

Systemy dla Internetu Rzeczy (3)

Moduły rozszerzeń DevPack dla zestawu SensorTag

W tym odcinku kursu zostaną omówione następujące moduły rozszerzeń dla zestawu SensorTag: Debug DevPack, Watch DevPack i LED Audio DevPack.

Jest kilka modułów rozszerzeń DevPack do zestawu SensorTag firmy Texas Instruments. Jako pierwszy pojawił się moduł Debug DevPack z układem emulatora sprzętowego typu XDS110. Następnie zaferowano moduł Watch DevPack nazywany też Display DevPack lub LCD screen DevPack. Zawiera on tylko wyświetlacz LCD TFT. Kolejny moduł to LED Audio DevPack, zawierający 3 diody LED RGB oraz wzmacniacz cyfrowy audio. Na zdjęciach pokazywane są jeszcze inne moduły (np. moduł zasilania bateryjnego), ale jeszcze nie ma ich w sprzedaży. Na stronie TI są też dostępne kompletne projekty modułów DevPack (np. Wireless pH Sensor Transmitter), ale też nie produkowane.

Produktów o nazwie SensorTag firmy Texas Instruments jest kilka. Pierwszy był zestaw CC2541 SensorTag. Zestaw CC2650 SensorTag wystartował w połowie roku 2015 [1, 2, 4]. Nazywany jest on SensorTag 2. Na końcu roku 2016 pojawił się zestaw CC1350 SensorTag. A jest jeszcze zapowiadany Wi-Fi SensorTag. Zestaw CC2650 SensorTag jest dostarczany z fabrycznie zaprogramowanym

programem o wdzięcznej nazwie „DEMO”. Sposób działania programu jest ściśle związany z organizacją pracy komunikacji bezprzewodowej z protokołem Bluetooth LE ver.4.2 [2].

Dokumentacja

Dotarcie do opisów modułów rozszerzeń DevPack zestawu SensorTag następcza (tradycyjnie) pewne kłopoty. Podstawowym miejscem informacji jest strona „IoT made easy” [5]. Na zakładce DevPacs strony „IoT made easy” są informacje i odnośniki dotyczące wszystkich trzech dostępnych do zakupu aktualnie modułów rozszerzeń. Jednak odnośniki do dokumentów znajdują się na stronie TI WIKI [6].

Na portalu społecznościowym *TI E2E Community* znajduje się bardzo przydatna strona *CC2640/CC2650 Getting Started and FAQ* [6]. Jest ona często aktualizowana i zawiera odpowiedzi na najczęściej zadawane pytania.

Złącze rozszerzeń DevPack

Złącze rozszerzeń zainstalowane na płycie zestawu CC2650 SensorTag umożliwia dołączenie modułów rozszerzeń w standardzie DevPack. Opis sygnałów na złączu DevPack Connector jest umieszczony na stronie „IoT made easy” [5], zakładka *DevPacs*,

Tabela 1. Rozmieszczenie sygnałów na złączu DevPack Connector zestawu SensorTag[5, 7]

No	Nazwa	Nóżka	Opis
1	VDD	-	SensorTag VDD, zasilanie na płytce SensorTag
2	GND	-	SensorTag GND, masa zasilania i sygnałowa
3	SCL	DIO_5	Szyna I ² C na płytce SensorTag, podciąganie 10 kΩ do VDD
4	SDA	DIO_6	Szyna I ² C na płytce SensorTag, podciąganie 10 kΩ do VDD
5	DP12/AUDIO_FS/TDO	DIO_16	Multipleksowane z JTAG_TDO (1)
6	DP7/AUDIO_CLK	DIO_11	Mikrofon cyfrowy - wejście CLK
7	DP11/CSN	DIO_20	Wyprowadzenie cyfrowe układu CC13xx/CC26xx(wolne)
8	DP6/AUDIO_DO	DIO_22	Wyprowadzenie cyfrowe układu CC13xx/CC26xx (wolne)
9	VDD_OUT	-	Wejście zewnętrznego zasilania (2)
10	DP5/UART_TX	DIO_29	TX UART, transmitowane przez Debug DevPack do komunikacji z PC (1)
11	DP10/MOSI	DIO_19	„Zewnętrzna” pamięć (układ pamięci Flash na płytce SensorTag, wejście danych) (1)
12	DP4/UART_RX	DIO_28	RX UART, transmitowane przez Debug DevPack do komunikacji z PC (1)
13	DP9/MISO	DIO_18	„Zewnętrzna” pamięć (układ pamięci Flash na płytce SensorTag, wyjście danych) (1)
14	DP3/PWM3	DIO_	Wyprowadzenie analogowe/cyfrowe (wolne)
15	DP8/SCLK/TDI	DIO_17	Multipleksowane z JTAG_TDI (1) „Zewnętrzna” pamięć (układ pamięci Flash na płytce SensorTag, wejście zegarowe) (1)
16	DP2/PWM2	DIO_23	Wyprowadzenie analogowe/cyfrowe układu CC13xx/CC26xx (wolne)
17	DP_ID	DIO_30	Wejście dzielnika napięcia określającego napięciowo typ dołączonego modułu DevPack. Na płytce SensorTag rezystor 200kΩ do VDD, na modułach rezystor do masy: Debug 750kΩ, Display 820kΩ, LED 300kΩ.
18	DP1/BUTTON2/PWM1	DIO_24	Wyprowadzenie analogowe/cyfrowe układu CC13xx/CC26xx (wolne)
19	PWR_GOOD	-	Wysoki poziom powoduje wybranie zasilania (zewnętrznego) płytki SensorTag z wyprowadzenia 9 złącza. Poziom domyślny niski ustalany przez rezystor 2MΩ do masy (na płytce SensorTag).
20	DP0/LED2/PWM0	DIO_25	Wyprowadzenie analogowe/cyfrowe układu CC13xx/CC26xx (wolne)

(1) Używane do debugowania/programowania na płytce zestawu SensorTag. Nie używać w projektach.

