi problem z ilością ich wewnętrznej pamięci operacyjnej. Na tym etapie zaczynają się schody. Do mikrokontrolera należałoby dołączyć zewnętrzną pamięć RAM, by dało się przechować cały odczytany obraz. Dla umożliwienia szybszego odczytu obrazu przydałoby się sprzętowe wspomaganie odczytu danych (by nie używać uniwersalnych wejść/wyjść cyfrowych, lecz interfejsu zdolnego do transferów DMA). Tutaj przychodzi z pomocą logika programowalna lub... dedykowane kontrolery kamer cyfrowych wbudowane w mikrokontrolery – lecz o tym będzie mowa w drugiej części kursu.

Nie tylko PO2030N

Jeśli w momencie publikacji artykułu PO2030N nie będzie dostępny, to nie musi oznaczać tragedii (został on opisany dlatego, że akurat można go było kupić). Zazwyczaj brak dostępności jednego modułu oznacza możliwość zakupu innego, często nawet nowocześniejszego (lepsze parametry, więcej efektów). Jeśli kupujemy sensor jako część elektroniczną, a nie np. część serwisową do telefonu, możemy także bez trudu znaleźć w Internecie jego dokumentację. Moduły kamer są do siebie bardzo podobne, jeśli chodzi o ich interfejs sygnału wideo. Dlatego mając rozeznanie w jednym przykładowym sensorze, nie powinniśmy być zaskoczeni przeglądając dokumentację innych modułów, nawet niekoniecznie tego samego producenta.

Robert Brzoza-Woch
rabw@poczta.fm

R E K L A M M A

Wstęp do Klubu AVT

AUDIO

Elektronik
MAGAZYN ELEKTRONIKI PROFESJONALNEJ

świat
radio
Krótkofalarstwo CB telekomunikacja
MAGAZYN WSZYSTKICH UŻYTKOWNIKÓW ETB

ELEKTRONIKA
PRAKTYCZNA

pa automatyka
podzespoły aplikacje

Gitarzysta
MAGAZYN FANÓW GITAR

budujemy
Dom

Perkusista
uderzamy w punkt

LIVE SOUND

młody
technik

ELEKTRONIKA
dla wszystkich

ESTRADA
STUDIO

Prenumerujesz więcej niż jedno z powyższych pism?

To znaczy, że jesteś już Członkiem Klubu AVT uprawnionym do comiesięcznego zamawiania bezpłatnych egzemplarzy naszych czasopism, wydanych przed 2 miesiącami.

Jeśli prenumerujesz n czasopism, możesz zamówić $n-1$ darmowych egzemplarzy (np. Prenumerator 2 tytułów może otrzymać za darmo 1 egzemplarz, zaś Prenumerator 6 tytułów ma prawo do 5 darmowych egzemplarzy).

Prezentacje aktualnie oferowanych numerów wszystkich czasopism znajdziesz na stronach

www.Klub.AVT.pl. Tam również możesz złożyć bezpłatne zamówienie.

Jeszcze nie prenumerujesz?

Zaprenumeruj! Zajrzyj na strona 161 lub skontaktuj się z Działem Prenumeraty: tel. 022 2578422, e-mail prenumerata@avt.pl