



# STM32 Dojrzałość dla profesjonalistów

Mikrokontrolery STM32 są na rynku od dwóch lat. Od chwili pojawienia się w sprzedaży, rodzina STM32 była przez producenta konsekwentnie rozwijana, co zaowocowało powstaniem zarówno modeli mikrokontrolerów zoptymalizowanych cenowo, jak i poważnie „rozpasanych” pod względem wyposażenia. To, że jest z czego wybierać, jest poważnym argumentem dla konstruktorów. Drugim, niemniej istotnym jest fakt, że firma STMicroelectronics stara się oszczędzać nerwy konstruktorów, wypuszczając na rynek wyroby na tyle przetestowane, że treści errat nie zaprzeczają podstawowym informacjom zawartym w notach katalogowych, jak ma to miejsce w przypadku wielu innych mikrokontrolerów...

Rodzina mikrokontrolerów STM32 pojawiła się na rynku jako druga, wyposażona w rdzeń Cortex-M3. Szybko zdobyła popularność, do czego przyczyniły się nie

tylko duże możliwości nowoczesnego rdzenia i zdecydowanie bardziej – niż miało to miejsce w przypadku ARM7TDMI – przemysłowej architektury wewnętrznych zasobów

komunikacyjnych. Pozycję rodziny STM32 wzmacnia relatywnie dopracowana i przetestowana przez producenta konstrukcja, dzięki czemu liczba kłopotliwych błędów utrudniających korzystanie z mikrokontrolerów jest stosunkowo niewielka.

### Siła rdzenia Cortex-M3

Główne motywy opracowania przez firmę ARM rdzeni Cortex były następujące:

- zwiększenie prędkości wykonywania programów,
- zmniejszenie pojemności pamięci Flash koniecznej do przechowywania 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 zastosowanie 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.

The four lines include:	Performance line STM32F103
Multiple communication peripherals Up to 5 x USART, 3 x SPI, 2 x PC	72 MHz CPU
ETM (Embedded Trace Macrocell)	Up to 512 Kbyte Flash / 64 Kbyte SRAM
FSMC	2/3 x 12-bit ADC (1 µs)
2-channel x 12-bit DAC	Temperature sensor
Up to 6 x 10-bit timers	USB FS device
Main oscillator 4-16 MHz	SDIO*
Internal 8 MHz and 40 kHz RC oscillators	PS
Real-time clock with battery domain and 32 kHz external oscillator	CAN
2 x watchdogs	PWM timer
Reset circuitry and brown out warning	
Up to 12-channel DMA	
	USB Access line STM32F102
	48 MHz CPU
	Up to 128 Kbyte Flash / 16 Kbyte SRAM
	1 x 12-bit ADC (1 µs)
	Temperature sensor
	USB FS device
	Access line STM32F101
	36 MHz CPU
	Up to 512 Kbyte Flash / 48 Kbyte SRAM
	1 x 12-bit ADC (1 µs)
	Temperature sensor
	Connectivity line STM32F105/STM32F107
	72 MHz CPU
	Up to 64 Kbyte SRAM
	USB 2.0 OTG FS
	2 x CAN 2.0B
	2 x PS audio class
	Ethernet IEEE 1588

Rys. 1.

Informacje o mikrokontrolerach produkowanych przez STMicroelectronics są dostępne pod adresem: <http://www.st.com/mcu/>

## Rzut oka na STM32

Rodzina STM32 składa się z czterech podstawowych grup mikrokontrolerów (rys. 1):

- *Access Line* (STM32F101) – popularne mikrokontrolery oferowane w szerokiej gamie obudów, 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 periferyjnych, w tym przetwornik A/C,
- *USB Access Line* (STM32F102) – mikrokontrolery oferowane w obudowach o liczbie wyprowadzeń 48 lub 64, o funkcjonalności i wyposażeniu zbliżonym do F101 (maksymalna częstotliwość taktowania wynosi 48 MHz), dodatkowo wyposażone w interfejs *USB device (Full Speed)*,
- *Performance 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, I<sup>2</sup>S oraz timery PWM (przystosowane do sterowania pracą silników elektrycznych), dostępne we wszystkich wariantach obudów z pamięciami programu o pojemności od 16 kB do 512 kB,
- *Connectivity Line* (STM32F105/107) – najnowsza grupa mikrokontrolerów w rodzinie STM32, wyposażona w interfejs USB-OTG oraz (wyłącznie wersje F107) ethernetowy MAC z możliwością obsługi standardu IEEE1588 (patrz ramka). Mikrokontrolery z tej grupy wyposażono CPU identyczne z zastosowanym

