

C2000 Piccolo LanuchPad (12)

Łatwy pomiar koloru

Scalone czujniki koloru RGB pozwalają na łatwe dodanie pomiaru koloru do systemu procesorowego. Znajduje to zastosowanie w wielu dziedzinach. Na przykład czujniki pozwalają na polepszenie rozdzielczości i jakości wyświetlania koloru w telewizorach i urządzeniach mobilnych przy zmiennych warunkach oświetlenia zewnętrznego. Przetwornik światło-częstotliwość TCS32000 firmy AMS (dawniej TAOS) jest tanim układem o dużej rozdzielczości. Po dołączeniu go do modułu eCAP procesora Piccolo F2802x jest możliwe wykonywanie pomiarów koloru w szerokim zakresie dynamiki pracy.

Modele barw

Zagadnienia związane z widzeniem barwnym są dosyć trudne. Już samo nazewnictwo prowadzi do kłopotów. „W potocznym języku polskim określenie barwa i kolor to synonimy. W piśmiennictwie specjalistycznym częściej stosowany jest termin barwa niż kolor. Zaznacza się tendencja do stosowania pojęcia barwa (jako pojęcia poprawnego) zamiast kolor, traktując barwę nie tylko jako wrażenie psy-

chologiczne, ale też jako wielkość mierzalną o określonych danych liczbowych w przestrzeniach barwnych.”[21]

„Wrażenie barwy uzyskuje się w wyniku oddziaływania bodźca – światła na receptory człowieka – oczy, które dokonują częściowej analizy bodźca i konwersji na odpowiednie sygnały wysyłane do mózgu, gdzie następuje ostateczna analiza. Wrażenia wzrokowe są potocznie określane efektami związanymi z kolorem.” [20]

Dodatkowe informacje (materiały do kursu znajdują się na serwerze EP: <ftp://ep.com.pl>, user: 17630, pass: 5fare742):

Dotychczas w EP na temat zestawu ewaluacyjnego C2000 Piccolo LaunchPad:

- [1] „Zestaw ewaluacyjny C2000 Piccolo LaunchPad”, EP 01/2013
 - [2] „C2000 Piccolo LanuchPad (1) – Pierwszy program w środowisku programowym CCS v5”, EP 02/2013
 - [3] „C2000 Piccolo LanuchPad (2) – Łatwe programowanie z pakietem controlSUITE”, EP 03/2013
 - [4] „C2000 Piccolo LanuchPad (3) – Łatwe programowanie do pamięci Flash”, EP 04/2013
 - [5] „C2000 Piccolo LanuchPad (4) – Łatwa obsługa szyny SPI”, EP 05/2013
 - [6] „C2000 Piccolo LanuchPad (5) – Łatwa obsługa szyny I²C”, EP 07/2013
 - [7] C2000 Piccolo LanuchPad (6) – Łatwa inicjalizacja systemowa procesora serii Piccolo F2802x”, EP 09/2013
 - [8] „C2000 Piccolo LanuchPad (7) – Łatwa obsługa wyświetlacza LCD”, EP 11/2013
 - [9] „C2000 Piccolo LanuchPad (8) – Budowanie biblioteki drivelib dla procesorów serii Piccolo F2802x”, EP 12/2013
 - [10] „C2000 Piccolo LanuchPad (9) – Łatwa obsługa modułu PWM procesora serii Piccolo F2802x”, EP 1/2014
 - [11] „C2000 Piccolo LanuchPad (10) – Łatwa obsługa modułu eCAP procesora serii Piccolo F2802x”, EP 2/2014
 - [12] „C2000 Piccolo LanuchPad (10) – Łatwe sterowanie diodami LED-RGB mocy”, EP 3/2014
 - Wideo „Pomiar kolorów RGB”
 - Pliki: ColorChecker_sRGB_from_Avg_primary.png
- Example_2802xEcap_Capture_Pwm.c
28027_RAM_Color_Ink.cmd

Opisy:

- [13] TMS320F28027, TMS320F28026, TMS320F28023,

TMS320F28022, TMS320-F28021, TMS320F280200, Piccolo Microcontrollers, Data Sheet, SPR55231, 31 Jul 2012, Dane techniczne i parametry elektryczne układu procesorowego serii Piccolo F2802x

[14] TMS320x2802x, 2803x Piccolo Enhanced Capture Module (eCAP) Reference Guide [SPRUFZ8.pdf], 03 May 2009, Opis modułu eCAP układu procesorowego serii Piccolo F2802x

[15] TMS320x2802x Piccolo System Control and Interrupts, SPRUFN3D, 13 Feb 20013, Opis konfigurowania wyprowadzeń GPIO oraz obsługi przerwań

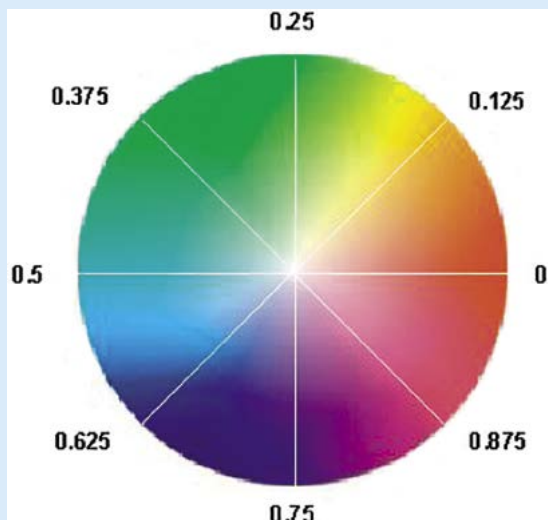
[16] LAUNCHXL-F28027 C2000 Piccolo LaunchPad Experimenter Kit, User's Guide, SPRUHH2, 25 Jul 2012, Opis zestawu ewaluacyjnego C2000 Piccolo LaunchPad

[17] Henryk A. Kowalski, Procesory DSP dla praktyków, BTC, Warszawa, 2011 <http://ii.pw.edu.pl/kowalski/dsp/book/>, Dokładne omówienie budowy układu procesorowego serii Piccolo F2802x/3x

[18] Henryk A. Kowalski, Procesory DSP w przykładach, BTC, Warszawa, 2012 <http://ii.pw.edu.pl/kowalski/dsp/book/>, Dokładne omówienie pracy z modułem eCAP układu procesorowego serii Piccolo F2802x/3x

[19] TMS320F28027, TMS320F28026, TMS320F28023, TMS320F28022, TMS320-F28021, TMS320F280200, Piccolo MCU, Silicon Errata, SPRZ292J, 31 Jan 2012, Istotne informacje na temat błędnego działania układu procesorowego serii Piccolo F2802x. Dokładne omówienie zestawu ewaluacyjnego C2000 Piccolo LaunchPad jest zamieszczone w artykule [1] a modułu eCAP w artykule [11]. Dokładne omówienie środowiska CCSv5 oraz pakietu controlSUITEv3 jest zamieszczone w artykule [3].

