

Mikrokontrolery STM32 Value Line

Cenowy wyrok na 8-bitowce

Mikrokontrolery STM32 Value Line rzeczywiście można ocenić jako „Value”: są szybkie, oferują konstruktorom i programistom duże zasoby – w tym także pamięć Flash o dużej pojemności – do tego kosztują porównywalnie, a nawet nieco mniej niż popularne na naszym rynku mikrokontrolery 8-bitowe.

Dodatkowe informacje:
 Przykładowe projekty dla zestawu STM32DiscoveryKit są dostępne pod adresem: www.st.com/stm32-discovery

Common core peripherals and architecture:

Communication peripherals: USART, SPI, I2C
Multiple general-purpose timers
Integrated reset and brown-out warning
Multiple DMA
2x watchdogs
Real-time clock
Integrated regulator PLL and clock circuit
External memory interface (FSMC)
Dual 12-bit DAC
Up to 3x 12-bit ADC (1 µs or 0.5 µs for F-2 series)
Main oscillator and 32 kHz oscillator
Low-speed and high-speed internal RC oscillators
-40 to +85 °C and up to 105 °C operating temperature range
Low voltage 2.0 to 3.6 V or 1.65 to 3.6 V (L-1 and F-2 series) 5.0 V tolerant I/Os
Temperature sensor

F-2 series - STM32F207/217 and STM32F205/215	120 MHz Cortex-M3 CPU	Up to 128-Kbyte SRAM	Up to 1-Mbyte Flash	2x USB 2.0 OTG FS/HS	3-phase MC timer	2x CAN 2.0B	SDIO	Ethernet IEEE 1588	Crypto/hash processor and RNG
F-1 series - Connectivity line STM32F105/STM32F107	72 MHz Cortex-M3 CPU	Up to 64-Kbyte SRAM	Up to 256-Kbyte Flash	USB 2.0 OTG FS	3-phase MC timer	2x CAN 2.0B	2x IFS audio	Ethernet IEEE 1588	
F-1 series - Performance line STM32F103	72 MHz Cortex-M3 CPU	Up to 96-Kbyte SRAM	Up to 1-Mbyte Flash	USB FS device	3-phase MC timer	CAN 2.0B	SDIO 2x IFS		
F-1 series - USB Access line STM32F102	48 MHz Cortex-M3 CPU	Up to 16-Kbyte SRAM	Up to 128-Kbyte Flash	USB FS device					
F-1 series - Access line STM32F101	36 MHz Cortex-M3 CPU	Up to 80-Kbyte SRAM	Up to 1-Mbyte Flash						
F-1 series - Value line STM32F100	24 MHz Cortex-M3 CPU	Up to 32-Kbyte SRAM	Up to 512-Kbyte Flash		3-phase MC timer		CEC		
L-1 series - STM32L151/2	32 MHz Cortex-M3 CPU	Up to 16-Kbyte SRAM	Up to 128-Kbyte Flash	USB FS device	Data EEPROM 4 Kbytes	LCD 8x40	Comparator	BOR MSI VScal	

Value i inne w rodzinie STM32

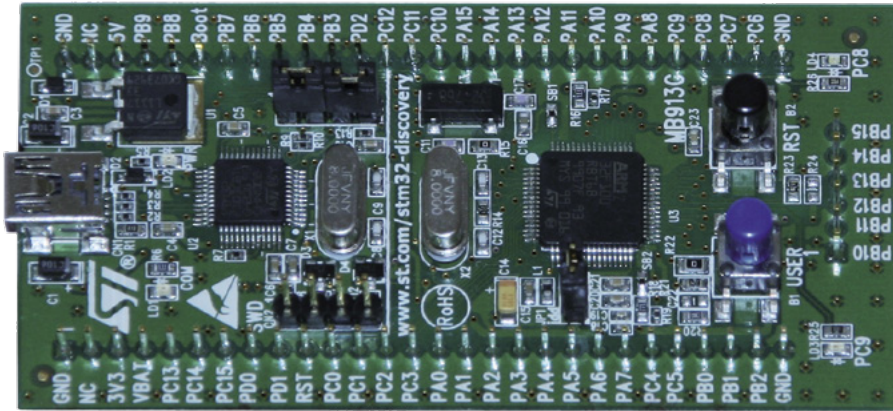
W ramach rodziny STM32 jest dostępnych siedem podrodzin mikrokontrolerów, podzielonych na cztery grupy (rysunek 1):