## Zestaw ewaluacyjny STM32 Primer 2

Polityka promocyjna firmy STMicroelectronics od kilku już lat jest przyjazna także „domowym” elektronikom, czego przykładem są zestawy uruchomieniowe STM32 Primer 2 – de facto kompletne konsolki multimedialne zintegrowane z interfejsem JTAG na USB. Są one wyposażone w mikrokontroler STM32F103VET6 (512 kB pamięci Flash i 64 kB RAM) oraz system operacyjny CircleOS, który jest systemową bazą dla programistów tworzących „primerowe” aplikacje. Zastosowanie w STM32 Primer 2 systemu operacyjnego, pomimo prostoty sprzętu i stosunkowo niewielkich możliwości samego systemu, tworzy programistom bardzo wygodne środowisko do pracy. Systemowo jest obsługiwany m.in. kolorowy wyświetlacz LCD



(są dostępne proste funkcje graficzne), joystick i czujnik przyspieszenia, ekran dotykowy, głośnik, niemal całe menu, zarządzanie poborem energii i częstotliwością taktowania mikrokontrolera, RTC itp.

Pod adresem [www.stm32circle.com](http://www.stm32circle.com) są dostępne narzędzia, dokumentacje i przykładowe projekty dla konsolek Circle oraz pliki źródłowe, dokumentacja i przykładowe aplikacje napisane dla systemu CircleOS.

Primer 2 jest dostępny w cenie ok. 280 zł netto w sklepie: [www.kamami.pl/?id\\_prod=5060600](http://www.kamami.pl/?id_prod=5060600)

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

Podstawowe wyposażenie mikrokontrolerów STM32 jest bogate: do siedmiu interfejsów USART (z możliwością pracy w trybie ISO7816, jak LIN oraz IrDA), 2 synchroniczne interfejsy szeregowy SPI, 2 interfejsy I<sup>2</sup>C, 3 uniwersalne 16-bitowe timery oraz 12-bitowe przetworniki A/C z czujnikiem temperatury, multiplexerami analogowymi na wejściu i układami próbkująco-pamiętającymi (w serii *Performance*). Dzięki sprzętowym interfejsom, obsługa pamięci SD (*Secure Digital*) i MMC (*MultiMediaCard*) zgodnych *MultiMediaCard System Specification 4.42* nie wymagają od programisty zbyt wielu zabiegów. Zakres napięć wejściowych w torze A/C wynosi 0...+3,6 V, a cyfrowe linie I/O (z drobnymi wyjątkami) są przystosowane do współpracy z układami zasilanymi napięciem +5 V. Jak wspomniano producent nie zaniedbał wyposażenia mikrokontrolerów w dziś już niezbędny interfejs USB 2.0FS (mikrokontrolery *Performance*) oraz modny CAN2.0B – otwiera to możliwości stoso-

wania mikrokontrolerów w wymagających aplikacjach przemysłowych, w czym pomaga szeroki zakres temperatur pracy (standardowo -40...+105°C, w niektórych wersjach -40...+125°C). Prezentowane mikrokontrolery wyposażono także w generatory taktujące (32 kHz i 8 MHz), liczniki zegara RTC i 7-kanałowy kontroler DMA. Maksymalna pojemność pamięci SRAM w obecnie dostępnych wersjach mikrokontrolerów wynosi do 64 kB, a pojemność pamięci Flash do 512 kB. Wszystkie mikrokontrolery z rodziny STM32 są przystosowane do zasilania pojedynczym napięciem o wartości 2...3,6 V, które jest wystarczające do umożliwienia programowania pamięci Flash w systemie. Programowanie pamięci Flash jest możliwe zarówno „od strony” mikrokontrolera jak i z zewnątrz – z wykorzystaniem jednego z interfejsów sprzętowego debugera – JTAG lub *SerialWire*.

Mikrokontrolery wyposażone w pamięć Flash o pojemności od 256 kB „w górę” wyposażono w sprzętowy interfejs I2S (cyfrowe audio, częstotliwość próbkowania od 8 do 48 kHz), SDIO (*Secure Digital Input/Output*) oraz kontroler pamięci FSMC (*Flexible Static-Memory Controller*), za pomocą którego można dołączyć do mikrokontrolera zewnętrzne pamięci Flash NOR i NAND, SRAM oraz CompactFlash. Kontroler FSMC umożliwia ponadto wygodną obsługę sterowników wyświetlaczy LCD wyposażonych w interfejsy równoległe zgodne ze standardami Intel 8080 oraz Motorola 6800. Niebagatelnym atutem nowych wersji mikrokontrolerów STM32 są także wbudowane wielokanałowe generatory PWM, dzięki którym można generować do 28 niezależnych sygnałów PWM.