Opis instalowania najnowszej wersji środowiska CCS i pakietu controlSUITE jest zamieszczony w artykule [9].



Rysunek 1. Koło barw modelu HSL [22]

Odcień barwy (Hue) określa to, co jest potocznie nazywane kolorem, na przykład czerwony, zielony czy żółty. Odcień barwy zależy od długości świetlnej.

Nasylenie barwy (Saturation) jest związane z długością przedziału, w jakim występuje obserwowane promieniowanie. Im przedział jest krótszy, tym bardziej nasycona jest barwa. Przy zmniejszaniu nasycenia barwy do zera, to niezależnie od odcienia barwy, uzyskuje się barwę białą.

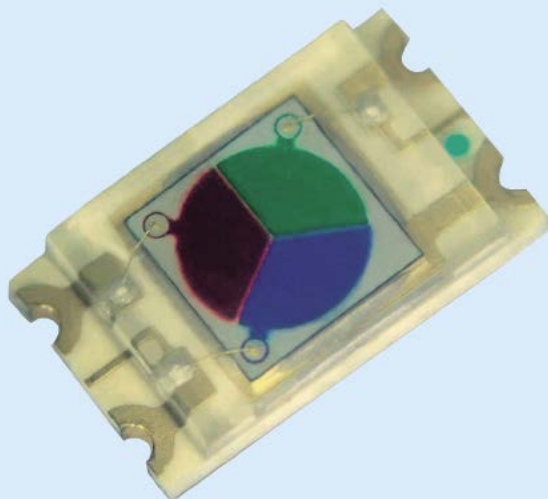
Jasność barwy (Luminance) odnosi się do strumienia światła, i jest związana z natężeniem oświetlenia. Przy zmniejszaniu jasności do zera, to niezależnie od odcienia barwy, uzyskuje się barwę czarną.

Model RGB

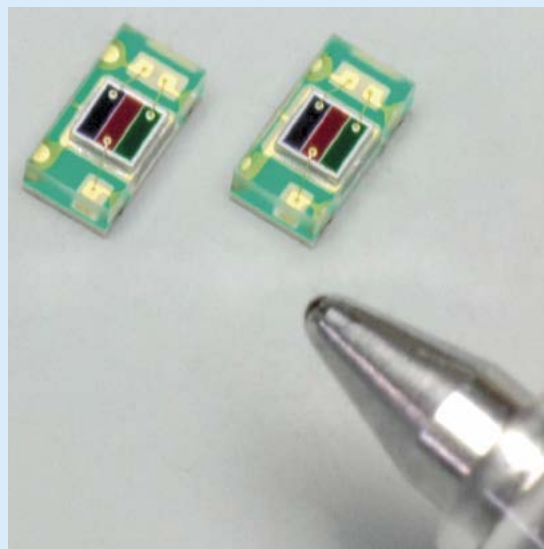
Jest wiele modeli barw. Jednym z bardziej rozpowszechnionych jest model RGB. Jest to model addytywny. Barwy podstawowe to czerwony (R), zielony (G) i niebieski (B). Typowo barwa jest reprezentowana numerycznie jak trójka wartości o zakresie 0 do 255. Barwy różne od podstawowych uzyskuje się w wyniku sumowania strumieni światła o barwach podstawowych.

Model HSL

Bardzo przydatny jest model HSL (nazywany też HLS). W modelu tym określa się bezpośrednio odcień barwy (H), nasycenie (S) i jasność (L). Podobny jest model HSV



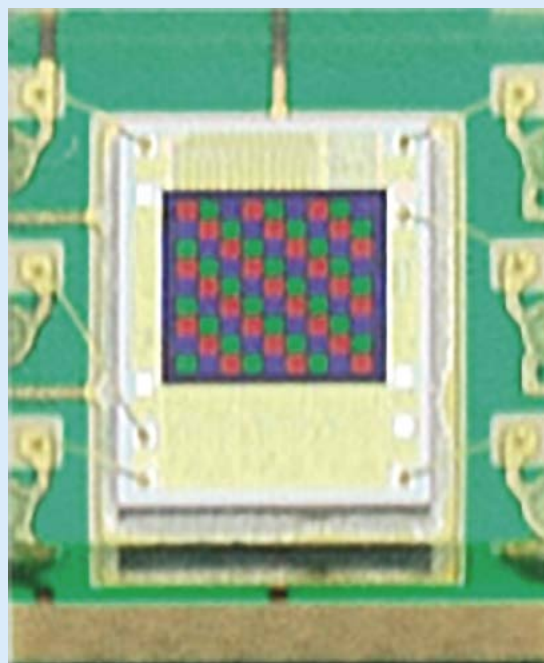
Rysunek 2. KPS-5130PD7C (Kingbright) [28]



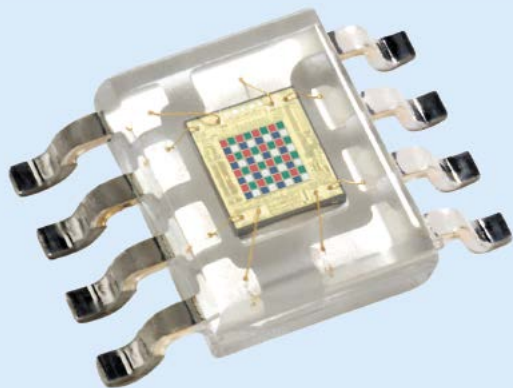
Rysunek 3. S10917-35GT (Hamamatsu) [24]

(nazywany też HSB), gdzie trzecią składową jest wartość (V – Value) [23].

Model jest rozpatrywany jako podwójny stożek o wspólnej podstawie, którą jest koło barw [23]. Wysokość bryły opisuje składowa L (wartość 0 do 1). Promień koła jest określony przez składową S (wartość 0 do 1). Odcienie barwne H są reprezentowane na obwodzie stożka (wartość 0° do 360°). Każdemu odcieniowi jest przypisany kąt liczony przeciwnie względem ruchu wskazówek zegara. Centrum barwy czerwonej odpowiada kąt 0° lub 360°, barwy zielonej 120°, niebieskiej 240°. Pozostałe barwy pośrednie dla składowej Hue są odpowiednio rozłożone pomiędzy kolorami czerwonym, zielonym i niebieskim. Barwy nasycone znajdują się na obwodzie koła. Im bliżej środka koła tym mniejsze nasycenie barwy. Na **rysunku 1** pokazano przykładowe koło barw z wartościami odcienia barw pomiędzy 0 i 1. W dolnym wierzchołku bryły jest barwa czarna. W górnym barwa biała. Wzdłuż osi głównej reprezentowane są poziomy szarości.



