

ARMia nowości

Przegląd nowych mikrokontrolerów z rdzeniem ARM



Nie ma chyba wśród Czytelników EP nikogo, kto nie słyszałby o mikrokontrolerach z rdzeniem ARM. Są one stosowane w mikrokontrolerach wielu firm, a nowe układy z tym rdzeniem pojawiają się praktycznie co tydzień. Oferta z rdzeniem ARM jest naprawdę szeroka, dlatego w artykule zostaną przedstawione tylko nowości z ostatnich miesięcy.

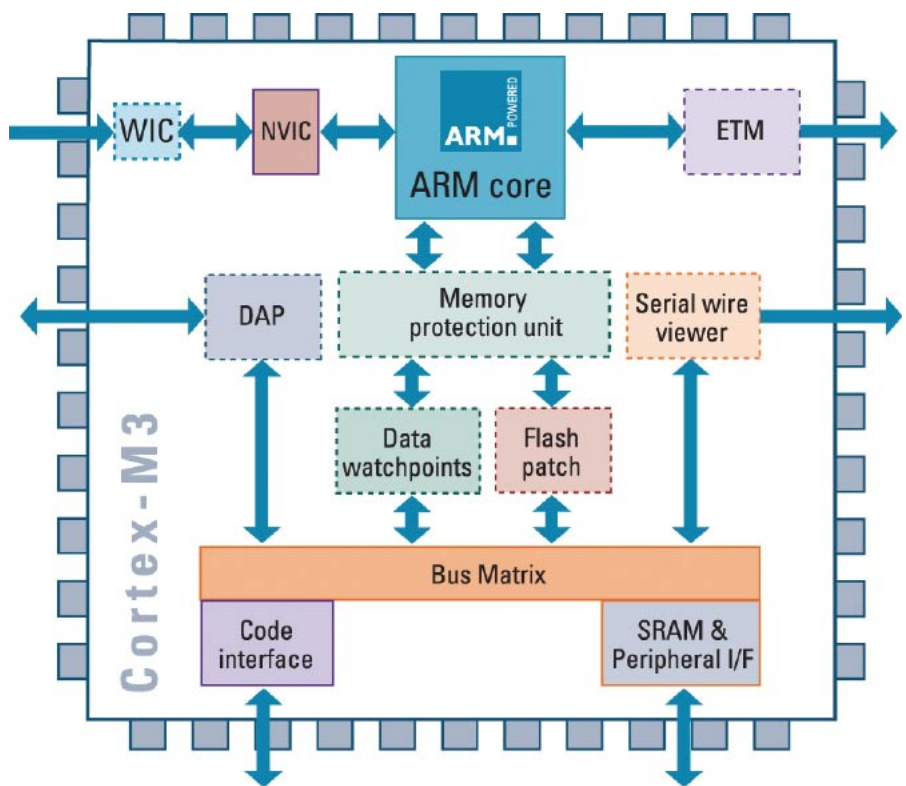
Rdzenie ARM należą do grupy procesorów 32-bitowych. Mikrokontrolery 32-bitowe coraz częściej pojawiają się w aplikacjach, w których do tej pory były stosowane mikrokontrolery 8-bitowe. Dzieje się tak, gdyż 32-bitowe układy są na tyle tanie, że mogą być stosowane w wielu aplikacjach „budżetowych”. W porównaniu do mikrokontrolerów 8-bitowych są wydajniejsze, ale ich oprogramowanie jest trudniejsze dla programistów. Ponadto zmiana mikrokontrolera z tym rdzeniem nie jest tak trudna jak „przesiadka” z układu 8-bitowego na 32-bitowy, czy też pomiędzy mikrokontrolerami 32-bitowymi o różnej architekturze.

W związku z faktem produkowania układów z rdzeniem ARM przez wielu producentów, trudno jest śledzić wszystkie nowości w tak szerokiej ofercie produktowej. Specjalnie dla czytelników Elektroniki Praktycznej przygotowaliśmy przegląd mikrokontrolerów z tym rdzeniem, zarówno nowych, dostępnych już na rynku, jak i anonsowanych przed ich premierą rynkową. W **tab. 1** zestawiono opis najpopularniejszych rdzeni ARM.

Na przestrzeni lat powstało kilka rodzin ARMów. Niniejszy przegląd rozpoczniemy od układów z rdzeniem ARM7TDMI-S.

ARM7

Dobrze znane rdzenie serii ARM7TDMI są właściwie wypierane przez nowe układy Cortex-M3. Pomimo zbliżającej się ery panowania Cortexów, są jednak nadal stosowa-



ne i chyba warto wspomnieć o nowościach z tym rdzeniem.

Jednym z nowszych mikrokontrolerów z rdzeniem ARM7TDMI są w ofercie firmy Atmel układy oznaczone symbolem AT91-

SAM7L, które charakteryzują się niskim poborem energii w trybie *power-down* (pobór prądu to 100 nA) i mogą być zasilane pojedynczym napięciem 1,8...3,6 V. Układy z tej serii dostępne są z pamięcią Flash o pojem-



Tab. 1. Rdzenie procesorów ARM

Oznaczenie	Rodzina	Architektura	potok	Jazele	NVIC	Instrukcje					Pamięć				Debug int.	Tryby pracy
						ARM	Thumb	Thumb2	DSP	SIMD	Cache	TCM	MMU	MPU		
ARM720T	ARM7	ARMv4T	3			✓	✓				8 K		✓		ETM7, Embedded ICE	
ARM7TDMI-S	ARM7	ARMv4T	3			✓	✓								ETM7, Embedded ICE	
ARM7EJ-S	ARM7	ARMv5TEJ	5	✓		✓	✓		✓						ETM, Embedded ICE	
ARM920T	ARM9	ARMv4T	5			✓	✓				16 K/16 K				ETM9, CoreSight, Embedded ICE	
ARM922T	ARM9	ARMv4T	5			✓	✓				8 K/8 K				ETM9, Embedded ICE	
ARM946E-S	ARM9	ARMv5TE	5			✓	✓		✓		0...1 MB	0...1 MB		✓	ETM9, CoreSight	
ARM966E-S	ARM9	ARMv5TE	5			✓	✓		✓			0...64 MB			ETM9, CoreSight, Embedded ICE	
ARM968E-S	ARM9	ARMv5TE	5			✓	✓		✓			0...4 MB			ETM9, CoreSight, Embedded ICE	
ARM926EJ-S	ARM9	ARMv5TEJ	5	✓		✓	✓		✓		4...128 kB	0...1 MB	✓		ETM9, CoreSight, Embedded ICE	
ARM1136J(F)-S	ARM11	ARMv6K	8	✓		✓	✓		✓	✓	4...64 kB	0...64 kB			ETM11RV, CoreSight, Embedded ICE	Run, Dormant, Standby, Shut-down
Cortex-M0	Cortex	ARMv6-M	3		✓			✓							CoreSight	Standby, Sleep
Cortex-M1	Cortex	ARMv6-M	3		✓			✓				0...1 MB			CoreSight	
Cortex-M3	Cortex	ARMv7-M	3		✓		✓	✓							CoreSight	Dormant, Deep Sleep, Sleep Now, Sleep on Exit
Cortex-R4	Cortex	ARMv7-R	8			✓		✓	✓		4...64 kB	0...8 MB		✓	ETM-R4, CoreSight	Run, Standby, Shut-down