- F-1 – uniwersalne mikrokontrolery pierwszej generacji (STM32F1xx), taktowane do 72 MHz,
- F-2 – uniwersalne mikrokontrolery drugiej generacji (STM32F2xx), taktowane do 120 MHz,
- L-1 – mikrokontrolery energooszczędne (STM32L15x), taktowane do 32 MHz,
- STM32W – mikrokontrolery zintegrowane z transceiverem radiowym zgodnym z IEEE 802.15.4 (pasmo ISM 2,4 GHz), taktowane do 24 MHz.

Grupa F-1 składa się z następujących rodzin:

- Value Line (STM32F100) – najtańsze w rodzinie STM32 mikrokontrolery oferowane w czterech wersjach obudów,

Rysunek 1. Schematy blokowe mikrokontrolerów STM32 z linii F-1, F-2 i L-1



Fotografia 2. Wygląd zestawu STM32 Value Line Discovery Kit

wyposażone w pamięci programu Flash o pojemności do 128 kB, SRAM do 8 kB taktowane sygnałem zegarowym o maksymalnej częstotliwości 24 MHz, wyposażone we wszystkie standardowe interfejsy komunikacyjne oraz bogaty zestaw bloków peryferyjnych, w tym przetwornik A/C, dwukanałowy C/A oraz – jako pierwszy mikrokontroler z rdzeniem Cortex-M3 – interfejs HDMI-CEC,

- *Access Line* i *XL Access Line* (STM32F101) – popularne mikrokontrolery oferowane w szerokiej gamie obudów, wyposażone w pamięci programu Flash o pojemności do 512 kB, taktowane sygnałem zegarowym o maksymalnej częstotliwości 36 MHz, wyposażone we wszystkie standardowe interfejsy komunikacyjne oraz bogaty zestaw bloków peryferyjnych, w tym przetwornik A/C. Mikrokontrolery XL Access Line charakteryzują się pojemnością pamięci Flash do 1 MB i pamięcią SRAM o pojemności do 128 kB,
- *USB Access Line* (STM32F102) – mikrokontrolery oferowane w obudowach o liczbie wyprowadzeń 48 lub 64,

o funkcjonalności i wyposażeniu zbliżonym do podrodziny STM32F101 (maksymalna częstotliwość taktowania wynosi 48 MHz), pamięci Flash o pojemności do 128 kB, dodatkowo wyposażone w interfejs USB device (*Full Speed*),

- *Performance Line* oraz *XL Density Line* (STM32F103) – mikrokontrolery o bogatszym wyposażeniu niż wersje F101 i F102, przystosowane do taktowania sygnałem o częstotliwości do 72 MHz, mają wbudowane m.in. interfejsy SDIO, CAN, I²S oraz timery PWM (mogą sterować pracą silników elektrycznych), dostępne we wszystkich wariantach obudów z pamięciami programu o pojemności do 512 kB. Mikrokontrolery *XL Density Line* charakteryzują się pojemnością pamięci Flash do 1 MB i pamięcią SRAM o pojemności do 128 kB,
- *Connectivity Line* (STM32F105/107) – mikrokontrolery wyposażone w interfejs USB-OTG oraz (wyłącznie wersje F107) ethernetowy MAC z możliwością obsługi standardu IEEE1588 (patrz rysunek). Mikrokontrolery z tej grupy wyposażono w CPU identyczne z zastosowanym

Interfejsy do programowania i debugowania wbudowane w obydwa prezentowane zestawy są obsługiwane (ponieważ są zgodne z interfejsem ST-Link) przez bezpłatną wersję pakietu TrueSTUDIO Lite firmy Atollic.

w F103 (taktowanie do 72 MHz), dwa interfejsy I²S, dwa interfejsy CAN oraz wiele standardowych interfejsów komunikacyjnych.