Rysunek 4. S11012-01CR (Hamamatsu) [24]



Rysunek 5. TCS32000 (AMS -TAOS) [29]

„Korzystanie z model HSL umożliwia wybieranie barw w sposób zbliżony do stosowanego przy malowaniu. Można najpierw określić potrzebny odcień barwy, następnie dodając barwy białej zmniejszyć jej nasycenie i wreszcie dodając czarnej barwy dobrać jej jasność.” [20]

Scalone układy czujników koloru RGB

Scalone układy czujników koloru RGB są produkowane przez wielu producentów (rysunek 2...5): Hamamatsu [24], AMS (dawniej TAOS) [25], Maxim [26], Intersil [27], Kingbright [28] i inni.

Czujniki scalone mają powierzchnie światłoczułe o kształtach prostokąta (wiele układów) lub koła, np. KPS-5130PD7C (Kingbright) [28]. Powierzchnie światłoczułe są podzielone na obszary osobne dla każdego kanału koloru. Mogą być też zorganizowane w postaci matrycy elementów. Na przykład czujnik S11012-01CR firmy Hamamatsu [24] ma matrycę 9×9 elementów światłoczułych. W trybie wysokiej czułości pracują wszystkie elementy. W trybie niskiej czułości pracują elementy 3×3 ze środka matrycy.

Czujniki reagują na różne zakresy widma światła, typowo od 400 nm do 720 nm: niebieski (B) 400...540 nm, zielony (G) 480...600 nm, czerwony (R) 590...720 nm, podczerwień (IR) powyżej 700 nm. Typowo charakterystyka spektralna jest zbliżona do czułości oka ludzkiego. Czujniki mają też różne czułości, typowo od 0.16 do 0,45 A/W.

Zwykle czujniki mają zamontowane odpowiednie filtry dla pomiaru koloru w osobnych kanałach: czerwony (R), zielony (G), niebieski (B). Niektóre z układów mają dodatkowy kanał pomiaru podczerwieni (IR), inne mają jeszcze dodatkowy kanał pomiaru całego widma światła (C), bez filtra kolorowego.

Scalone czujniki koloru RGB dostarczają sygnału wyjściowego w postaci:

- Analogowej, przetworniki światło-napięcie, S10917-35GT (Hamamatsu, RGB)
- Cyfrowej szeregowej, S9706 (Hamamatsu, RGB 12b)
- Cyfrowej w standardzie I²C, S11059-01WT (Hamamatsu, RGBIR 16b), MAX44005 (Maxim, RGBCIR Proxy 14b, TMD37821(AMS, RGBC Proxy 16b)
- Cyfrowej, jako częstotliwość, TCS32000 (AMS, RGBC)

Rozdzielczość wewnętrznego pomiaru cyfrowego zależy od czasu integracji i może się zmieniać w dużym zakresie, np. od 10b/2,38 ms do 16b/609 ms dla układu TMD37821 (AMS). Pomiar dla poszczególnych kanałów

mogą być wykonywane synchronicznie w trzech kanałach np. S9706, S11012-01CR (Hamamatsu) lub niezależnie.

Czujniki mogą mieć zintegrowane filtry podczerwieni np. S10917-35GT (Hamamatsu), ISL29125 (Intersil), jak również mogą mieć osobny kanał pomiaru zakresu podczerwieni. Czujniki mogą mieć możliwość ustawiania (zmiany) czułości. Scalone czujniki koloru mogą być również zintegrowane z czujnikami położenia (proximity sensor) [26, 30].

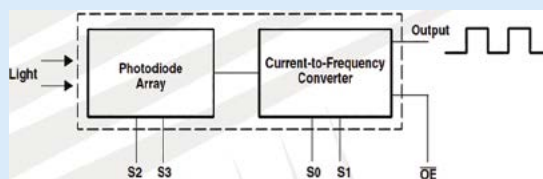
Wydaje się, że najbardziej jest rozbudowany układ scalony MAX44005 firmy Maxim [26]. Zawiera on czujnik RGB, czujnik światła otoczenia ALS (C), czujnik podczerwieni (IR), czujnik położenia (z drajwerem dla diody LED) oraz czujnik temperatury. Podobne czujniki produkowała firma Avago. Są również dostępne przemysłowe czujniki koloru produkowane przez różne firmy. Są to jednak spore urządzenia pozwalające na rozpoznawanie koloru w warunkach przemysłowych.

Układ scalony TCS32000

Układ scalony TCS32000 firmy AMS (dawniej TAOS) jest przetwornikiem światło-częstotliwość [29]. Na wejściu układu jest podawane cyfrowy przebieg o wypełnieniu 50% i częstotliwości bezpośrednio proporcjonalnej do poziomu oświetlenia (rysunek 6). W porównaniu z układami z wbudowanym przetwornikiem a/c układ TCS32000 ma dużą większą prędkość pomiaru oraz dynamikę.

Czujnik ma matrycę 8×8 elementów światłoczułych o wymiarach 1 mm×1 mm. Szesnaście fotodiod ma filtr niebieski (B), szesnaście fotodiod ma filtr czerwony (R), szesnaście fotodiod ma filtr zielony (G) i ostatnie szesnaście fotodiod nie ma filtra (C). Te cztery typy fotodiod (kolorów) są przeplecione w matrycy, aby zminimalizować efekt nierównomiernego oświetlenia. Fotodiody tych samych kolorów są połączone równolegle. Pojedyncze fotodiody mają wymiary 110 μm×110 μm i są równomiernie umieszczone w rozstawie 134 μm. Wewnętrzny multiplexer, sterowany wejściami S2 i S3, wybiera do wyprowadzania na wyjście OUT sygnał danych z jednego z czterech kanałów koloru (tabela 1). Wyjście OUT jest trójstanowe i sterowane jest przez wejście /OE (aktywne niskim poziomem).