ności 64 lub 128 kB oraz z pamięcią SRAM 6 kB. Ma on również wiele układów peryferyjnych, takich jak: interfejsy SPI, USART, TWI, zegar RTC i kontroler DMA. W urządzeniach o niskim poborze energii stosowane są często wyświetlacze LCD, dlatego też mikrokontroler AT91-

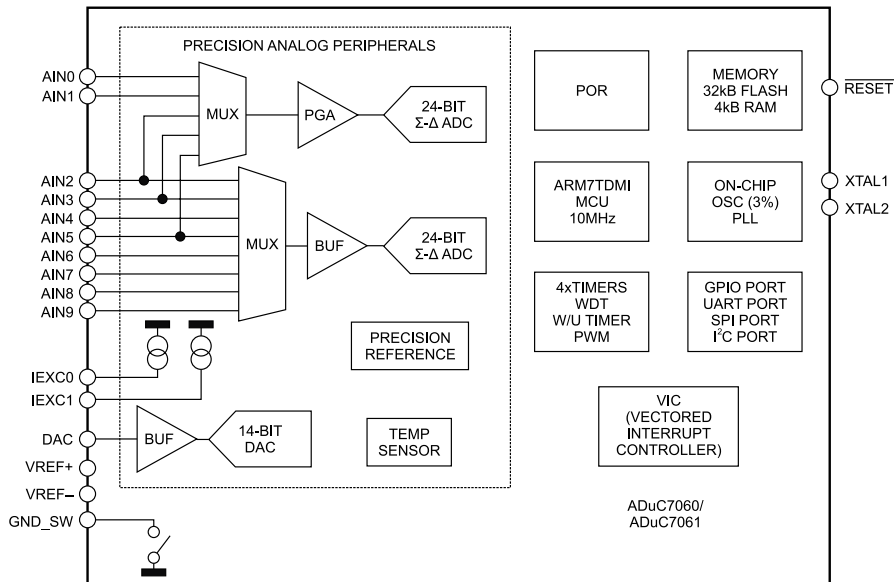


SAM7L wyposażono w sterownik takiego wyświetlacza. Może on sterować wyświetlaczem o maksymalnej liczbie 40 segmentów i 10 linii wspólnych (*common terminal*).

Układy z rdzeniem ARM7TDMI są również w ofercie firmy Analog Devices, z rodziny pre-

cyzyjnych mikrokontrolerów analogowych ADuC7000. Mikrokontrolery ADuC charakteryzują się rozbudowanymi analogowymi układami peryferyjnymi, w tym m.in.: przetwornikami A/C i C/A wysokiej rozdzielczości, źródłami napięcia odniesienia i czujnikami temperatury.

Nowszymi układami z tej serii są mikrokontrolery oznaczone symbolem ADuC706x. Głównym wyróżnikiem tych układów jest precyzyjny, 24-bitowy przetwornik A/C typu



Rys. 1. Schemat blokowy mikrokontrolerów serii ADuC706x

sigma-delta, którego szumy własne wynoszą zaledwie 20 nV). Na rys. 1 przedstawiono schemat blokowy mikrokontrolerów ADuC706x. Układy z tej serii są przeznaczone przede wszystkim do sterowania w systemach automatyki przemysłowej oraz do precyzyjnych przyrządów pomiarowych. Mają one 32 kB pamięci Flash oraz 4 kB SRAM, wzmacniacz o programowalnym wzmocnieniu, multiplexery i bufory analogowe, 16-bitowy modulator PWM oraz interfejsy: SPI, UART i I²C. Należy podkreślić niski pobór prądu układów ADuC7000. Przy włączonych wszystkich układach peryferyjnych, mikrokontroler pobiera zaledwie 2,6 mA.

Starsze układy, o mniejszej rozdzielczości przetwornika A/C, jak np. układy ADuC702x o 12-bitowej rozdzielczości, mają większą częstotliwość próbkowania 1 MS/s (ADuC706x – 8 kS/s).

ARM9 i ARM11

Wśród układów starszych rodzin, rdzenie ARM9 i ARM11 należą do zaawansowanych odmian ARMów. Są one przeznaczone do zastosowania w przenośnych urządzeniach multimedialnych, urządzeniach sieciowych, bramkach VoIP czy samochodowych systemach sterowania ABS. Większość z nich ma możliwość wykonywania instrukcji DSP, a rdzenie z końcówką J w symbolu, mogą wykonywać instrukcje *bytecode* maszyny wirtualnej Javy (technologia Jazelle). Rdzenie są wyposażone w jednostkę MMU, dzięki czemu możliwe jest uruchamianie dużego systemu operacyjnego jak Linux czy Symbian, oraz pamięć *cache* danych i instrukcji 4...128 kB.

Mikrokontrolery z rdzeniem ARM9 znajdują się np. w ofercie firmy Toshiba. Wszystkie układy tej serii TX09 (rdzeń ARM926EJ) są kompatybilne pod względem wyprowadzeń, a różnią się możliwościami układów peryferyjnych i wielkością zastosowanej pamięci.

Wyróżniającą cechą mikrokontrolerów TMPM9xx jest sterownik ekranu LCD, sprzętowy akcelerator graficzny oraz interfejs panelu dotykowego. Sterownik LCD może wyświetlać grafikę w maksymalnej rozdzielczości 1024×768 pikseli, jednak akcelerator graficzny może pracować tylko przy maksymalnej rozdzielczości WVGA (800×400). W celu zwiększenia wydajności, w mikrokontrolerach serii TX09 zastosowano 7 warstwową magistralę (magistrale dla: danych, instrukcji, sterownika LCD, akceleratora graficznego, 2×DMA i USB). Mikrokontrolery mają do 512 Mb pamięci SDRAM, 256 Mb NOR Flash oraz 2 Gb NAND Flash. Mogą pracować z maksymalną częstotliwością sygnału zegarowego 200 MHz (temperatura otoczenia 0...70°C) lub 150 MHz (–20...85°C).