(2) Płytkę SensorTag zawiera analogowy przetwornik zasilania pomiędzy baterią (wewnętrzne) albo wyprowadzeniem 9 złącza DevPack Connector (zewnętrzne). Sygnał przełączania jest pobierany z wyprowadzenia 19 tego złącza. Jego wysoki poziom powoduje wybranie zasilania zewnętrznego.

sekcja o nazwie „Build your own DevPack”. Jest tam też odnośnik do pliku zip o tej samej nazwie zawierający sprzętowy projekt startowy.

Płytkę modułu DevPack jest mocowana na złączu rozszerzeń DevPack Connector znajdującym się na dolnej powierzchni płytki zestawu SensorTag. W przypadku modułu Watch DevPack oraz Display DevPack nie trzeba nawet zdejmować obudowy plastikowej zestawu. Dla dołączenia modułu Debug DevPack trzeba najpierw z obudowy plastikowej zestawu SensorTag usunąć zaślepkę [2].

Jako złącze rozszerzeń DevPack Connector zastosowano konektor LSS-110-01-F-DV-A firmy Samtec, który ma własność samoopasowania (takie same obie części). Zapewnia on dużą szybkość działania i duży prąd (1,7 A na wyprowadzenie). Rozkład sygnałów na złączu DevPack Connector pokazano w tabeli 1.

Numeracja wyprowadzeń złącza rozszerzeń DevPack Connector na module rozszerzeń DevPack jest symetrycznie zamieniona w stosunku do płytki SensorTag, czy wyprowadzenie 1 staje się wyprowadzeniem 2 itd.

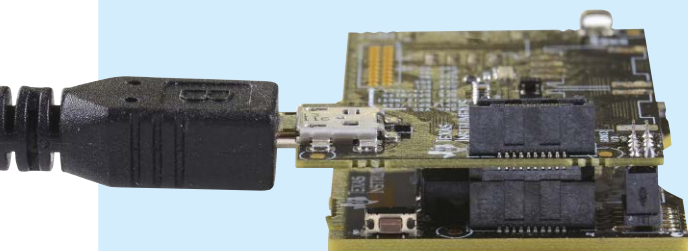
Należy zwrócić uwagę na wyprowadzenia, które są multipleksowane pomiędzy różne funkcje. Szczególnie kilka wyprowadzeń jest używanych przez moduł Debug DevPack do obsługi łącza JTAG. Powoduje to np. blokowanie obsługi pamięci Flash SPI na płytce zestawu SensorTag. A to, po dołączeniu modułu Debug DevPack, uniemożliwia aktualizację oprogramowania firmowego (FW) zestawu CC2650 SensorTag przez radiowe łącze bezprzewodowe (OAD). Zdalna aktualizacja wymaga zapisania najpierw obrazu kodu w pamięci Flash płytki, zweryfikowania integralności kodu i dopiero przepisania go do pamięci wewnętrznej układu CC2650.

Aplikacja SensorTag

Jest udostępniona darmowa aplikacja *SensorTag* dla urządzenia mobilnego (smartfon/iPad), obsługującego transmisję bezprzewodową Bluetooth LE ver.4.0 (lub nowszą) do zestawu CC2650 SensorTag. Sposób pobierania, instalowania i użytkowania tej aplikacji został dokładnie omówiony w drugim odcinku kursu [2].

W skrócie postępowanie zdalnego reprogramowania (OAD) zestawu SensorTag wygląda tak:

1. Uruchom aplikację *SensorTag* na swoim urządzeniu mobilnym.
2. Uruchom zestaw SensorTag (np. przyścisnij przycisk Power), zielona dioda LED powinna zacząć błyskać. Nie może być do niego dołączony moduł Debug DevPack. Ale mogą być dołączone inne moduły DevPack. Zestaw musi być zasilany z baterii lub zewnętrznie.
3. W głównym oknie aplikacji *SensorTag* wyszukaj na liście „Bluetooth Smart Devices” swój zestaw SensorTag.
4. Po kliknięciu na niego zostanie wyświetlone okienko wyboru. Kliknij na „Sensor View”.
5. Na dole okna SensorView jest pole polecenia FW Download – możliwość aktualizowania oprogramowania firmware w oknie „TI OAD profile”.
6. Po wybraniu polecenia „Select FW File” wyświetlana jest lista z plikami obrazu kodu dla obsługi różnych urządzeń.
7. Pliki z kodem programu firmowego „DEMO” z wersjami kompatybilnymi dla wykrytego zestawu CC2650 SensorTag (pokazywane z nazwą Sensor Tag 2) są dodatkowo oznaczone. Obrazy kodu są dostępne dla protokołu komunikacyjnego BLE (v1.20, v1.30) oraz ZigBee (v1.12). Lista zawiera również pliki



Rysunek 1. Płytkę modułu Debug DevPak nałożoną bezpośrednio na płytke zestawu CC2650 SensorTag [10]

obrazu kodu przykładowego dla obsługi modułów rozszerzeń LED Devpack oraz LCD screen Devpack.