Nie bez znaczenia dla użytkowników w naszym kraju są typy zastosowanych obudów: producent dostarcza mikrokontrolery w łatwych w montażu obudowach LQFP o liczbie wyprowadzeń 48, 64 lub 100. Zapowiadane są także wersje mikrokontrolerów w obudowach BGA ze 100 wyprowadzeniami kulkowymi.

Współczesne mikrokontrolery spełniają rolę mniej lub bardziej wyrafinowanych sys-

## Mikrokontrolery STM32 to...

...stosunkowo nowa na rynku rodzina 32-bitowych mikrokontrolerów, wyposażonych w nowoczesny rdzeń firmy ARM noszący nazwę 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-poziomowego kolejowania ze spekulacyjnym mechanizmem przewidywania rozgałęzień działania programów, zwiększenie liczby poleceń wykonywanych w jednym taktie zegara, a także zastosowanie nowej listy instrukcji o nazwie Thumb 2). Zabiegi konstrukcyjne zaowocowały tym, że rdzenie Cortex-M3 osiągają prędkość do 1,25 DMIPS/MHz, 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.

Opis rdzenia Cortex-M3 jest dostępny pod adresem: [www.arm.com/products/CPUs/ARM\\_Cortex-M3.html](http://www.arm.com/products/CPUs/ARM_Cortex-M3.html)

Opis rdzenia Cortex-M3 jest dostępny pod adresem:  
[www.arm.com/products/CPUs/ARM\\_Cortex-M3.html](http://www.arm.com/products/CPUs/ARM_Cortex-M3.html)

**USB-OTG w skrócie**

Klasyczne interfejsy USB są przystosowane do pracy w konfiguracji *master-slave*, gdzie zazwyczaj rolę *mastera* spełnia komputer. Powoduje to, że wymiana danych pomiędzy urządzeniami wyposażonymi w USB jest możliwa wyłącznie za pośrednictwem komputera. Interfejs USB-OTG (*USB On The Go*) likwiduje tę wadę, umożliwiając np. bezpośrednie dołączenie pendrive'a do aparatu fotograficznego lub drukarki. Złącza USB-OTG są inne niż klasyczne USB, wiąże się to z koniecznością stosowania specjalnych kabli.

temów komunikacyjnych, przede wszystkim bazujących na sieci Ethernet. Coraz większego znaczenia praktycznego nabierają także przenośne urządzenia potrafiące współpracować z drukarkami, modemami, telefonami komórkowymi, odtwarzaczami MP3 itp. bez konieczności stosowania stacjonarnego lub przenośnego komputera. Wszystkie wymagania współczesnych aplikacji spełniają mikrokontrolery STM32, których rodzina wkrótce powiększy się o kilka nowych modeli z zaawansowanej serii *Connectivity*.

W skład grupy *Connectivity Line* wchodzi dwie rodziny mikrokontrolerów: STM32F105 i STM32F107. Cechą szczególną tych mikrokontrolerów (poza wyposażeniem w rozbudowany pakiet standardowych peryferiów, w tym także wiele komunikacyjnych) są wbudowane interfejsy USB-OTG (*On The Go*, w wersji *FullSpeed* do 12 Mb/s) zintegrowane z interfejsem fizycznym (OTG PHY), 2 kanały CAN 2.0b (mogą one pracować jednocześnie z aktywnym USB-OTG), 5 zaawansowanych USART-ów i dwa kanały cyfrowego audio I2S o częstotliwości próbkowania do 96 kHz. Mikrokontrolery STM32F105 i STM32F107 pozbawiono dostępnych wyłącznie w rodzinie *Performance Line* interfejsów SDIO oraz FSMC (interfejs umożliwiający komunikację z pamięcią

**Uwaga!**

Firma STMicroelectronics organizuje na terenie kraju cykl warsztatów połączonych z prezentacją aplikacji mikrokontrolerów STM32. Szczegółowe informacje przedstawiono na str. 4-5

**Agenda warsztatów**

- Prezentacja rodziny STM32
- Rdzeń Cortex-M3
- Prezentacja narzędzi programowych i sprzętowych (biblioteki USB, API)
- Peryferia systemowe STM32 (Flash, zasilanie, taktowanie, watchdog)
- Peryferia standardowe STM32 (IO, ADC, DMA, interfejsy)
- Ćwiczenia

Prezentowane będą m.in. aplikacje mikrokontrolerów STM32: stacja pogodowa, sterowanie silnikami BLDC metodą wektorową, ZigBee stick, ładowarka baterii LiOn, panel słoneczny na LED, sterowanie LED RGB, karta dźwiękowa USB, elektroniczna ramka na zdjęcia (JPEG), web server z dwukierunkową komunikacją, obsługa karty SD Flash, system plików na STM32.