Najnowszym układem z tej serii jest mikrokontroler TMPA913CHXBG. W odróżnieniu od innych układów nie ma on sterownika LCD i interfejsu do dołączenia kamery CMOS, ma też zmniejszoną z 32 do 16 bitów szerokość magistrali danych.

Jednym z nowszych układów z rdzeniem ARM926EJ-S jest w ofercie firmy Atmel jest

AT91SAM9G20 (kompatybilny pod względem wyprowadzeń z wcześniejszym AT91SAM9260), który ma czterokrotnie większą niż poprzednicy pamięć *cache* i SRAM (po 32 kB dla pamięci *cache* danych i instrukcji, 32 kB SRAM). Układ pobiera stosunkowo niewiele, bo 80 mW w aktywnym trybie pracy, ze wszystkimi włączonymi układami peryferyjnymi. Jest to układ przeznaczony do aplikacji, w których istotny jest zarówno niski pobór energii, jak i duża wydajność obliczeniowa, czyli m.in. automaty sprzedaży, systemy automatyki budynków, kamery przemysłowe i czytniki kodów. Mikrokontroler AT91SAM9G20 ma rdzeń ARM926EJ-S taktowany sygnałem zegarowym o częstotliwości 400 MHz. Do komunikacji z innymi układami cyfrowymi ma interfejsy: USB Full Speed Host/Device, 10/100 Ethernet MAC, interfejs czujnika akwizycji obrazu, interfejs kart MC, SSC, USART, SPI, TWI. Oprócz tego mikrokontroler ma trzy 16-bitowe liczniki, i czterokanałowy 10-bitowy przetwornik A/C. AT91SAM9G20 może pracować pod kontrolą zarówno systemu operacyjnego Linux jak i Windows CE.

Kolejnym, z nowych mikrokontrolerów rdzeniem ARM926EJ-S jest w ofercie Atmela mikrokontroler AT91SAM9R. Jego główną zaletą są duże zasoby pamięci operacyjnej. Ma 64 kB wewnętrznej pamięci SRAM (*single-cycle*) podzielonej na 4 bloki po 16 kB, które mogą być skonfigurowane jako pamięci o szybkim dostępie (TCM) lub jako pamięć SRAM ogólnego przeznaczenia. Ma również 24-kanałowy kontroler DMA, interfejs USB 2.0, SPI, 5×UART, SSC, TWI, 6 timerów oraz 4 modulatory PWM.

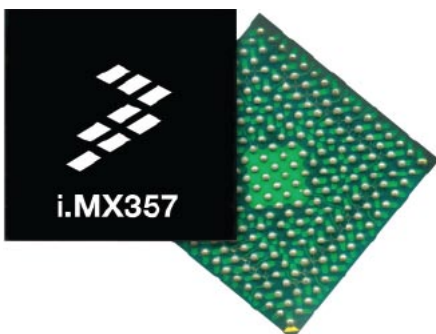
W ostatnich miesiącach wiele linii produktowych zmieniło właściciela. Jedną z nich są mikrokontrolery Zatera będące do niedawna w ofercie firmy Zilog. Obecnie sprzedawane pod marką firmy Atmel, mikrokontrolery Zatera przystosowane są do bezpiecznej obsługi operacji finansowych. Mikrokontrolery ZA9Lx są w istocie układami typu SoC (*System-on-Chip*), gdyż mają





wbudowany system obsługi bezpiecznych transakcji z procesorem ARM922T. Układy Zatara są tak zaprojektowane, aby sprostały wymaganiom Przemysłu Kart Płatniczych PCI stawianym urządzeniom sprzedażowym POS (*point-of-sale*). Aby spełnić wymagania stawiane tego rodzaju urządzeniom, mikrokontrolery Zatara mają fizyczne i logiczne mechanizmy zabezpieczające, wliczając w to czujniki warunków środowiskowych (temperatury, napięcia i częstotliwości), sprzętowy generator liczb losowych (RNG) zgodny z zaleceniami NIST 800-22, jednostkę obliczającą funkcję skrótu SHA-1, zegar RTC oraz 4 kB bezpiecznej pamięci nieulotnej SRAM z możliwością szybkiego wykasowania danych przy próbie nieautoryzowanego dostępu do urządzenia. Interesującym rozwiązaniem, jest uwierzytelnianie kodu programu uruchamianego po włączeniu zasilania, w celu uniemożliwienia jego podmienienia. Mikrokontrolery Zatara mogą komunikować się poprzez interfejsy: USB 2.0 OTG, UART, SPI. Wśród wbudowanych sterowników układy ZA9Lx mają interfejsy do dołączania PINpadów i ekranów LCD. Dodatkowo mają one układ *watchdog*, 4-kanałowy 10-bitowy przetwornik A/C, dwa UARTy zgodne z ISO7816 (Smart Card) oraz trójścieżkowy czytnik kart magnetycznych.

Firma Freescale ma w ofercie multimedialne mikrokontrolery i.MX zarówno z rdzeniem ARM9 jak i ARM11. Do nowości w rodzinie mikrokontrolerów i.MX należą układy i.MX353/357. Są przeznaczone do aplikacji wymagających zaawansowanych możliwości graficznych, np. urządzenia HMI, czytniki e-booków czy przyrządy do nawigacji. Oprócz rdzenia ARM1136JF-S, mają wbudowany moduł graficzny OpenVG (i.MX357), który wspo-



maga m.in. wyświetlanie filmów Adobe Flash. Układy i.MX35 taktowane są sygnałem zegarowym o częstotliwości do 532 MHz, mają wektorową jednostkę zmiennoprzecinkową, wielopoziomową pamięć *cache* oraz kontroler DMA. Mogą współpracować z różnymi zewnętrznymi pamięciami, jak: SDRAM, DDR i DDR2, NOR i NAND Flash oraz SRAM. Oba układy mają wbudowany moduł obróbki obrazu (IPU) z interfejsem dla kamery oraz ekranu LCD (24-bitowe wyświetlacze rozdzielczością WVGA). Moduł IPU jest odpowiedzialny za obsługę wyświetlanego obrazu i nie obciąża zbytnio CPU.