Grupa F-2 składa się obecnie z jednej rodziny mikrokontrolerów: (STM32F20x/21x) są to mikrokontrolery podobne konstrukcyjnie do rodziny *Connectivity Line*, taktowane sygnałem zegarowym do 120 MHz. Dostęp do Flash o pojemności do 1 MB odbywa się z pełną prędkością taktowania CPU dzięki specjalnemu interfejsowi ART Accelerator (*Adaptive Real-Time Accelerator*). W mikrokontrolerach F-2 przyspieszono także standardowe peryferia komunikacyjne: USART do 7,5 Mb/s, SPI do 30 Mb/s, GPIO do 60 MHz, FSMC do 60 MHz, skrócono ponadto czas konwersji A/C do 500 ns (2 MSpS). Interfejs USB w serii F-2 jest przystosowany do pracy w trybie HS (do 480 Mb/s), niektóre mikrokontrolery z serii F-2 będą wyposażone także w interfejsy (od 8 do 14 bitów) kamer CCD przystosowane do transferu danych z prędkością 48 MB/s. Interesującym, nowym elementem wyposażenia mikrokontrolerów F-2 jest także sprzętowy moduł kryptograficzny AES256, umożliwiający szyfrowanie/desyfrowanie danych z prędkością do 106 MB/s.

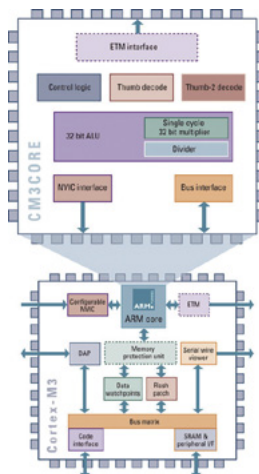
Grupa L-1 składa się obecnie z dwóch rodzin: *STM32L151* oraz *STM32L152*, przystosowanych do zasilania napięciami z zakresu 1,65 do 3,6 V, taktowanych sygnałem zegarowym o częstotliwości do 32 MHz. Pamięć Flash ma pojemność 64 lub 128 kB, pamięć SRAM 10 lub 16 kB. Są bogato wyposażone w bloki peryferyjne (bez Ethernetu), rodzina STM32L152 także w wewnętrzny, segmentowy kontroler LCD (od 4×16 do 8×40). Wszystkie peryferia wbudowane w mikrokontrolery STM32L wykorzystują energooszczędną platformę EnergyLite firmy STMicroelectronics, co w połączeniu z dużą liczbą trybów oszczędzania energii pozwala stosować je w urządzeniach zasilanych baterią.

Rodzina STM32W składa się obecnie z jednego typu mikrokontrolera: STM32W108. Jest to mikrokontroler STM32 zintegrowany z torem radiowym pracującym w paśmie ISM 2,4 GHz, zgodnym z IEEE802.15.4. Nowy mikrokontroler STM32W108 wyposażono w 64 lub 128 kB pamięci Flash oraz 8 kB pamięci SRAM. W mikrokontrolerach STM32W zastosowano sprzętowy generator sygnałów zgodnych ze standardami systemów zdalnego sterowania za pomocą podczerwieni, sprzętowy numer

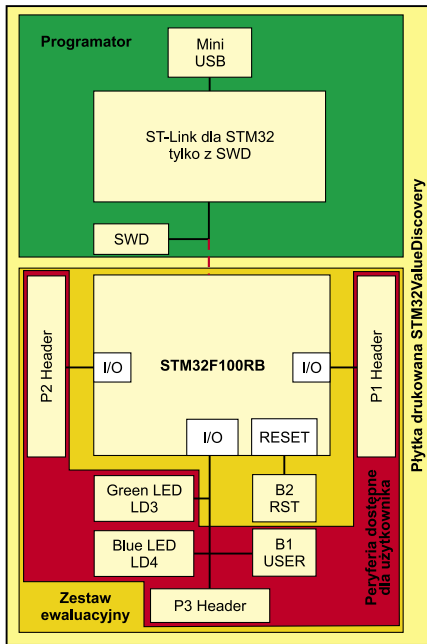
ARM Cortex-M3

Inżynierowie firmy ARM od kilku lat prowadzili intensywne prace nad nową rodziną rdzeni przeznaczonych do tanich mikrokontrolerów, przy opracowywaniu których założyli, że będą one obsługiwać zestaw instrukcji Thumb2 (architektura ARMv7), będą szybciej wykonywać programy przy takiej samej częstotliwości taktowania, będą mieć prostszą budowę (dzięki czemu uproszczy się implementacja mikrokontrolera w krzemie), dużą wagę przywiązano także do zminimalizowania poboru energii. W ten sposób powstała rodzina rdzeni o nazwie Cortex. W jej ramach są dostępne trzy wersje rdzeni: Cortex R – przeznaczone do stosowania w systemach czasu rzeczywistego, Cortex A – przeznaczone do stosowania w dużych systemach z zaimplementowanymi systemami operacyjnymi, wbudowana jednostka MMU, Cortex M – zoptymalizowane cenowo, przeznaczone do aplikacji mikrokontrolerowych.