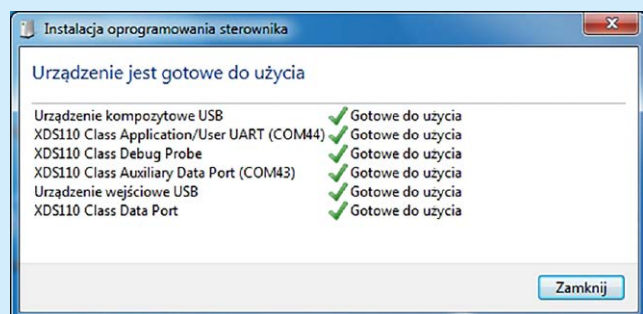
Moduł rozszerzeń Debug DevPack

Bardzo przydatnym, a właściwie koniecznym, uzupełnieniem zestawu CC2650 SensorTag jest moduł rozszerzeń Debug DevPack. Moduł Debug DevPack posiada stronę produktu [9]. Na niej jest schemat, opis sprzętowy oraz pliki źródłowe projektu sprzętowego. Zawiera też odnośnik do strony Wiki TI „Debug DevPack User Guide” [10]. A tam jest tam opis jak używać modułu z zestawem CC2650 SensorTag.

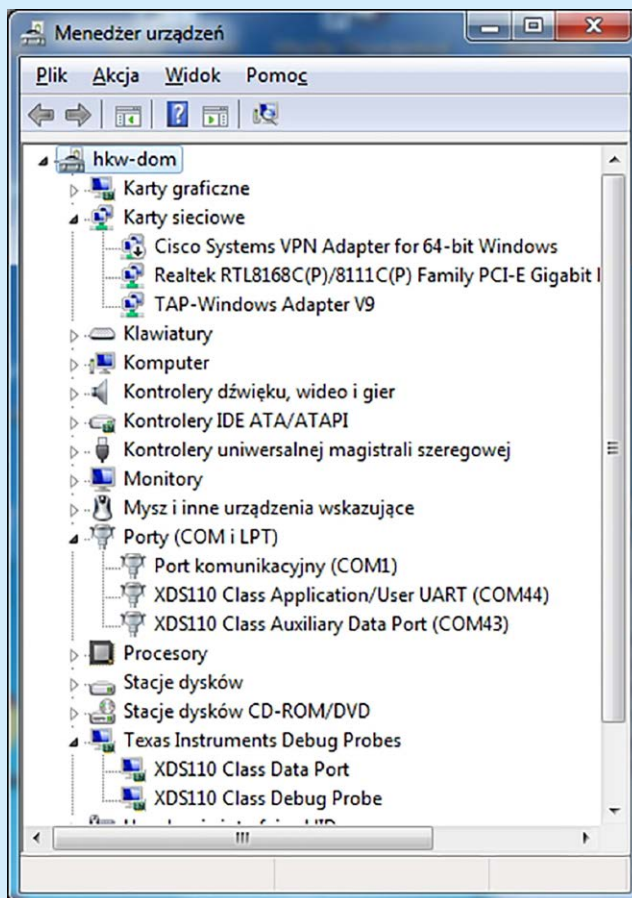
Moduł Debug zawiera układ emulatora sprzętowego typu XDS110. Obecna wersja modułu Rev1.30 działa bardzo poprawnie. Ale raczej z zestawem CC2650 SensorTag też w wersji Rev1.30. Aby założyć moduł Debug na zestaw CC2650 SensorTag zamknięty w obudowie plastikowej należy wyciąć/wyłamać w czarnej, plastikowej obudowie (od tyłu) pole przeznaczone na 10-nóżkowe złącze JTAG. Następnie, należy nałożyć płytkę modułu Debug na tylną (czarną) obudowę plastikową zestawu CC2650 SensorTag tak aby połączyć 20-nóżkowe złącze rozszerzeń oraz 10-nóżkowe złącze JTAG (**rysunek 1**). Płytkę modułu Debug DevPak nałożoną na zestaw CC2650 SensorTag w obudowie plastikowej jest pokazana na zdjęciu tytułowym artykułu.

Po dołączeniu modułu rozszerzeń Debug układ przełącznika elektronicznego TPS22910 na płytce zestawu CC2650 SensorTag przełącza źródło zasilania na wyprowadzenie 9 (VDD_OUT) złącza rozszerzeń J2. Wtedy zasilanie kompletu CC2650 SensorTag + Debug DevPack jest dostarczane ze złącza USB modułu Debug. Można wyjąć baterię CR2032 lub założyć pod styki plastikowe zabezpieczenie. Jest to bardzo przydatne podczas długotrwałych prób programowania.

Po połączeniu modułu Debug DevPack z komputerem kablem USB-A USB-Micro zaczyna świecić zielona dioda LED na płycie modułu Debug DevPack co sygnalizuje, że moduł jest gotowy do pracy. Jeśli zestaw CC2650 SensorTag ma zaprogramowany program firmowy „DEMO” to zaczyna też błyskać zielona dioda LED na płytce zestawu CC2650 SensorTag. Dołączenie modułu Debug DevPack nie powoduje blokowania działania programu na płytce zestawu CC2650 SensorTag.