Do mikrokontrolerów z rdzeniem ARM9 w ofercie firmy NXP należą rodziny nowe LPC3130/1 i LPC29xx. Mikrokontrolery LPC313x mają rdzeń ARM926EJ-S pracujący z częstotliwością 180 MHz oraz do 192 kB pamięci SRAM, kontroler pamięci NAND Flash, interfejs pamięci zewnętrznych oraz interfejs USB OTG. Mikrokontrolery LPC291x mają natomiast rdzeń ARM968 taktowanym sygnałem zegarowym 125 MHz. Na temat nowości w ofercie firmie NXP piszemy więcej w tym numerze EP na str. 92.

Era Cortex'ów

Najmłodszą rodziną procesorów ARM są procesory z rdzeniem Cortex o architekturze ARMv6 i ARMv7. Pierwszymi przedstawicielami tej rodziny były układy Cortex-M3 (ARMv7), opracowane przez firmę ARM w 2006 roku. Należą one do grupy M rodziny Cortex, która oferuje bardzo korzystny stosunek ceny do możliwości i jest przeznaczona do zastosowań konsumenckich i przemysłowych. Pozostałymi grupami są:

- grupa A – przeznaczona dla wymagających aplikacji z zastosowaniem systemu operacyjnego, np. Symbian, Linux i Windows Embedded, które wymagają dużych mocy obliczeniowych, obsługi pamięci wirtualnej (MMU), czy też obsługi Javy.
- grupa R – stworzona z myślą o systemach czasu rzeczywistego, których krytycznym parametrem jest czas reakcji, jak np. system ABS.

Najpopularniejszy obecnie, rdzeń Cortex-M, ma architekturę harwardzką, czyli o rozdzielonych magistralach danych i instrukcji. Podejście takie pozwala na jednoczesny dostęp do pamięci danych i instrukcji. Zwiększa się przez to efektywność systemu, gdyż dostęp do pamięci danych nie spowalnia wykonywania programu (pobierania kolejnych instrukcji).

W rdzeniach tych akceptowana jest lista instrukcji Thumb-2, które mogą być zarówno 16- jak i 32-bitowe.

Mikrokontrolery z tym rdzeniem są w ofercie wielu firm. W ich gronie pojawiła się dosyć niespodziewanie firma Texas Instruments z szeroką gamą mikrokontrolerów Stellaris, przejętych w połowie maja od firmy Luminary Micro.

W ofercie Luminary Micro znajdowało się wiele układów z rdzeniem Cortex-M3. Do głównych rodzin układów z rdzeniem ARM należą układy:

- 1000 – przeznaczone do aplikacji z zasilaniem baterijnym;
- 2000 – przeznaczone do aplikacji z interfejsem CAN;
- 3000 – zoptymalizowane dla aplikacji USB OTG;
- 5000 – łączące komunikację poprzez interfejsy CAN i USB OTG;
- 6000 – przeznaczone do aplikacji sieciowych, zawiera Ethernet MAC oraz PHY;
- 8000 – zaprojektowane dla aplikacji CAN oraz obsługi sieci; Ethernet (MAC + PHY);
- 9000 – najbardziej rozbudowana i najnowsza rodzina układów z możliwością komunikacji poprzez CAN, USB OTG oraz Ethernet.

W ofercie firmy Luminary Micro są również rodziny mikrokontrolerów o mniejszych możliwościach:

- 100 – mikrokontrolery z rdzeniem Cortex-M3 są w 28-pinowej obudowie SOIC. Mają one 8 kB pamięci Flash i 2 kB SRAM, interfejs UART oraz SSI (LM3S102 ma I²C). Układy mogą pracować z sygnałem zegarowym o częstotliwości 20 MHz. Ich zaletą jest niska cena.
- 300 – przeznaczone do aplikacji przemysłowych, na przykład sterowaniem silnikiem, mają do 6 modulatorów PWM (nie wszystkie) oraz zwiększoną pojemność pamięci Flash i SRAM (16 i 2...4 kB).
- 600 – mikrokontrolery Stellaris LM3S600 mają do 32 kB pamięci Flash i 8 kB SRAM. Taktowane są sygnałem o częstotliwości do 50 MHz. Mogą być również stosowane w aplikacjach sterowania silnikiem, gdyż niektóre układy z tej rodziny mają do 6 modulatorów PWM. Ponadto mają do 3 komparatorów oraz do 8 kanałów 10-bitowego przetwornika A/C o częstotliwości próbkowania do 1 MS/s.
- 800 – Wśród mniejszych mikrokontrolerów Stellaris, te są największe. Mają bowiem do 64 kB pamięci Flash (8 kB SRAM).

Wśród nowości w rodzinie należy zwrócić uwagę na mikrokontroler LM3S9B96 z rodziny 9000. Ma on dużą pamięć Flash (256 kB) oraz SRAM (96 kB) i może być taktowany sygnałem zegarowym o częstotliwości do 80 MHz (mikrokontroler ma wbudowany generator o częstotliwości 16 MHz). Interesującą właściwością tych mikrokontrolerów jest pamięć ROM z wpisaną biblioteką sterowników StellarisWare, bootloaderem, tablicami dla szyfrowania AES, funkcją obliczającą sumę kontrolną CRC oraz jądrem systemu operacyjnego typu RTOS SafeRTOS. Na rys. 2 przedstawiono schemat tego mikrokontrolera. LMS3S9B96 może być stosowany w aplikacjach wymagających bezpieczne-