Jedną z poważniejszych zmian w nowych rdzeniach jest także zastosowanie nowego, szybszego i prostszego w obsłudze niż we wcześniejszych rdzeniach kontrolera przerwań, który był kłopotem dla programistów. Wszystkie mikrokontrolery z rdzeniami Cortex wyposażono w rozszerzenia ARM NEON (*Media Acceleration Technology*), dzięki któremu CPU jest w stanie szybko wykonywać dodatkowe instrukcje ułatwiające programową implementację algorytmów DSP.



Opis rdzenia Cortex-M3 jest dostępny pod adresem: http://www.arm.com/products/CPU/ARM_Cortex-M3.html



Rysunek 3. Schemat blokowy zestawu STM32 Value Line Discovery Kit

MAC zgodny ze standardem IEEE802.15.4-2003, moduł kryptograficzny AES128, a także zaawansowany sterownik poboru mocy, obsługujący tor radiowy. Niektóre wersje mikrokontrolerów STM32W są dostarczane przez producenta z wpisanym do pamięci Flash stosem protokołów transmisji danych (ZigBee, 6LowPan itp.).

Różnice pomiędzy poszczególnymi podrodzinami polegają nie tylko na wyposażeniu, ale także na maksymalnej dopuszczalnej częstotliwości taktowania CPU: najszybsze z nich mogą być taktowane sygnałami zegarowymi o częstotliwości 120 MHz, najwolniejsze – 24 MHz. Równie duże rozpiętości można zaobserwować w pojemnościach pamięci wbudowanych w mikrokontrolery: Flash są oferowane w przedziale od 16 kB do 1 MB, a SRAM w przedziale od 4 kB do 96 kB. Także zakres dostępnych obwodów (i nieodłącznie związana z nimi liczba linii I/O) zaspokoili potrzeby konstruktorów: najmniejsze dostępne są QFN36 oraz LQFP48, a największe LPQFP i BGA ze 176 wyprowa-

dzeniami. Producent zadbał, żeby mikrokontrolery oferowane w jednakowych obudowach były ze sobą fizycznie kompatybilne, dzięki czemu konstruktor może łatwo dostosować typ stosowanego mikrokontrolera do wymogów aplikacji.

Najtańsza wersja STM32: Value Line

Pomimo bogatego wyposażenia, mikrokontrolery Value Line należą do najtańszych (i to nie tylko wśród 32-bitowców!) mikrokontrolerów dostępnych obecnie na rynku. Ich atrakcyjność podnoszą także dostępne w „dobrych sklepach” tanie zestawy ewaluacyjne STM32 Value Line Discovery Kit (fotografia 2). Zestaw składa się z dwóch – mechanicznie nierozłącznych – części (rysunek 3):

- interfejsu spełniającego funkcję programatora-debuggera z USB, który współpracuje z programowanym mikrokontrolerem przez dwuprzewodowy interfejs SWD,
 - zestawu uruchomieniowego składającego się z mikrokontrolera STM32F100RBT6B (128 kB pamięci Flash i 8 kB SRAM), dwóch LED, jednego przycisku użytkownika (oraz przycisku służącego do zerowania mikrokontrolera) oraz złączy szpilkowych, na które wprowadzono porty I/O mikrokontrolera.
- Mikrokontroler zastosowany w zestawie może być taktowany za zewnętrznego rezonatora kwarcowego lub wewnętrznego generatora RC, o częstotliwości 8 MHz, wyposażono go także w moduł detekcji zewnętrznego sygnału zegarowego (CSS). Pomiar natężenia prądu pobieranego przez mikrokontroler umożliwia zworka z jumpe-rem włączona w szereg z liniami zasilającymi mikrokontroler.