Wyjście wewnętrznego przetwornika światło-częstotliwość jest dzielone przez dwa, co daje wypełnienie 50%. Częstotliwość sygnału wyjściowego na wyjściu OUT jest skalowana zgodnie ze stanem wejść S0 i S1 (tabela 2). Gdy wybrane jest 100%, to sygnał wewnętrzny jest bezpośrednio podawany na wyjście OUT. Dla wyboru 20% sygnał wewnętrzny jest dzielony przez 5 poprzez zliczanie 5 okresów sygnału podstawowego. Podobnie dla wyboru 2% sygnał wewnętrzny jest dzielony przez 50 poprzez zliczanie 50 okresów sygnału podstawowego. Okres podzielonego sygnału jest uśrednioną wielokrot-



Rysunek 6. TCS32000 Funkcyjny schemat blokowy [29]

Tabela 1. Wybór kanału koloru [29]

S2	S3	Wybrany kanał koloru
L	L	Fotodiody z filtrem czerwonym (R)
L	H	Fotodiody z filtrem niebieskim (B)
H	L	Fotodiody bez filtra (C)
H	H	Fotodiody z filtrem zielonym (G)

Tabela 2. Wybór funkcji [29]

S0	S1	Funkcja	Fmax (typ)
L	L	Przełączenie układu w tryb Power-down	–
L	H	Częstotliwość sygnału wyjściowego przeskalowana do 2%	12 kHz
H	L	Częstotliwość sygnału wyjściowego przeskalowana do 20%	120 kHz
H	H	Standardowa częstotliwość sygnału wyjściowego (100%)	600 kHz

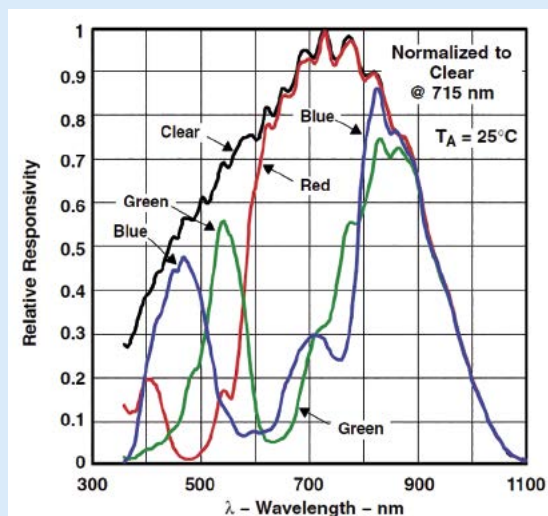
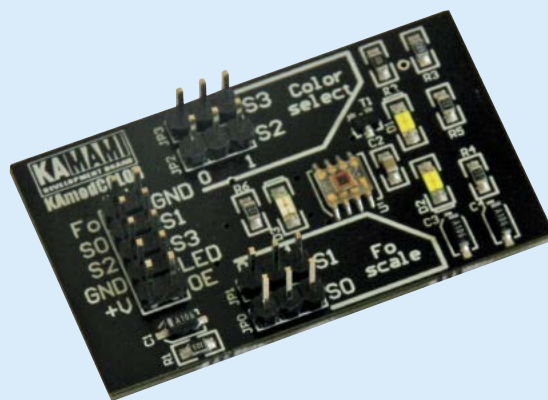
nością okresu wewnętrznego. Przy zmianie wyboru podziału, jak i przy skokowej zmianie poziomu oświetlenia czujnika poprawna wartość nowego okresu sygnału wyjściowego występuje po czasie jednego nowego okresu zwiększonego o 1 μ s.

Zmiana podziału sygnału wyjściowego powoduje zmianę zakresu częstotliwości tego sygnału (tab. 2). Dla zupełnej ciemności częstotliwość wyjściowa jest bardzo mała i wynosi 2 Hz (typ). Liniowość sygnału jest bardzo dobra i wynosi $\pm 0.5\%$ wartości zakresowej (do 500 kHz). Dla częstotliwości sygnału do 5 kHz wynosi tylko $\pm 0.1\%$ wartości zakresowej. Czulość spektralna czterech kanałów czujnika pokazano na **rysunku 7**. Układ nie ma filtra podczerwieni, dlatego wszystkie cztery kanały mają spórą odpowiedź w zakresie podczerwieni aż do 1100 nm.

Moduł KAmoDCOLOR

Jest dostępnych wiele modułów uruchomieniowych z czujnikiem koloru TCS3200. Typowo zawierają one układ scalony oraz białe diody LED. Jedynie firmowy (AMS) zestaw uruchomieniowy TCS3200-EK-ST produkowany przez firmę Parallax jest dodatkowo rozbudowany o czarną osłonę układu i soczewkę z filtrem podczerwieni.

Moduł KAmoDCOLOR firmy KAMAMI [31] został zbudowany z zastosowaniem scalonego czujnika koloru TCS3200D firmy TAOS [29]. Moduł zawiera trzy białe

**Rysunek 7. Charakterystyka spektralna układu TCS3200 [29]****Rysunek 8. Moduł KAmoDCOLOR firmy KAMAMI [31]**

diody LED doświetlające badany obiekt (**rysunek 8**). Diody są kluczowane tranzystorem sterowanym sygnałem LED ze złącza Con1. Na tym złączu są dostępne wszystkie wyprowadzenia układu TCS3200 oraz masa i zasilanie. Zwory JP0 do JP3 pozwalają na ustalanie poziomu logicznego na wejściach S0-S3 układu TCS3200. Powodują one bezpośrednie zwarcie linii do masy lub zasilania, co może być niebezpieczne dla dołączonego jednocześnie do linii wyjścia procesora.

Moduł eCAP procesora Piccolo TMS320F28027

Procesor serii Piccolo F2802x ma tylko jeden moduł peryferyjny przydatny do pomiaru częstotliwości. Jest to moduł eCAP, który reprezentuje kompletny kanał zbierania danych o zależnościach czasowych sygnałów cyfrowych [11, 14].

Moduł eCAP w trybie CAPTURE obsługuje cztery niezależne zdarzenia. Zdarzenie polega na wykryciu zbocza sygnału cyfrowego na podzielonym sygnale wejściowym. Do modułu eCAP1 zostaje przypisane wyprowadzenie GPIO układu procesorowego jako wejście ECAP1. Piccolo TMS320F28027 wejście/wyjście ECAP1 może być przypisane do wyprowadzenia GPIO5 lub GPIO19.

Do tworzenia w środowisku CCSv5 programów przeznaczonych dla procesorów rodziny Piccolo TMS320F2802x firmy Texas Instruments potrzebny jest pakiet programowy controlSUITE tej firmy. Zawiera on oprogramowanie „firmware”, biblioteki, opisy zestawów sprzętowych oraz projekty przykładowe dla wszystkich serii procesorów rodziny C2000. Projekty przykładowe pakietu controlSUITE zawierają na początku kodu programu sekwencję inicjalizacji systemowej układu procesorowego serii Piccolo F2802x.

Konfiguracja sprzętowa i programowa

Do wykonania ćwiczenia potrzebny jest komputer z zainstalowanym (darmowym) oprogramowaniem:

- Środowisko *Code Composer Studio* v5.5.0.00077 (Sep 9, 2013) firmy Texas Instruments [2, 18]. Umożliwia tworzenie w środowisku CCSv5 programów przeznaczonych dla procesorów serii Piccolo TMS320F2802x.
- Pakiet programowy controlSUITE v3.2.4 (10-Dec-2013) firmy Texas Instruments [2, 18]. Zawiera oprogramowanie „firmware”, biblioteki, opisy zestawów sprzętowych oraz projekty przykładowe dla wszystkich serii procesorów rodziny C2000.