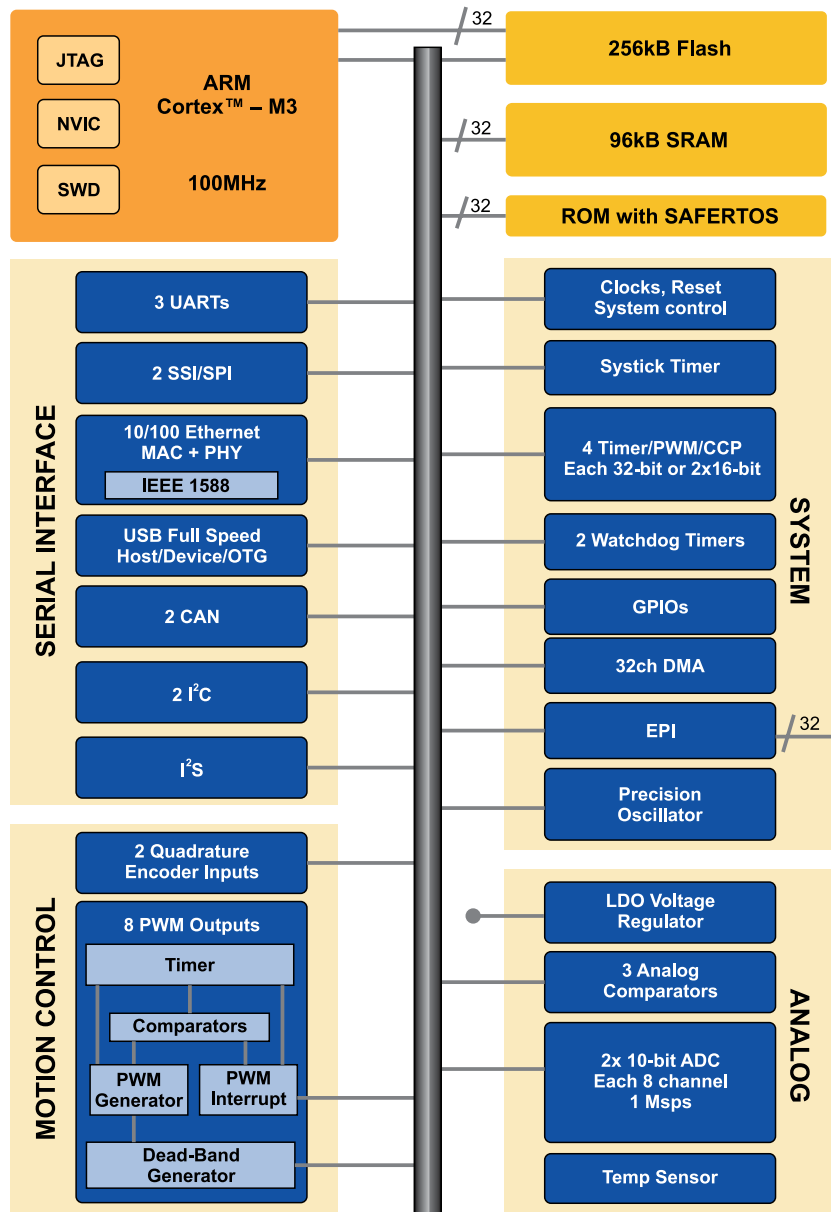
go połączenia z szyfrowaniem danych. Co więcej, mikrokontroler LM3S9B96 ma dwa układy *watchdog* – jeden taktowany systemowym sygnałem zegarowym, drugi taktowany z wewnętrznego generatora 16 MHz. Mikrokontroler ma też wiele interfejsów komunikacyjnych, takich jak: 10/100 Ethernet MAC/PHY, 2 CAN, USB 2.0 Full Speed OTG/Host/Device, 2 SSI/SPI, 2 I²C, I²S oraz 3 UARTy. Kontroler Ethernetu ma zaimplementowaną sprzętowo obsługę protokołu IEEE 1588 PTP, który służy do synchronizacji sieci Ethernet z precyzją rzędu nanosekund. LM3S9B96 może też być sterownikiem silników, gdyż ma 8 wyjść modulatora PWM i dwa wejścia dla enkodera czterościłkowego.

Należy zwrócić uwagę, że nie są to jedyne mikrokontrolery Stellaris z wbudowanymi tablicami AES, bo mają je także układy rodzin: 2700, 2B00, 5700 i 5B00. Więcej na temat mikrokontrolerów Stellaris piszemy na **str. 106**.

Do niedawna firma Atmel nie miała w ofercie mikrokontrolerów z rdzeniem Cortex-M3, jednak pod koniec maja ogłoszono wprowadzenie rodziny AT91SAM3 z tym rdzeniem. Nowe układy mają podobne możliwości jak inne układy z rodziny AT91SAM, włączając w to: wielowymiarowy system magistral, kontroler DMA dla układów peryferyjnych (PDC) oraz dużą pojemność pamięci wewnętrznych. Mikrokontrolery AT91SAM3 mają mieć zunifikowany dostęp do rejestrów układów peryferyjnych, dzięki czemu zwiększona jest możliwość przenoszenia kodu programu pomiędzy różnymi mikrokontrolerami tej rodziny. Na **rys. 3** przedstawiono schemat blokowy nowych układów AT91SAM3U.

Rdzeń ARM Cortex-M3 w zapowiadanych mikrokontrolerach AT91SAM3U ma być taktowany sygnałem zegarowym o częstotliwości do 96 MHz. Mikrokontrolery będą miały 64...256 kB pamięci Flash (128-bitowy dostęp, sprzętowy akcelerator, dwa banki), 16...48 kB SRAM (dwa banki) oraz 16 kB pamięci ROM z bootloadem kodu (przez USART i USB). AT91SAM3U mają wbudowany stabilizator napięcia i oscylatory: główny (3...20 MHz), zegara RTC 32,768 kHz, fabrycznie kalibrowany generator RC 4/8/12 MHz oraz pętlę PLL dla interfejsu USB.

Układy Atmela z rdzeniem Cortex-M3 mają charakteryzować się niskim poborem prądu. W trybie zasilania *backup* (zasilane są wyłącznie obwody kontrolera zasilania, zegar RTC, rejestry zapasowe oraz oscylator 32,768 kHz) układ pobiera zaledwie 2,5 μA (zegar RTC pobiera 0,6 μA). Z pozostałych układów peryferyjnych, mikrokontrolery AT91SAM3U mają: interfejsy USB 2.0 *Device*, do czterech interfejsów USART (obsługa IrDA, SPI i kodowania Manchester), 1×UART, 2×TWI/I²C, 1×SPI, 1×SSC(I²S), 1×HSMCI(SDIO/SD/MMC) oraz do 8 kanałów 12-bitowego przetwornika A/C o prędkości próbkowania 1 MS/s.