Zestaw STM32 Value Line Discovery wyposażono w stabilizator napięcia zasilającego mikrokontroler, dzięki czemu całość może być zasilana zarówno z USB, jak i dowolnego zasilacza o napięciu wyjściowym 5 lub 3,3 V. Konfiguracja obwodów zasilających pozwala także wykorzystać stabiliza-

tor wbudowany w zestaw do zasilania obwodów zewnętrznych, przy czym trzeba pamiętać o dostosowaniu prądu obciążającego do możliwości stabilizatora LD1117DT33 (katalogowo do 800 mA). Dołączenie napięcia zasilającego, podobnie jak i transmisja USB, są sygnalizowane za pomocą miniaturowych LED

Programator-debugger zastosowany w prezentowanym zestawie jest ograniczoną funkcjonalnie wersją klasycznego ST-Linka, pozbawioną możliwości współpracy z mikrokontrolerami STM8 (interfejs SWIM) oraz obsługującą wyłącznie dwuliniowy interfejs SWD (Serial Wire Debug), służący do debugowania pracy mikrokontrolera i programowania jego pamięci Flash.

Konstruktorzy zestawu STM32 Value Line Discovery przewidzieli możliwość wykorzystania wbudowanego programatora do obsługi mikrokontrolerów STM32 znajdujących się poza zestawem, co wymaga odłączenia mikrokontrolera „pokładowego” za pomocą zworek i dołączenia mikrokontrolera zewnętrznego za pomocą przewodów dołączonych do 4-stykowego złącza gold-pin.

Wyposażenie prezentowanego zestawu nie jest – co prawda – oszałamiające, ale z pewnością oszałamiająco zadziała cena zestawu: detalicznie nie przekracza 60 PLN brutto!

Narzędzie dla programisty – niekoniecznie płatne

Najpopularniejszymi dotychczas w naszym kraju pakietami programistycznymi dla mikrokontrolerów STM32 są pakiety MDK-ARM z µVision firmy Keil oraz IAR Embedded Workbench firmy IAR. Coraz większą popularnością cieszy się także pakiet TrueSTUDIO firmy Atollic, który poza zaawansowanymi wersjami komercyjnymi jest dostępny także w bezpłatnej wersji LITE. Korzystanie z tej wersji wymaga wyłącznie bezpłatnego zarejestrowania się na stronie producenta. W odróżnieniu od bezpłatnych wersji narzędzi dostarczanych przez innych producentów, kompilator i debugger nie mają żadnych ograniczeń funkcjonalnych i – co ważne dla potencjalnych użytkowników zestawów opisanych w artykule – traktują interfejsy zgodne z ST-Link (czyli wbudowane w obydwa prezentowane w artykule) jako natywne urządzenia do programowania i debugowania mikrokontrolerów obsługiwanych przez pakiet narzędziowy. Z tego powodu TrueSTUDIO LITE szczególnie polecamy Czytelnikom zainteresowanym bliższym poznaniem mikrokontrolerów STM32.

Andrzej Gawryluk

Siła rdzenia Cortex-M3

Główne motywy opracowania przez firmę ARM rdzeni Cortex były następujące:

- zwiększenie prędkości wykonywania programów,
- zmniejszenie pojemności pamięci Flash koniecznej do przechowania programów, przy zachowaniu ich funkcjonalności,
- obniżenie poboru mocy podczas normalnego działania,
- zminimalizowanie powierzchni zajmowanej przez rdzeń w krzemie, przez to obniżenie ceny mikrokontrolerów.

Uzyskanie tych – w niektórych przypadkach sprzecznych – cech, wymagało zastosowania przez inżynierów firmy ARM wielu zaawansowanych rozwiązań (jak np. 3-poziomowe kolejkowanie ze spekulacyjnym mechanizmem przewidywania rozgałęzień działania programów, zwiększenie liczby poleceń wykonywanych w jednym taktie zegara, a także użycie nowej listy instrukcji o nazwie Thumb 2). Zabiegi konstrukcyjne zaowocowały tym, że rdzenie Cortex osiągają prędkość do 1,25 DMIPS/MHz (przy 0,95 DMIPS/MHz w przypadku ARM7TDMI), pobierając jednocześnie podczas pracy ok. 35% mniej energii niż zbliżony ARM7TDMI. Standardowym wyposażeniem rdzeni Cortex-M3 jest kontroler przerwań NVIC (Nested Vectored Interrupt Controller), który poza dogodną obsługą od strony programisty, charakteryzuje się krótkim, do tego przewidywalnym czasem obsługi przerwań, w tym także zgłaszanych jednocześnie.