Platforma sprzętowa wymaga dwóch elementów:

- Zestaw ewaluacyjny *C2000 Piccolo LaunchPad* firmy Texas Instruments z układem procesorowym Piccolo TMS320F28027 firmy Texas Instruments (zawiera kabel USB-A USB-mini) [1, 16]
- Moduł ze scalonym czujnikiem koloru TCS3200D, np. moduł KAmoDCOLOR firmy KAMAMI [31]
- Przewody połączeniowe, standard złącza IDC, np. CAB_M-F firmy Kamami, zestaw 40 szt. przewodów M-F w różnych kolorach o długości 21 cm [32]

W folderze *C:\home_dir* komputera zostanie utworzony nowy folder *work_Color*. Wymagane są prawa dostępu (zapisu i modyfikacji) dla tej ścieżki dyskowej. Możliwe jest umieszczenie foldera *home_dir* na innym wolumenie dyskowym z prawami dostępu.

Do wykonania ćwiczenia jest potrzebny oscyloskop z sondą.

Pliki źródłowe

Do wykonania ćwiczenia potrzebny jest kod źródłowy zawarty w pliku *Example_2802xECap_Capture_Pwm.c* (zmodyfikowany plik standardowy) oraz zdefiniowanie pamięci w pliku *28027_RAM_Color_Ink.cmd*. Zastosowana do pomiarów paleta barwna znajduje się w pliku *ColorChecker_sRGB_from_Avg_primary.png*. Wszystkie pliki na serwerze FTP. Na stronie Kamami dostępny jest dla modułu KAmoDCOLOR przykład w języku C dla mikrokontrolerów STM32 [31].

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest praktyczne poznanie zagadnień związanych z pomiarem i rozpoznawaniem barw. Pomiar częstotliwości sygnału ze scalonego czujnika koloru TCS3200 jest wykonywany z zastosowaniem modułu eCAP układu procesorowego serii Piccolo F2802x przy użyciu biblioteki *driverlib* pakietu programowego *controlSUITEv3* oraz środowiska *Code Composer Studio v5*. Jako punkt startu zastosowano przykładowy projekt *Example_F2802xECap_Capture_Pwm* z tego pakietu pracujący na zestawie ewaluacyjnym *C2000 Piccolo LaunchPad*. Ćwiczenie jest zorganizowane tak, że działania są wykonywane w kolejnych punktach i krokach uzupełnionych o opisy.

Ćwiczenie umożliwia: poznanie sposobu pomiaru składowych koloru modelu RGB i konwersji do modelu HSL oraz poznanie budowy i inicjalizowania modułu eCAP przy pracy w trybie CAPTURE.

Podłączenie i skonfigurowanie zestawu C2000 Piccolo LaunchPad

Po zainstalowaniu środowiska CCSv5 [2, 18] można dołączyć zestaw ewaluacyjny C2000 Piccolo LaunchPad [1, 16] kablem USB do wolnego portu USB komputera. System Windows automatycznie rozpoznaje układ. Zostaną zainstalowane sterowniki systemu Windows dla emulatora XDS100v2 [18]. Należy poczekać aż system potwierdzi, że sprzęt jest gotowy do pracy.

Do poprawnej pracy programu przykładowego wymagana jest podstawowa (standardowa) konfiguracja przełączników płytki drukowanej zestawu [1]:

- Założone zwory JP1 („3V3”), JP3 („5V”) i JP2 („GND”). Oznacza to zasilanie układu procesorowego Piccolo F28027 z gniazdka USB.

- Przełącznik S1 („Boot”) skonfigurowany następująco: S1.1 - do góry (ON), S1.2 - do góry, S1.3 - do góry. W praktyce oznacza to bootowanie układu procesorowego Piccolo F28027 z pamięci Flash.
- Przełącznik S4 („Serial”) skonfigurowany w pozycji do góry (ON). Oznacza to dołączenie portu UART układu procesorowego Piccolo F28027 do układu emulatora, a tym samym do wirtualnego portu COM na komputerze PC.

Zestaw ewaluacyjny jest dostarczany z wpisanym do pamięci Flash układu procesorowego Piccolo F28027 programem przykładowym *Example_F2802xLaunchPad-Demo*. Program automatycznie zaczyna pracować po dołączeniu zestawu do portu USB [1].

Dołączanie modułu KAmoDCOLOR do zestawu C2000 Piccolo LaunchPad

Dołącz moduł KAmoDCOLOR do zestawu ewaluacyjnego C2000 Piccolo LaunchPad. **Uwaga! Połączenia należy wykonywać bez włączonego zasilania, czyli przy odłączonym kablu USB.** Najlepiej najpierw połączyć masę obu płytek drukowanych. Zmniejszy to niebezpieczeństwo uszkodzenia układów ze względu na ładunki elektrostatyczne. Połączenia należy wykonywać przewodami z końcówkami zgodnymi ze standardem złącza IDC [32].

Należy podać masę GND, zasilanie 3.3 V, sygnały sterujące i sygnał danych (tabela 3).

Uruchamianie środowiska CCSv5

Po uruchomieniu środowiska CCSv5 pokazywane jest okno edycyjne *Workspace Launcher* ustawiania lokalizacji foldera roboczego.

1. W oknie *Workspace* należy wpisać ścieżkę dla lokalizacji folderu (*workspace*) roboczego projektu. Można ją też wskazać przy użyciu standardowego przycisku *Browse* systemu Windows. Odznaczenie (wyłączenie) opcji *Use this as the default and do not ask again* oznacza pracę z osobnym folderem roboczym. Folder z projektem można umieścić w folderze roboczym. Ale nie odwrotnie. Przy ponownym uruchomieniu środowiska CCSv5 pokazywana jest w oknie *Workspace Launcher* ścieżka lokalizacji folderu roboczego używana przy ostatnim zamknięciu CCSv5.

W oknie *Workspace* wpisz ścieżkę i nazwę foldera roboczego. Powinna być ona krótka i musi być zlokalizowana na dysku w miejscu, dla którego są uprawnienia dostępu (zapisu). Dla indywidualnej pracy proponowana jest ścieżka *<C:\home_dir>*. Dla tego ćwiczenia proponowana jest nazwa foldera */work_Color*. Można umieść-

Tabela 3. Podłączenie modułu KAmoDCOLOR do zestawu C2000 Piccolo LaunchPad

KAmoDCOLOR	C2000 Piccolo LaunchPad
Con1.1 f0 (OUT)	J6.6 ECAP1 (GPIO5)
Con1.2 GND	J3.3 GND
Con1.3 S0	J2.6 GPIO16
Con1.4 S1	J2.7 GPIO17
Con1.5 S2	J2.8 GPIO6
Con1.6 S3	J2.9 GPIO7
Con1.7 GND	J3.2 GND
Con1.8 LED	J2.2 GPIO19
Con1.9 +V	J3.1 +3.3V
Con1.10 OE	J2.3 GPIO12

cić folder *home_dir* na innym wolumenie dyskowym z prawami dostępu.