Rys. 2. Schemat blokowy mikrokontrolerów AT91SAM3U

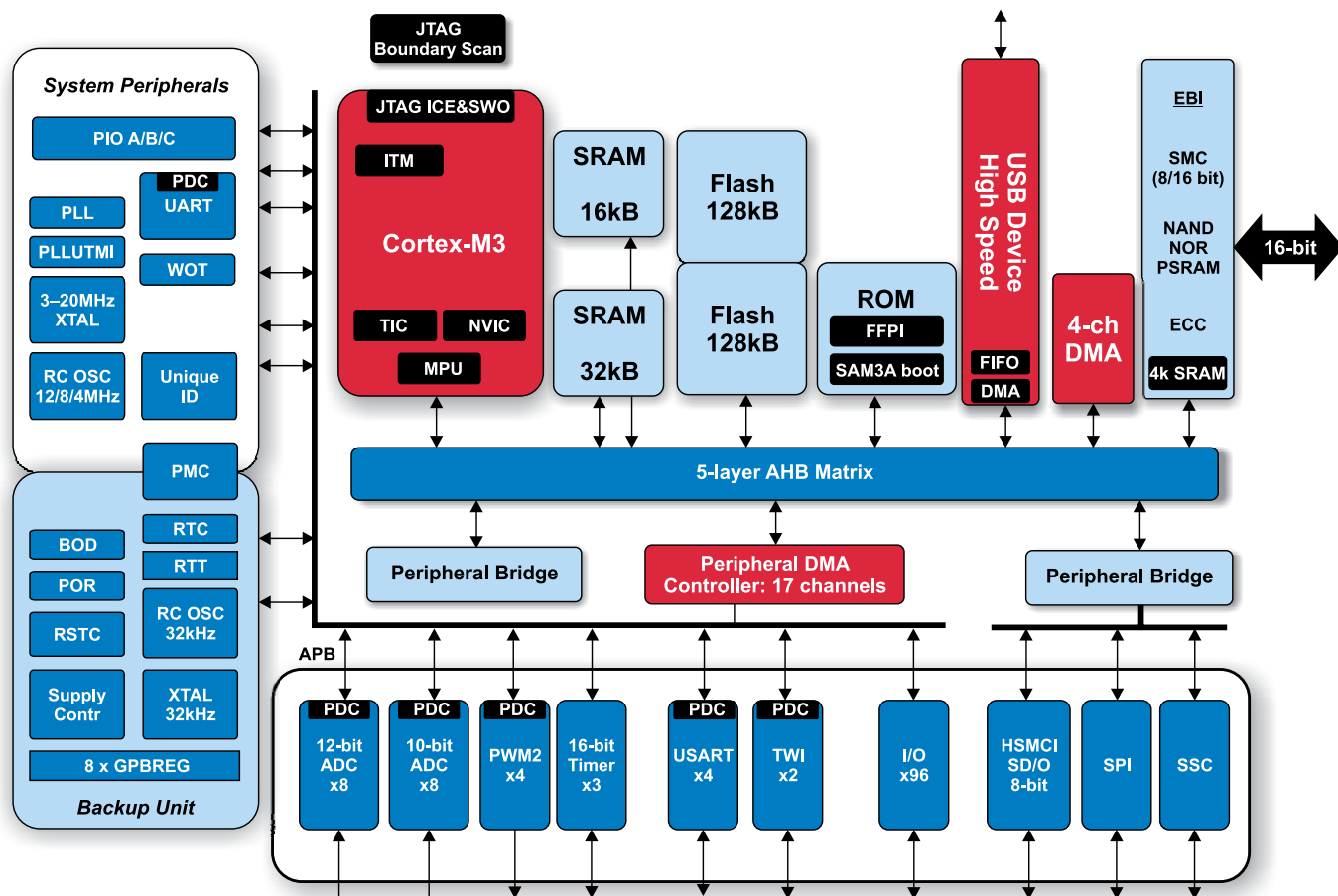
W ofercie firmy Toshiba Electronics są również mikrokontrolery z rdzeniem Cortex-M3 oznaczone symbolami TMPM3xx (seria TX03). Wśród nich w ofercie tej firmy są trzy rodziny układów TMPM330, TMPT370 i TMP380.

TMP330 jest grupą mikrokontrolerów ogólnego przeznaczenia z 12-kanałowym przetwornikiem A/C (10-bitowy), 10-kanałowym modulatorem PWM o rozdzielczości 16-bitów oraz standardowymi interfejsami komunikacyjnymi jak UART, I²C i mniej standardowymi jak CEC (Consumer Electronics Control) oraz układami peryferyjnymi, jak zegar RTC czy układ *watchdog*. Układy TMP330 mają 128, 256 lub 512 kB pamięci Flash oraz 8, 16 lub 32 kB pamięci SRAM. Częstotliwość sygnału zegarowego wynosi 32...40 MHz.

Projektantów układów do sterowania silnikami powinna zainteresować rodzina TMPM370 z układem TMPM370FY. Ten mikrokontroler ma rdzeń Cortex-M3 taktowa-

ny sygnałem o częstotliwości 80 MHz oraz opracowany przez firmę Toshiba wbudowany układ PMD3+, programowalny sterownik silnika wraz z 12-bitowym przetwornikiem A/C. Układ jest przewidziany do sterowania trójfazowymi silnikami bezszczotkowymi prądu stałego lub indukcyjnymi. Kontroler PMD3+ ma również wbudowane 4 wzmacniacze operacyjne, dwukanałowy enkoder oraz dwa komparatory analogowe. Dwukanałowy kontroler PMD3+ oraz jednostka wektorowa sterują trójfazowym modulatorem PWM o 16-bitowej rozdzielczości. Mikrokontroler TMPM370FY jest zasilany napięciem 4,5...5,5 V. Ma 256 KB pamięci Flash oraz 10 kB pamięci RAM.

Układy z serii TMPM370 i TMP380 mają układ OFD (**rys. 4**), którego zadaniem jest kontrola częstotliwości sygnału taktującego. W razie wykrycia odstępstw jest generowany sygnał zerowania. Układ jest zgodny z regulacją IEC60730 class B bezpieczeństwa urządzeń elektronicznych.



Rys. 3. Schemat blokowy mikrokontrolerów LMS3S9B96

Wśród producentów mikrokontrolerów z rdzeniem Cortex-M3 jest też firma NXP z mikrokontrolerami rodzin LPC1300 i LPC1700. Opis nowości w ofercie firmy NXP jest w tym numerze EP na str. 92.

Wyliczając producentów mikrokontrolerów z rdzeniem Cortex-M3 nie można nie wspomnieć o firmie STMicroelectronics, która jako jedna z pierwszych rozpoczęła produkcję układów STM32 właśnie z tym rdzeniem. Nowe układy z grupy Connectivity opisane zostały w artykule na str. 103 w tym numerze EP.