Rysunek 2. Informacja o zainstalowaniu drajwerów XDS110



Rysunek 3. Udostępnione zasoby emulatora XDS110 modułu Debug DevPack

Drajwery XDS110

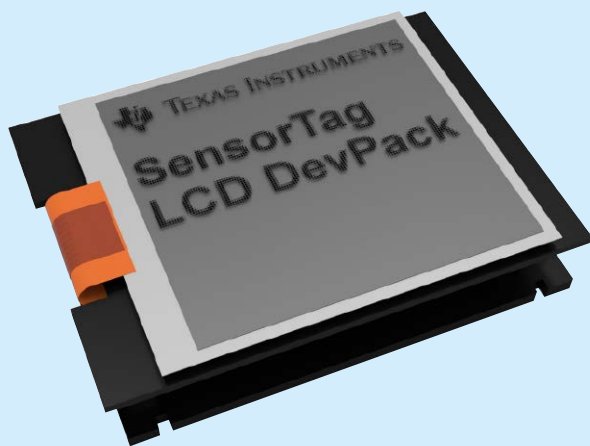
Przed zainstalowaniem drajwerów emulatora XDS110 modułu Debug DevPack system operacyjny Windows pokazuje w Menedżerze Urządzeń nieznanne urządzenia. System Windows sam pobiera z sieci Internet i instaluje drajwery (**rysunek 2**). Po ich zainstalowaniu pokazywane są dwa porty COM: Application/User oraz Auxiliary Data. Pokazywane są też dwie pozycje nazywane jako „Debug/Data probe”. W środowisku programowym CCS v6x/7x moduł Debug DevPack jest dołączany jako „XDS110 USB Debug Probe” (**rysunek 3**). Po dołączeniu modułu Debug DevPack może się pojawić komunikat „A firmware update is required for debug probe”. Należy koniecznie kliknąć na „Yes” i odczekać na potwierdzenie zakończenia aktualizacji.

Moduł Watch DevPack (Display DevPack)

Moduł Watch DevPack (Display DevPack) posiada stronę produktu [11]. Dostarcza raczej mało informacji, ale zawiera odnośnik do strony Wiki TI „Display DevPack User Guide” [12]. Tam jest opis jak używać modułu z aplikacją *SensorTag*. Nigdzie nie ma za to odnośnika do strony „DEVPACK-WATCH, TIDC-DEVPACK-DISPLAY” [13]. A to na niej jest schemat [14], opis sprzętowy [15] oraz pliki źródłowe projektu sprzętowego.

Moduł Display DevPack zawiera tylko monochromatyczny wyświetlacz LCD z panelem TFT. Ma on przekątną 13,5”, rozdzielczość 96×96 pikseli (9216) i pobiera prąd o natężeniu tylko 2 μA. Panel jest dołączony do złącza rozszerzeń DevPack Connector. Zasilanie panela LCD jest pobierane z płytki zestawu SensorTag (VDD). Dane do panela są doprowadzone łączem szeregowym SPI (**rysunek 4**).

Obsługa modułu Watch DevPack z aplikacją *SensorTag* jest opisana na stronie Wiki TI „Display DevPack User Guide” [12]. W celu



Rysunek 4. Moduł Watch DevPack [23]

pracy należy dołączyć moduł Watch DevPack do zestawu zestawem SensorTag. Należy nałożyć na siebie gniazda DevPack Connector obu płytek i złączyć. Do zestawem SensorTag nie może być dołączony moduł Debug DevPack.

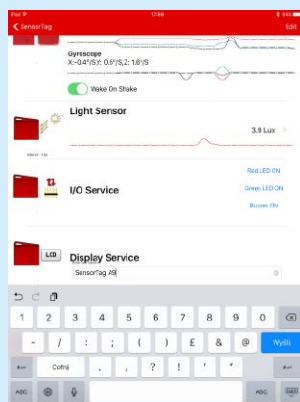
Program obsługi panela LCD najlepiej pobrać z użyciem aplikacji *SensorTag* dla urządzenia mobilnego. W punkcie 7 reprogramowania zestawu SensorTag należy wybrać pozycję „*SensorTag2 v1.20 (BLE) LCD screen DevPack FW*”. Po zakończeniu reprogramowania wyświetlana jest na ekranie LCD informacja: nazwa modułu, adres MAC (w hex), wersja FW. Na dole panela wyświetlany jest stan komunikacji łącza Bluetooth. To może być Waiting, Advertising (i odczyt napięcia baterii) lub Connected.

Po pierwszym uruchomieniu zestawu w okolicach środka panela wyświetlana jest linia kresiek. W oknie *SensorView* aplikacji *SensorTag* jest teraz dostępna linia *Display Service*. Po kliknięciu na pole pustej ramki pokazuje się klawiatura i można wpisać komunikat. Po kliknięciu na pole Wyślij (Send) napis pojawia się na panelu LCD w miejsce kresiek (rysunek 5). Po dłuższym naciśnięciu na przycisk Power zestawu przechodzi on do stanu uśpienia. Wyświetlany jest stan „Waiting”. Wpisany komunikat nadal jest wyświetlany.