Po kliknięciu na przycisk *OK* okna *Workspace Launcher* otwierane jest okno startowe środowiska CCSv5 (i ładowane są poszczególne elementy środowiska). Można to obserwować na pasku postępu w prawym dolnym rogu okna.

Projekty przykładowe pakietu controlSUITE

W oknie *TI Resource Explorer* perspektywy *CCS Edit* pokazywana jest strona *Welcome* (w html). Zawiera ona graficznie menu główne. Istotne informacje są zgrupowane na stronie *Home*. Można ją otworzyć po kliknięciu w oknie *TI Resource Explorer* na ikonkę *Home*.

Po kliknięciu na odnośnik *Examples* pokazywane jest po lewej stronie okna drzewo dokumentacji i dostępnych projektów przykładowych.

Jeśli pokazywana jest tylko jedna linia *controlSUITE* z gałęzią *English* to udostępni ona tylko dokumentację pakietu.

Aby dodać dostęp do przykładowych projektów należy na dole strony *Home* kliknąć na odnośnik *Configure Resource Explorer*.

Jeśli w białym polu wyboru okna dialogowego *Package Configuration* jest pokazywana nazwa *controlSUITE* to należy na nią kliknąć a następnie należy kliknąć przycisk *Remove* oraz przycisk *OK*. Okno jest zamykane i środowisko CCS usuwa niepoprawnie zbudowaną bazę informacji o projektach przykładowych. Następnie na dole strony *Home* należy ponownie kliknąć na odnośnik *Configure Resource Explorer*.

Jeśli w białym polu wyboru okna dialogowego *Package Configuration* jest pusto to trzeba kliknąć na *Add*. Następnie trzeba wskazać folder *C:\ti\controlSUITE* i kliknąć *OK*. Nazwa *controlSUITE* pojawi się w oknie wyboru. Należy kliknąć *OK*. Po dłuższej chwili pojawi się w drzewie okna *TI Resource Explorer* druga linia *controlSUITE* zawierająca pozycje: *development kits*, *device_support* oraz *libs*.

Zastosowanie projektu Example_F2802xECap_Capture_Pwm

2. Dla pracy z rodziną układów procesorowych Piccolo F2802x rozwiń w oknie *TI Resource Explorer* drugą pozycję *controlSUITE*. Następnie rozwiń w tym oknie drzewo *controlSUITE* → *device_support* → *f2802x* → *v210* → *f2802x_examples*. Potem kliknij na nazwę wybranego projektu *Example_F2802xECap_Capture_Pwm*.

W prawym oknie zostanie wyświetlona instrukcja jak krok po kroku zbudować i uruchomić projekt.

Krok1: Importowanie projektu Example_F2802xECap_Capture_Pwm do CCSv5

Krok1 umożliwia zaimportowanie wybranego projektu do CCSv5.

3. W oknie *TI Resource Explorer* kliknij na odnośnik kroku 1. Po poprawnym wykonaniu importowania w oknie *Project Explorer* pojawia się drzewo projektu i w oknie *TI Resource Explorer* pokazywany jest zielony znaczek ✓ na prawo od linii nazwy kroku.

Projekt *Example_F2802xECap_Capture_Pwm* został zaimportowany z kopiowaniem projektu i pliku *Example_2802xECap_Capture_Pwm.c* do foldera roboczego projektu.

4. Skopiuj (pobrany z serwera FTP) plik *28027_RAM_Color_Ink.cmd* oraz plik *Example_2802xECap_Capture_Pwm.c* (podmiana) do foldera roboczego projektu *C:\home_dir\work_RGB\Example_F2802xECap_Capture_Pwm*.

5. W oknie *Project Explorer* rozwiń drzewo projektu, kliknij prawym klawiszem myszy na jego nazwę i wybierz opcję *Properties*.

6. Rozwiń listę *C2000 Linker* i kliknij na *File Search Path*.

7. W oknie *Include library file...* usuń linię dostępu do pliku "cmd". Kliknij *OK* i ponownie *OK*.

Krok2: Budowanie projektu Example_F2802xECap_Capture_Pwm

Krok2 umożliwia wykonanie budowania wybranego projektu.

8. W oknie *TI Resource Explorer* kliknij na odnośnik kroku 2.

W oknie *Console* pokazywane są bieżące informacje o postępie budowania. W oknie *Problems* pokazywane są opisy błędów, ostrzeżeń i informacji. Po poprawnym wykonaniu budowania pokazywany jest w oknie *TI Resource Explorer* zielony znaczek ✓ na prawo od linii nazwy kroku.

Kliknięcie na odnośnik kroku 2 powoduje automatyczne budowanie projektu – podobnie jak po przyciśnięciu przycisku *Build*.

9. W oknie *Project Explorer* rozwiń drzewo projektu i kliknij na jego nazwę. Został zbudowany projekt w konfiguracji budowania o nazwie *RAM*.

Budowanie projektu *Example_F2802xECap_Capture_Pwm* zostało zakończone poprawnie. Został utworzony wynikowy plik binarny *Example_2802xECap_Capture_Pwm.out* (zobacz okno *Console*). Zostały jednak zgłoszone ostrzeżenia (zobacz okno *Problems*). Na razie są one nieistotne.

Krok3: Definiowanie konfiguracji sprzętowego systemu docelowego

Krok3 umożliwia zdefiniowanie konfiguracji sprzętowej systemu docelowego dla projektu. Na początku pole *Connection* pokazuje typ „none”.

10. W oknie *TI Resource Explorer* kliknij na odnośnik kroku 3.

W oknie dialogowym *Debugger Configuration* rozwiń listę wyboru.

11. Wybierz pozycję *Texas Instruments XDS100v2 USB Emulator*. Kliknij *OK*.

W oknie *TI Resource Explorer* pole *Connection* pokazuje teraz typ *Texas Instruments XDS100v2 USB Emulator*. Zielony znaczek ✓ pokazywany jest na prawo od linii nazwy kroku.


Utworzony plik konfiguracji sprzętowej *TMS320F28027.ccxml* jest teraz pokazany w gałęzi *targetConfigs* drzewa projektu w oknie *Project Explorer*. Jest on ustawiony jako *Active/Default* (aktywny i domyślny).

Krok4: Uruchamianie sesji debugowej dla projektu Example_F2802xECap_Capture_Pwm

Krok4 umożliwia uruchomienie sesji debugowej dla projektu. Dotychczas praca środowiska CCSv5 nie wymagała fizycznej obecności sprzętu docelowego. Wykonanie

kroku 4 wymaga wcześniejszego dołączenia zestawu ewaluacyjnego *C2000 Piccolo LaunchPad* do komputera z zainstalowanym środowiskiem CCSv5 [1].