Do grona producentów mikrokontrolerów z rdzeniem Cortex dołączają nowe firmy. Jedną z takich firm jest Energy Micro, która oferuje mikrokontrolery z rodziny EFM32 zoptymalizowane pod kątem niskiego zużycia energii. Układy te mają 5 trybów pracy, przy czym w o najniższym zużyciu energii pobierają prąd o natężeniu 0,1 μ A, natomiast w trybie „wyższym”, w którym podtrzymywana jest zawartość pamięci RAM 0,3 μ A.

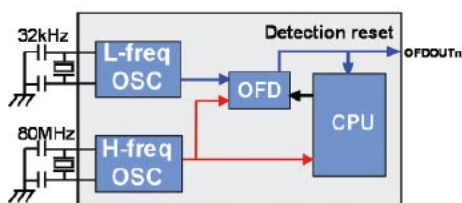
Pomysłem firmy Energy Micro na zmniejszenie zużycia energii przez system mikroprocesorowy, jest krótka praca w trybie aktywnym z długim oczekiwaniem na wykonywanie zadania w trybie o obniżonym poborze energii. Mikrokontrolery EFM32 mają krótki czas przejścia pomiędzy trybami pracy wynoszący mniej niż 2 μ s. Mikrokontrolery mają też dodatkowe układy peryferyjne o mniejszym poborze energii: UART i timer. Mikrokontrolery EFM32 mają 16...128 kB pamięci Flash i 8...16 kB pamięci SRAM. Większość z nich, oprócz standardowych układów peryferyjnych jak interfejsy: UART, I²C, zegar RTC czy przetworniki A/C, jest wyposażona w blok szyfrowania AES. Najlepsze układy z rodziny EFM32 mają również kontroler ekranu LCD (do 4x40).

ARMy w układach specjalnych

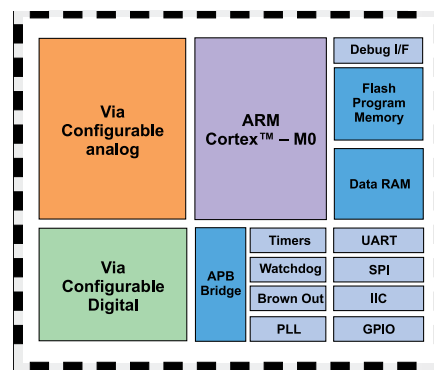
Firma ARM oprócz rdzenia M3 przygotowała kilka innych, nowych rdzeni. Jednym z nich jest Cortex-M0, który ma być najmniejszym rdzeniem ARM i o najmniejszym zapotrzebowaniu na energię. Jedną z firm, która ma w ofercie mikrokontrolery z tym rdzeniem jest Triad Semiconductor. Oferuje ona konfigurowalne układy ASIC VCA (Via Configurable Array). Układy VCA są oferowane jako gotowe zestawy bloków analogowych (wzmacniacze operacyjne, przetworniki C/A i C/A) i cyfrowych (bramki logiczne, pamięć, układy wejścia-wyjścia), których połą-

czenia są konfigurowane na etapie produkcji w zależności od potrzeb odbiorcy. W ofercie firmy Triad Semiconductor są układy VCA z rdzeniem Cortex-M0 (może on pracować z częstotliwością 50 MHz). Schemat blokowy układu VCA z rdzeniem ARM przedstawiono na rys. 5. Ten układ ma oprócz interfejsów UART, SPI, I²C, pamięci Flash i RAM konfigurowalne bloki analogowe i cyfrowe, dzięki czemu możliwe jest „skrojenie” jego możliwości pod specyficzne potrzeby.

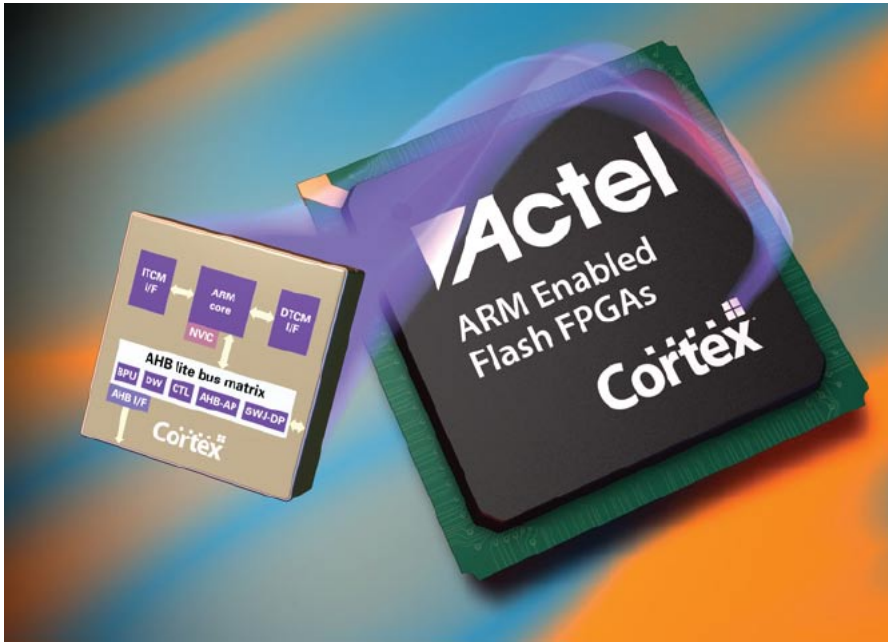
Podobne układy oferuje Atmel. Mają one blok bramek logicznych, których połączenia (metal 3 warstwy) mogą być konfigurowane na etapie produkcji układów. Pozwala to na dostosowanie do potrzeb klienta specyficznych dla danej aplikacji, układów peryferyjnych. Mikrokontrolery z rodziny AT91CAP



Rys. 4. Schemat blokowy działania układu OFD w mikrokontrolerach firmy Toshiba



Rys. 5. Układy VCA z oferty Triad Semiconductor



są dostępne zarówno z rdzeniem ARM7TDMI jak i ARM926EJ-S. Nowością w rodzinie AT91CAP są układy CAP7L z rdzeniem ARM7TDMI taktowanym sygnałem zegarowym o częstotliwości 80 MHz. Mają one blok logiczny o 200 tys. bramek. Oprócz tego bloku logicznego, mikrokontrolery AT91CAP są wyposażone w kontroler DMA, interfejsy USB Device, SPI, USART, Ethernet MAC. Mają 256 kB pamięci ROM oraz 160 kB pamięci SRAM.