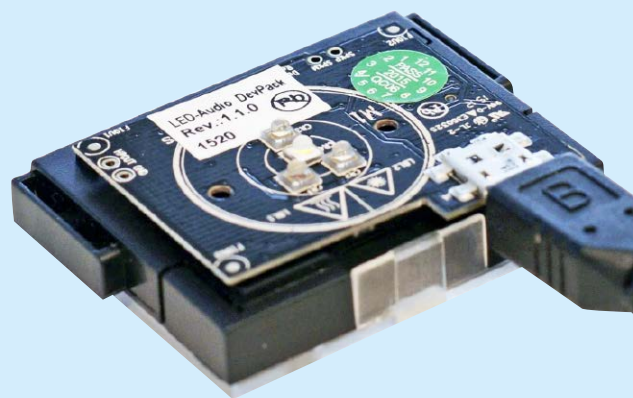
Jeśli potrzebny jest powrót do poprzedniej wersji programu to wystarczy powtórzyć powyższe postępowania reprogramowania zestawu SensorTag lecz tym razem należy wybrać pozycję „*SensorTag2 v1.20 (BLE) FW*”.

Moduł LED Audio DevPack

Moduł LED Audio DevPack (rysunek 6) ma stronę produktu [16]. Dostarcza raczej mało informacji, ale zawiera odnośnik do strony



Rysunek 5. Linia obsługi modułu Watch DevPack



Rysunek 6. Moduł LED Audio DevPack [17]

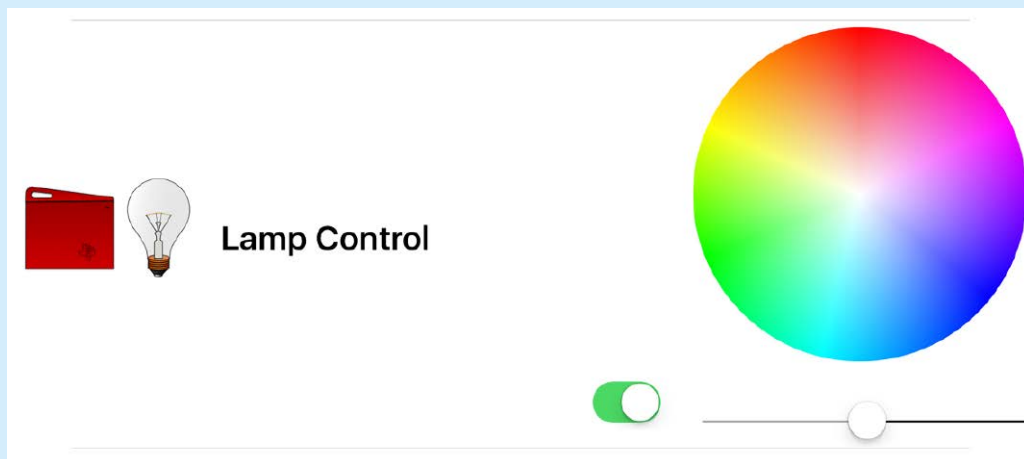
Wiki TI „LED Audio DevPack User Guide” [17]. Tam jest opis jak używać modułu z aplikacją *SensorTag*. Ponownie nie ma odnośnika do strony „DEVPACK-LED-AUDIO, TIDC-DEVPACK-LED-AUDIO” [18]. A to na niej jest schemat [19], opis sprzętowy [20] oraz pliki źródłowe projektu sprzętowego.

Moduł LED Audio DevPack zawiera 4 jasne diody LED i cyfrowy wzmacniacz audio. Diody LED są indywidualnie sterowane sygnałem PWM z zestawu SensorTag. Zostały użyte diody 1 W z serii OSRON SSL80 (prąd do 1 A) w kolorach: biały, czerwony, zielony i niebieski. Diody są podłączone indywidualnie do tranzystorów BC817. Płytkę modułu LED Audio DevPack ma otwory, do których można zamontować zestaw plastikowych soczewek.

Moduł zawiera monofoniczny wzmacniacz audio (4W) klasy D typu TAS2505 z wyjściami dla głośnika i słuchawek. Wzmacniacz jest dołączony do złącza rozszerzeń DevPack Connector łączem szeregowym I2S. Łącze I2S nie jest obsługiwane przez aktualne wersje oprogramowania zestawu CC2650 SensorTag.

Moduł LED Audio DevPack jest zasilany ze złącza MicroUSB. Na płytce jest zamontowana przetwornica DC/DC dostarczająca napięcia 3,3 V do zasilania diod LED modułu oraz dostarczająca napięcia zasilania na złącze rozszerzeń DevPack Connector. Podczas pracy diod LED z pełną intensywnością pobór ze złącza USB może dochodzić do 2 A (może to wymagać zasilania dużej mocy).

Obsługa modułu LED Audio DevPack z aplikacją *SensorTag* jest opisana na stronie Wiki TI „LED Audio DevPack User Guide” [13]. W celu pracy uruchomienia należy dołączyć moduł LED Audio DevPack do zestawu zestawem SensorTag. Należy nałożyć na siebie gniazda DevPack Connector obu płytek i złączyć. Następnie należy do złącza MicroUSB dołączyć kabel USB podłączony np.



Rysunek 7. Linia obsługi modułu LED Audio DevPack

do gniazda USB A komputera, do ładowarki USB lub do baterii typu PowerBank.