12. W oknie *TI Resource Explorer* kliknij na odnośnik kroku 4.

Kliknięcie na odnośnik kroku 4 powoduje automatyczne rozpoczęcie sesji debugowej – podobnie jak po przyciśnięciu przycisku *Debug* .

Postęp działania środowiska CCSv5 można obserwować na pasku stanu w prawym dolnym rogu okna. Może to trwać dosyć długo i należy koniecznie poczekać przed rozpoczęciem dalszej pracy na zakończenie ładowania kodu i pokazania się okna perspektywy *CCS Debug*.

Wgląd w projekt **Example_F2802xECap_Capture_Pwm**

13. W perspektywie *CCS Debug* zauważ w oknie edytora, że praca programu została zatrzymana na pierwszej linii kodu funkcji *main()*.

Wyprowadzenia cyfrowe I/O (GPIO) dla modułu eCAP1 oraz skonfigurowanie modułu eCAP1 do pracy w trybie CAPTURE jest wykonane tak samo jak w artykule [11]. Należy zauważyć, że zegar taktowania wewnętrznego modułu eCAP1 to SYSCLKOUT.

Pomiar czasu pomiędzy dwoma zboczami sygnału daje czas całego okresu sygnału. Dla tego sposobu nie można z góry określić czasu pomiaru. Zmienia się on dynamicznie wraz ze zmianą poziomu oświetlenia czujnika. Szczególnie się wydłuża przy spadku poziomu oświetlenia.

Procedura obsługi przerwania modułu eCAP1

Przerwanie ECAP1_INT zgłaszane jest przez moduł eCAP1 po wpisaniu nowych wartości do wszystkich rejestrów CAP1-4. W procedurze *ecap1_isr* obsługi przerwania ECAP1_INT wykonywany jest odczyt zawartości rejestrów CAP2-4 i obliczana jest ich wartość średnia. Wartość w rejestrze CAP1 jest niepoprawna i jest pomijana. Obliczenia wykonywane są w wywoływanej funkcji *Save_RGB_Capture_read_value* W tej funkcji wykonywana jest zmiana wybranego kanału koloru układu TCS3200 na następny w sekwencji RBCG.

Następnie zerowany jest znacznik zgłoszenia żądania obsługi przerwania CEVT4 modułu eCAP1. Włączane jest zezwolenie zgłaszania przerwania przez moduł eCAP1. Ostatnią operacją wykonywaną z modułem eCAP1 jest ponowne „uzbrojenie” (rearm) modułu: zerowany jest wskaźnik Mod4 rejestrów CAP1-4, aktywowana jest praca wskaźnika Mod4 włączana jest praca modułu. Na koniec procedury włączane (przywracane) jest dla grupy 4 w PIE zezwolenie na zgłaszanie przerwania do CPU.

Pomiar barw

Odczyty dla każdego koloru są wstawiane do czteropozycyjnej tabeli i ponownie uśredniane. Dla tak uzyskanych danych liczone są wartości koloru sRGB proporcjonalnie do kanału C.

Model RGB nie jest wygodny przy konieczności bezpośredniego określania barwy, np. przy rozpoznawaniu.

Tabela 4. Wartości pól palety dla różnych modeli barw [34]

Nazwa	sRGB			HSL/HSV		
	R	G	B	H	S	L/[V]
White	255	255	255	–	0	1
Blue	0	0	255	240°	1	1
* #	56 (42)	61 (63)	150 (147)	(228°)	(0.71)	[0.58]
Green	0	255	0	120°	1	1
* #	70 (72)	148 (149)	73 (72)	(120°)	(0.52)	[0.58]
Red	255	0	0	0°	1	1
* #	175 (175)	54 (50)	60 (57)	(357°)	(0.71)	[0.69]
Yellow	255	255	0	60°	1	1
* #	231 (238)	199 (200)	31 (22)	(49°)	(0.91)	[0.93]
Magenta	255	0	255	300°	1	1
* #	187 (188)	86 (84)	149 (150)	(322°)	(0.55)	[0.74]
Cyan	0	255	255	180°	1	1
* #	52 (0)	52 (137)	52 (166)	(190°)	(1)	[0.65]
Black	0	0	0	–	–	0

* Wartości podane przez firmę X-Rite

Istnieje prosty algorytm konwersji modelu RGB do modelu HSL [33]. W funkcji *ToHSL* wykonywane są obliczenia składowych modelu HSL. Składowa H jest określona w stopniach a składowe S i L w procentach.

Do eksperymentów została użyta paleta barwna zgodna z sekcją barw podstawowych palety ColorChecker [34]. Zdefiniowanie poszczególnych pól palety jest pokazane w tabeli 4. Można pobrać plik z uśrednionymi kolorami poszczególnych pól [34]. Z tablicy widać, że barwa zastosowana na poszczególnych polach nie jest barwą podstawową o odpowiedniej nazwie. Można się też z niej zorientować jakich odczytów można oczekiwać podczas własnych eksperymentów.

Paleta kolorów zgodna z tab. 4 jest umieszczona obok tabeli. Podobny wydruk został zastosowany do badań. Pomiary przeprowadzono dwukrotnie:

- Pomiar światła palety wyświetlonej na ekranie monitora komputera.
- Pomiar światła białych diod LED modułu KAMODCOLOR odbitego od wydrukowanej palety.

Tabela 5. Pomiary pól palety czujnikiem TCS32000

Nazwa	RGB			HSL		
	R	G	B	H °	S %	L %
White	112	83	77	10	30	43
&	100	78	83	346	22	39
Blue	92	99	145	230	36	57
&	88	75	122	256	38	47
Green	96	124	86	104	30	48
&	97	105	75	74	28	41
Red	197	59	65	357	69	77
&	172	58	63	357	66	67
Yellow	151	83	53	18	64	59
&	149	79	63	19	69	58
Magenta	153	63	83	346	58	60
&	150	50	92	334	66	59
Cyan	62	115	120	185	48	47
&	70	84	121	223	41	47
Black	162	135	140	349	16	63
&	106	80	80	356	41	41

& – pomiar druku, reszta – pomiar z monitora

Wyniki pomiarów umieszczono w **tabeli 5**. Uzyskane rezultaty są dobre, stabilne i powtarzalne, a wartości zbliżone do zamieszczonych w tab. 4. Pomiary wykonywane były przy znikomym poziomie oświetlenia zewnętrznego. Został zastosowana największy zakresu częstotliwości czujnika $S_0=S_1=1$ (pomiar bez podziału). Pomimo to mierzone częstotliwości sygnału są niskie, wynoszą kilkadziesiąt Hz dla pomiaru z druku i kilkadziesiąt Hz dla pomiaru z monitora. Sugeruje to dosyć niską czułość czujnika.