Nieco starszymi układami są mikrokontrolery z serii AT91CAP9S z rdzeniem ARM926EJ-S taktowanym zegarem o częstotliwości 400 MHz. Są to bardziej rozbudowane mikrokontrolery z rodziny CAP. Mają w zależności od wersji 250 lub 500 tys. bramek logicznych. W porównaniu do AT91CAP7L mają też bogatsze peryferia, gdyż zawierają dodatkowo m.in.: interfejsy USB *host*, TWI, CAN oraz sterownik LCD.

Rdzeń ARM oferowany jest innym firmom jako blok IP, który może zostać użyty we własnych projektach układów specjalizowanych ASIC. Dlatego wielu producentów układów półprzewodnikowych stosuje rdzenie ARM we własnych mikrokontrolerach. W 2007 roku pojawił się rdzeń Cortex-M1 dostosowany do stosowania w układach programowalnych FPGA. Wiele firm oferuje więc te rdzenie dla swoich układów.

Jedną z firm, która rozpoczęła sprzedaż tego rdzenia jest firma Actel. Co ciekawe firma nie pobiera opłat licencyjnych od liczby stosowanych rdzeni w swoich układach programowalnych Fusion i ProASIC3. W układach FPGA tej firmy rdzeń Cortex-M1 może być taktowany sygnałem zegarowym o częstotliwości do 72 MHz i zajmuje on ok. 4300 bloków logicznych (*tiles*) tych układów. Rdzenie te są już obsługiwane przez środowisko projektowe Actel Libero IDE, jak również przez programy narzędziowe ARM RealView

Development Suite, RealView Microcontroller Development Kit oraz programy innych producentów. Cena układów FPGA zoptymalizowanych dla rdzenia M1, czyli IGLOO (M1AGL), ProASIC3 (serie M1A3P/M1A3PE), ProASIC3L (M1A3PL) i Fusion (M1AFS), zaczyna się już od 3-4 dolarów. Do rdzeni M1 Actel dołącza bibliotekę układów peryferyjnych, m.in. GPIO, I²C, PWM i *watchdog*.

Do implementacji systemu cyfrowego z rdzeniem procesora ARM Cortex-M1 jest środowisko Libero IDE wraz z komponentami SmartDesign (graficzne środowisko do projektowania systemów SoC) i CoreConsole (program wspomagający obsługę i implementację bloków IP). Program SoftConsole służy natomiast do przygotowywania aplikacji w języku C/C++ dla procesorów Cortex-M1. Zawiera kompilator GNU, debugger GDB oraz symulator.

Cortex-A8

Rdzenie Cortex-A8 należą do najbardziej zaawansowanych i wydajnych rdzeni ARM. Mikrokontrolery multimedialne OMAP35x z tymi rdzeniami oferuje m.in. Texas Instruments. Znajdują się w niej zarówno układy z rdzeniem DSP TMS320C64x, jak i z samym rdzeniem Cortex-A8. Układy te mogą być stosowane w zaawansowanych aplikacjach multimedialnych. Mają dedykowane wejścia-wyjścia wideo, akcelerator audio-video (IVA2.2), dwupoziomą pamięć *cache* oraz wszelkie układy peryferyjne wymagane w tego rodzaju aplikacjach. Akcelerator graficzny jest w stanie obsłużyć bibliotekę graficzną OpenGL ES 2.0.

Mikrokontrolery z rdzeniem Cortex-A8 znajdziemy również w procesorach multimedialnych i.MX515 firmy Freescale. Podobnie jak układy firmy Texas Instruments, układy i.MX515 mogą obsłużyć biblioteki graficzne OpenGL ES 2.0 oraz mają koprocessor zmien-

noprzecinkowy. Mają też możliwość generowania analogowego sygnału telewizyjnej wysokiej rozdzielczości 720 p.

Podsumowanie

Wybór mikrokontrolera do zastosowania we własnej aplikacji nie jest zadaniem łatwym. Oprócz możliwości układów peryferyjnych i wydajności rdzenia należy wziąć pod uwagę jego cenę. Można zauważyć wyraźny trend w zmniejszaniu się ceny układów 32-bitowych, które mogą być z powodzeniem stosowane w aplikacjach, w których do niedawna korzystniejszym wyborem zdawały się 8-bitowce. Wśród mikrokontrolerów, które oferują korzystny stosunek ceny do możliwości należy wskazać rodziny mikrokontrolerów z rdzeniem Cortex-M3. Co prawda rdzenie ARM7TDMI-S są nadal popularne i stosunkowo niedrogie, jednak przy wyborze tych układów należy wziąć pod uwagę fakt, że jest to rodzina starsza technologicznie i w niedługim czasie zostanie najprawdopodobniej zastąpiona przez wydajniejsze układy Cortex-M3. Są jednak takie układy, jak na przykład seria ADuC firmy Analog Devices, która pomimo „starszego” rdzenia są bardzo atrakcyjne, ze względu na zastosowane układy peryferyjne, jak analogowe układy peryferyjne mikrokontrolerów ADuC70xx.

Poza mikrokontrolerami ogólnego przeznaczenia, są interesujące grupy układów specjalnych. W aplikacjach wymagających wysokiego stopnia poufności czy ochrony danych, należy wskazać m.in. układy Zetara (obecnie Atmela), niektóre układy Stellaris z blokiem tablic *lookup* dla algorytmu AES oraz układy nowej firmy Energy Micro.

Do zadań multimedialnych, wymagających większych mocy obliczeniowych CPU, warto przyrzeć się układom z rdzeniem ARM9 lub ARM11, które są zaprojektowane do tego rodzaju zadań.

W przypadku nietypowych aplikacji, wymagających zastosowania niestandardowych układów peryferyjnych lub własnych akceleratorów obliczeń, należy przyrzeć się ofercie firm z konfigurowalnymi układami lub ofercie producentów układów FPGA. Oprócz opisywanych konfigurowalnych mikrokontrolerów Atmela czy układów specjalizowanych firmy Triad Semiconductor, interesującą gałęzią rozwoju mikroprocesorów są rdzenie oferowane jako bloki IP implementowane w układach FPGA. Po układach takich jak Nios II firmy Altera i Microblaze i Picoblaze firmy Xilinx, również firma ARM wprowadziła do oferty rdzenie Cortex-M1. W przypadku układów typu ASIC i FPGA należy wziąć pod uwagę dłuższy oraz bardziej skomplikowany proces projektowania systemu.

Maciej Gołaszewski, EP
maciej.golaszewski@ep.com.pl