Program obsługi modułu LED najlepiej pobrać z użyciem aplikacji *SensorTag* dla urządzenia mobilnego. W punkcie 7 reprogramowania zestawu *SensorTag* należy wybrać pozycję „*SensorTag2 v1.20 (BLE) LED DevPack FW*”. Po zakończeniu reprogramowania można przejść do pracy (rysunek 7).

W oknie *SensorView* aplikacji *SensorTag* jest teraz dostępna linia *Lamp Control*. Dotykowy przełącznik włącza/wyłącza świecenie. Pozioma linia z białym okrągłym suwakiem służy do regulacji poziomu maksymalnego intensywności świecenia (aż do zupełnego wyłączenia). Koło barwne służy do ustawienia koloru sumarycznego świecenia w modelu HSL [3]. Są cztery składowe: biała, czerwona, zielona, niebieska. Cała zewnętrzna czarna linia koła barwnego odpowiada sytuacji bez świecenia diody białej. Im bliżej środka to do świecenia 3 składowych kolorowych zostaje dodane coraz więcej świecenia diody białej. Sam środek odpowiada świecenia tylko diody białej.

Należy uważać na oczy przy bardziej intensywnym świeceniu. Sumaryczne natężenie światła może być bardzo duże.

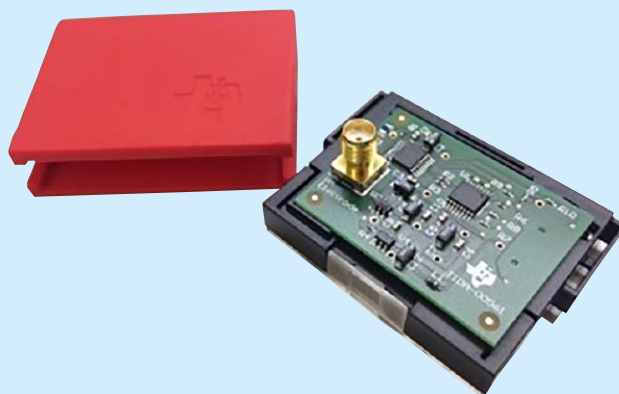
TI Designes

Texas Instruments udostępnia wiele kompletnych projektów sprzętowo-programowych z różnych dziedzin po nazwą TI Designes [20]. Jest ich obecnie (11.2016) ponad 2373. Wiele z nich jest wdrażanych do produkcji przez TI i dostępnych do kupienia. Ale największą nie. Jest jednak duży kłopot w znalezieniu pasującego projektu, np. do zestawu *SensorTag*.

Odnośnik do projektu pomiaru pH „Wireless pH Sensor Transmitter” w formie modułu *DevPack* [21] znalazłem na niezależnej stronie [8]. Na jednej płytce drukowanej został zintegrowany scalony układ dedykowany LP91200 typu AFE (Analog Front End) oraz przetwornik A/C typu ADS1120. Moduł razem z zestawem *SensorTag* tworzy, po dołączeniu zewnętrznej sondy pH, zdalny układ pomiarowy o zakresie do 14 pH, z dokładnością 0,01 pH (rysunek 8).

Następny dostępny projekt w formie modułu *DevPack* to „Daisy-chained Cable for SensorTag” [22]. Układ umożliwia dołączenie szeregu połączonych czujników temperatury TMP107 do portu UART zestawu *SensorTag* poprzez złącze rozszerzeń *DevPack Connector*.

Moduł rozszerzeń *Debug DevPack* jest również używany jako dołączany emulator sprzętowy do zestawu zdalnego sterowania



Rysunek 8. Moduł „Wireless pH Sensor Transmitter” [21]

CC2650RC (TI). Płytkę zestawu posiada 20-nóżkowe złącze rozszerzeń *DevPack Connector* oraz 10-nóżkowe złącze *JTAG*.

Reprogramowanie zestawu CC2650 SensorTag

Możliwość reprogramowania zestawu zestaw *CC2650 SensorTag* do fabrycznego programu firmowego („*DEMO*”) jest bardzo istotnym elementem końcowym każdych prób z własnymi projektami programowymi.

Wpisywanie kodu do układu scalonego *CC2650 SensorTag* można wykonać na trzy sposoby:

1. Pobieranie obrazu kodu z radiowego łącza bezprzewodowego standardu Bluetooth LE.

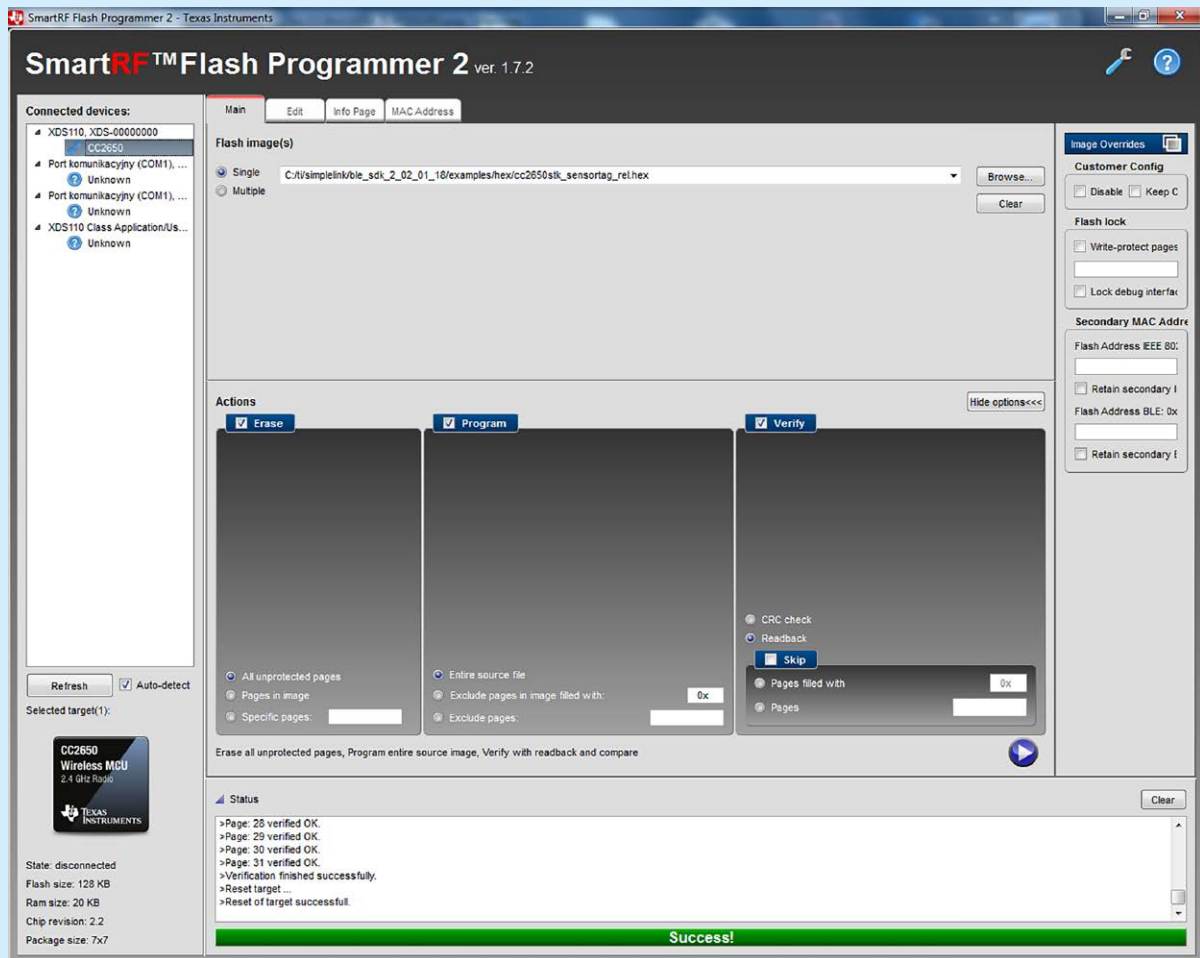
Do pracy potrzebny jest tylko zestaw *CC2650 SensorTag* (zasilany z baterii) oraz urządzenie mobilne z obsługą standardu Bluetooth LE (4.0 lub nowszy). Pakiet stosu Bluetooth LE dostarczany przez firmę Texas Instruments BLE 2.2.1 SDK (BLE-STACK 2.2.1) udostępnia operację *Over the Air Download (OAD)* – ładowania obrazu kodu oprogramowania do zestawu *SensorTag*. Obrazy kodu dla różnych wersji programu „*Demo*” są przygotowane przez firmę Texas Instruments. Aplikacja *SensorTag* dla urządzeń mobilnych (smartfon/iPad) udostępnia operację *OAD [xx]*. Sposób postępowania z aplikacją *SensorTag* jest dokładnie opisany w drugim odcinku serii [2].

2. Wpisywanie obrazu kodu poprzez łącze *JTAG* procesora bezpośrednio do wewnętrznej pamięci Flash układu scalonego *CC2650*.

Do pracy potrzebny jest zestaw *CC2650 SensorTag* z dołączonym modułem rozszerzeń *Debug DevPack*. Zasilanie całego kompletu jest dostarczane ze złącza USB modułu *Debug*. Moduł

Bibliografia:

1. Systemy dla Internetu Rzeczy (1): Zestaw *CC2650 SensorTag*, *Elektronika Praktyczna*, 12/2016
2. Systemy dla Internetu Rzeczy (2): Użytkowanie zestawu *CC2650 SensorTag*, *Elektronika Praktyczna*, 1/2017
3. *C2000 Piccolo LanuchPad* (12) – łatwy pomiar koloru, EP 4/2014
4. SimpleLink Bluetooth low energy/Multi-standard *SensorTag CC2650STK* <https://goo.gl/EXNcAE>
5. IoT made easy <https://goo.gl/dTCIw1>
6. *SensorTag2015 (TI WIKI)* <https://goo.gl/dzwEKG>
7. *CC2640/CC2650 Getting Started and FAQ*, 2016 Oct 31 <https://goo.gl/GgOwm0>
8. *CC2650 Sensor Tag DevPack Notes*, <https://goo.gl/b4Ez5S>
9. SimpleLink *SensorTag Debugger DevPack CC-DEVPACK-DEBUG*, <https://goo.gl/D2YdRE>
10. *Debug DevPack User Guide* <https://goo.gl/yFC2Nc>
11. *Watch DevPack (ACTIVE) DEVPACK-WATCH* <https://goo.gl/LDI3lv>
12. *Display DevPack User Guide* <https://goo.gl/lrhV1R>
13. *DEVPACK-WATCH, TIDC-DEVPACK-DISPLAY* <https://goo.gl/qLEctx>
14. *TIDC-DEVPACK-DISPLAY Schematic, TIDRFR5*, 01 Jul 2015 <https://goo.gl/KetQ88>
15. *Display DevPack Design Guide*, <https://goo.gl/ubkSel>, 17 Jun 2015 *LED Audio DevPack, DEVPACK-LED-AUDIO* <https://goo.gl/pOuQu4>
16. *LED Audio DevPack User Guide*, <https://goo.gl/sRkXtR>
17. *DEVPACK-LED-AUDIO, TIDC-DEVPACK-LED-AUDIO*, <https://goo.gl/GcsNRf>
18. *TIDC-DEVPACK-LED-AUDIO Schematic*, <https://goo.gl/00p9Ke>, 01 lipca 2015
19. *LED Audio DevPack Design Guide, TIDUA61*, 19 Jun 2015
20. Texas Instruments Reference Designs <https://goo.gl/nFjJev>
21. *Wireless pH Sensor Transmitter (DevPack for SensorTag) Reference Design, TIDA-00561*, <https://goo.gl/aaam07>
22. *Daisy chain temperature sensor reference design for SensorTag, TIDA-00800*, <https://goo.gl/md7Fij>
23. *MobileModding, tech blog*, <https://goo.gl/SCNLAA>
24. *SmartRF Flash Programmer 2, Ver.1.7.4,06-JUL-2016* <https://goo.gl/tMa5Md>



Rysunek 9. Program SmartRF Flash Programmer 2

Debug należy połączyć z komputerem kablem USB-A USB-Micro. Najłatwiej, programowanie zestawu CC2650 SensorTag można wykonać przy zastosowaniu na komputerze PC programu SmartRF Flash Programmer 2 [24]. Program ten pozwala na pobranie zawartości wskazanego pliku z obrazem kodu (rozszerzenie .hex) i wpisania jej do wewnętrznej pamięci Flash układu scalonego CC2650 poprzez łącze JTAG (rysunek 9).

Obrazy kodu (.hex) dla różnych wersji programu „Demo” są udostępniane w folderach zainstalowanego na komputerze PC oprogramowania, np. dla stosu BLE 2.2.1 jest to folder C:\ti\simplelink\ble_sdk_2_02_01_18\examples\hex\cc2650stk_sensortag_rel.hex

Po wpisaniu do układu CC2650 program zgłasza się jako FW rev. 1.40 (Oct 26 2016). Niestety jest spore zamieszanie z wersjami stosu, systemu operacyjnego TI-RTOS i oprogramowania firmowego. Aplikacja SensorTag pracująca na tablecie iPad zasygnalizowała, że wersja jest nieaktualna, bo najnowsza wersja, którą oferowała to 1.30.

Jeśli na komputerze jest zainstalowany program BLE Device Monitor ver. 2.3.0 [4] to w folderze C:\Program Files (x86)\Texas Instruments\SmartRF Tools\BLE Device Monitor\firmware\cc26xx\sensortag jest dostępnych wiele plików hex z różnymi wersjami kodu (BLE 2.2) dla zestawu CC2650 SensorTag:

- wersja pełna (demo) CC2650SensorTag_BLE_All_v1_20.hex (oraz v1_30 i v1_33),
 - wersja z obsługą LCD CC2650SensorTag_BLE_App_LCD_v1_30 (oraz v1_33),
 - wersja z obsługą diody LED CC2650SensorTag_BLE_App_Light_v1_30 (oraz v1_33) oraz kilka innych wersji, np. Audio,
- Wymagane postępowanie przy programowaniu jest opisane w [8]:

- Wystartuj program SmartRF Flash Programmer 2.
- Kliknij na przycisk Refresh.
- W oknie Connected devices zaznacz CC2650. Na dole okna pokazywane są parametry rozpoznanego układu scalonego dołączonego poprzez emulator XDS110.
- W oknie Flash image(s) wskaź ścieżkę (Browse) do wybranego pliku.
- W oknie Actions powinny być zaznaczone opcje: Erase, Program i Verify.
- Kliknij na przycisk Go (ikonka Play – trójkącik).
- Jeśli programowanie się powiedzie, to na zielonym pasku będzie napis „Success”!

3. Wpisywanie kodu binarnego poprzez łącze JTAG procesora.

Do pracy potrzebny jest zestaw CC2650 SensorTag z dołączonym modułem rozszerzeń Debug DevPack. Oraz darmowy program Code Composer Studio (TI) w wersji 7.0 (co najmniej 6.1.2). Są dwa sposoby generowania kodu binarnego projektu i programowania układu scalonego CC2650:

 - a. Zastosowanie aplikacji Code Composer Studio lokalnie zainstalowanej na komputerze PC.
 - b. Zastosowanie aplikacji Code Composer Studio pracującej w chmurze obliczeniowej.

Gdy zamierzamy pracować z oprogramowaniem firmowym to w obu przypadkach należy wskazać folder z projektem źródłowym. Potem należy go załadować do CCS, zbudować i uruchomić sesję debugową z ładowaniem kodu. W obu wypadkach jest to trochę bardziej skomplikowane. Dokładny opis zostanie zamieszczony w przyszłych odcinkach serii.

Henryk A. Kowalski
kowalski@ii.pw.edu.pl