Na końcu funkcji *Save_RGB_Capture_read_value* wykonywane jest proste rozpoznawanie sześciu barw palety. Wyniki uzyskane dla palety wyświetlanej przez monitor są poprawne a zmierzone wartości zgodne z danymi z tab. 4. W przypadku pomiaru wydruku występuje jednak zawyżenie wartości H dla koloru blue i cyan. Uniemożliwia to ich rozdzielenie. Jest to typowy problem związany z niedokładnościami druku barwnego.

Badania ujawniły też dodatkowy problem. W module KAmoDCOLOR białe diody LED mają kształt prostopadłościaków i świecą we wszystkich kierunkach. Powoduje to bezpośrednie oświetlenie czujnika TCS3200 i katastrofalne zafałszowanie pomiarów. Udało się przewizorycznie poprawić działanie poprzez zamaskowanie przezroczystej obudowy czujnika czarną taśmą izolacyjną. Tak zmodyfikowany moduł został zastosowany w powyższych badaniach.

Działanie programu Example_2802xECap_Capture_Pwm

14. Dodaj (przeciągnij) do okna *Expressions* zmienne pokazane na rys. 9.

15. Wykonaj polecenie *Resume* .

16. W oknie *Expressions* przyciśnij przycisk *Continuous Refresh* .

17. Przykryj czujnik jednym polem wydrukowanej palety. Sprawdź uzyskany rezultat pomiaru. Tablica znakowa *Read_COLOR* zawiera nazwę rozpoznanej barwy z palety.

18. Sprawdź działanie dla pozostałych pól palety.

19. Zmień wartość zmiennej *LED_on* na zero. Zmienna *LED_on* steruje włączaniem świecenia białych diod. W oknie *Expressions* kliknij na pole *Value* dla tej zmiennej i wpisz zero. Kliknij klawisz *Enter*. Zgasną białe diody LED.

Expression	Type	Value
00: buf_cnt	int	2
00: sR	int	157
00: sG	int	85
00: sB	int	55
00: LED_on	unsigned int	1
00: H_deg	int	17
00: S_percent	int	63
00: L_percent	int	61
00: freq_red	int	708
00: freq_green	int	389
00: freq_blue	int	255
00: freq_clear	int	1144
00: Read_COLOR	char[8]	0x0000BF9
00: [0]	char	Y
00: [1]	char	e
00: [2]	char	l
00: [3]	char	l
00: [4]	char	o
00: [5]	char	w
00: [6]	char	.
00: [7]	char	.

Rysunek 9. Wynik pomiaru wydrukowanego koloru Yellow

Bibliografia

- [20] Janusz Rzeszut, Barwa w grafice komputerowej, w: Jan Zabrodzki (ed) Grafika Komputerowa, Warszawa, WNT, 1994.
- [21] Barwa, <http://goo.gl/krYJK>
- [22] Color Classification with the TCS230, AMS, <http://goo.gl/LmRq8y>
- [23] HSL and HSV, <http://goo.gl/7ZQHgu>
- [24] Hamamatsu, RGB color sensors, <http://goo.gl/r2RjV>
- [25] Color Sensor, AMS, <http://goo.gl/jlBsOA>
- [26] MAX44005 RGB Color, Temperature, and Infrared Proximity Sensor, Maxim, <http://goo.gl/OMHgeS>
- [27] ISL29125 Digital Red, Green and Blue Color Light Sensor with IR Blocking Filter, Intersil, <http://goo.gl/WjglcR>
- [28] RGB Color Sensor KPS-5130PD7C, Kingbright, <http://goo.gl/xd7LBP>
- [29] TCS3200 Programmable Color Light-To-Frequency Converter, AMS, <http://goo.gl/ENCOLL>
- [30] Color Sensor & Proximity Detection, AMS, <http://goo.gl/WV7h9>
- [31] KAmoDCOLOR Czujnik koloru z układem TCS3200D firmy TAOS, KAMAMI, <http://goo.gl/h0y0M4>
- [32] CAB_M-F(40-21-Rainbow), zestaw 40 szt. przewodów M-F w różnych kolorach o długości 21 cm, KAMAMI, <http://goo.gl/uWksDY>
- [33] Sensing color with the TAOS TCS230, AMS, <http://goo.gl/kO94de>
- [34] ColorChecker, <http://goo.gl/libOV22>

20. Wyświetl na górze ekranu paletę z pliku *ColorChecker_sRGB_from_Avg_primary.png* (pobranego z serwera FTP). Zmniejsz okno CCSv5 tak, aby mieściło się na ekranie poniżej (rys. 10).

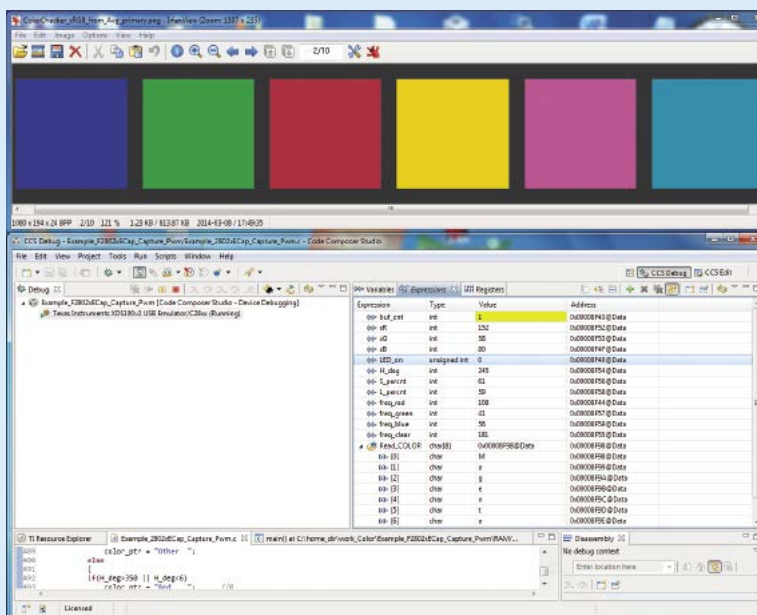
21. Skieruj czujnik na jedno pole wyświetlanej palety. Sprawdź uzyskany rezultat pomiaru.

22. Sprawdź działanie dla pozostałych pól palety.

Przedstawione w artykule zagadnienia zostały właściwie tylko zasygnalizowane. Nie został np. zbadyany wpływ oświetlenia zewnętrznego na pomiar barwy. Jednak uzyskane rezultaty mogą zachęcić do rozpoczęcia własnych eksperymentów w tej dziedzinie.

Henryk A. Kowalski
 kowalski@ii.pw.edu.pl
 Zdjęcia, video: Piotr T. Kowalski

Autor artykułu dziękuje panu Januszowi Rzeszutowi za fachowe konsultacje przy pracy nad przygotowaniem tekstu.



Rysunek 10. Wynik pomiaru wyświetlanego koloru Magenta