**ARM Cortex-M3**

Inżynierowie firmy ARM od kilku lat prowadzili intensywne prace nad nową rodziną rdzeni przeznaczonych dla 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 uprości 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:

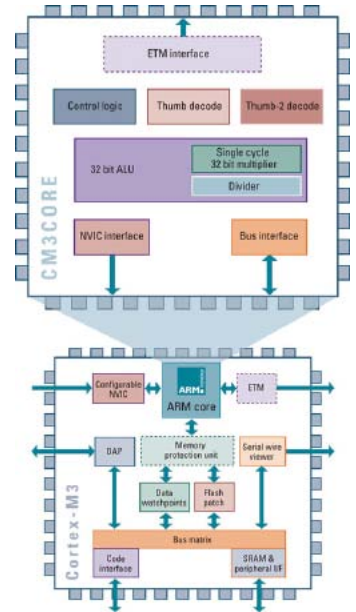
Cortex R – przeznaczone do stosowania w systemach czasu rzeczywistego,

Cortex A – przeznaczone do stosowania w dużych systemach z zaimplementowanymi systemami operacyjnymi, wbudowana jednostka MMU,

Cortex M – zoptymalizowane cenowo, przeznaczone dla 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 „kulą u nogi” programistów.

Wszystkie mikrokontrolery z rdzeniami Cortex wyposażono w rozszerzenia ARM NEON (*Media Acceleration Technology*), dzięki którym CPU jest w stanie szybko wykonywać dodatkowe instrukcje ułatwiające programową implementację algorytmów DSP.



**IEEE1588 w skrócie**

Jednym z podstawowych zadań realizowanych przez protokół IEEE1588 jest szybkie synchronizowanie lokalnych zegarów we współpracujących ze sobą urządzeniach połączonych siecią Ethernet. Takie rozwiązanie umożliwia m.in. realizację zadań opatrzonych klauzulami czasowymi, także klasycznych zadań wymagających obsługi w czasie rzeczywistym. Dodatkowe informacje są dostępne pod adresem: <http://www.ieee1588.com>

zewnętrzna). Interfejs USB-OTG pozwala wykorzystywać mikrokontrolery jako hosty komunikacji USB z praktycznie dowolnymi urządzeniami wyposażonymi w interfejsy USB, przede wszystkim pamięciami masowymi – jak na przykład pendrive'y.

Mikrokontrolery STM32F107 wyposażono w jeszcze jeden interfejs komunikacyjny: jednostkę Ethernet MAC, dzięki której jest możliwe łatwe i wygodne dołączenie mikrokontrolerów do sieci Ethernet 10/100 Mb/s. Interfejs MAC wyposażono w mechanizm sprzętowej obsługi protokołu IEEE1588 (PTP – *Precise Time Synchronization*), dzięki czemu łatwiejsza niż dotychczas jest implementacja aplikacji wymagających obsługi w czasie rzeczywistym. W odróżnieniu od

interfejsu USB-OTG, ethernetowy MAC wymaga dołączenia zewnętrznego układu PHY (np. STE100P), wyposażonego w interfejs komunikacyjny MII lub RMI (obydwie konfiguracje są dostępne we wszystkich wersjach obudów mikrokontrolerów STM32F107).

Wszystkie interfejsy komunikacyjne mogą być taktowane z wykorzystaniem pojedynczego rezonatora kwarcowego o częstotliwości 25 MHz. Zaawansowany a przy tym bardzo elastyczny system taktowania pozwala wyprodukować sygnał zegarowy o częstotliwości 25 lub 50 MHz do taktowania zewnętrznego interfejsu Ethernet PHY. Dzięki temu kompletne urządzenie jest prostsze w wykonaniu i uruchomieniu, a także tańsze w produkcji.

Producent zapewnił „pinową” kompatybilność nowych mikrokontrolerów ze starszymi wersjami w takich samych obudowach, dzięki czemu konstruktorzy mogą dość elastycznie dobrać układy do wymogów projektów.

Prezentowane mikrokontrolery fabrycznie wyposażono w bootloadery obsługujące interfejsy: USART, CAN i USB (*device*), producent zapowiada możliwość programowania ich także za pomocą sieci Ethernet oraz pamięci przenośnych USB.

**Andrzej Gawryluk, EP**

Informacje o liście instrukcji Thumb2 są dostępne pod adresem:  
[www.arm.com/products/CPUs/archi-thumb2.html](http://www.arm.com/products/CPUs/archi-thumb2.html)