

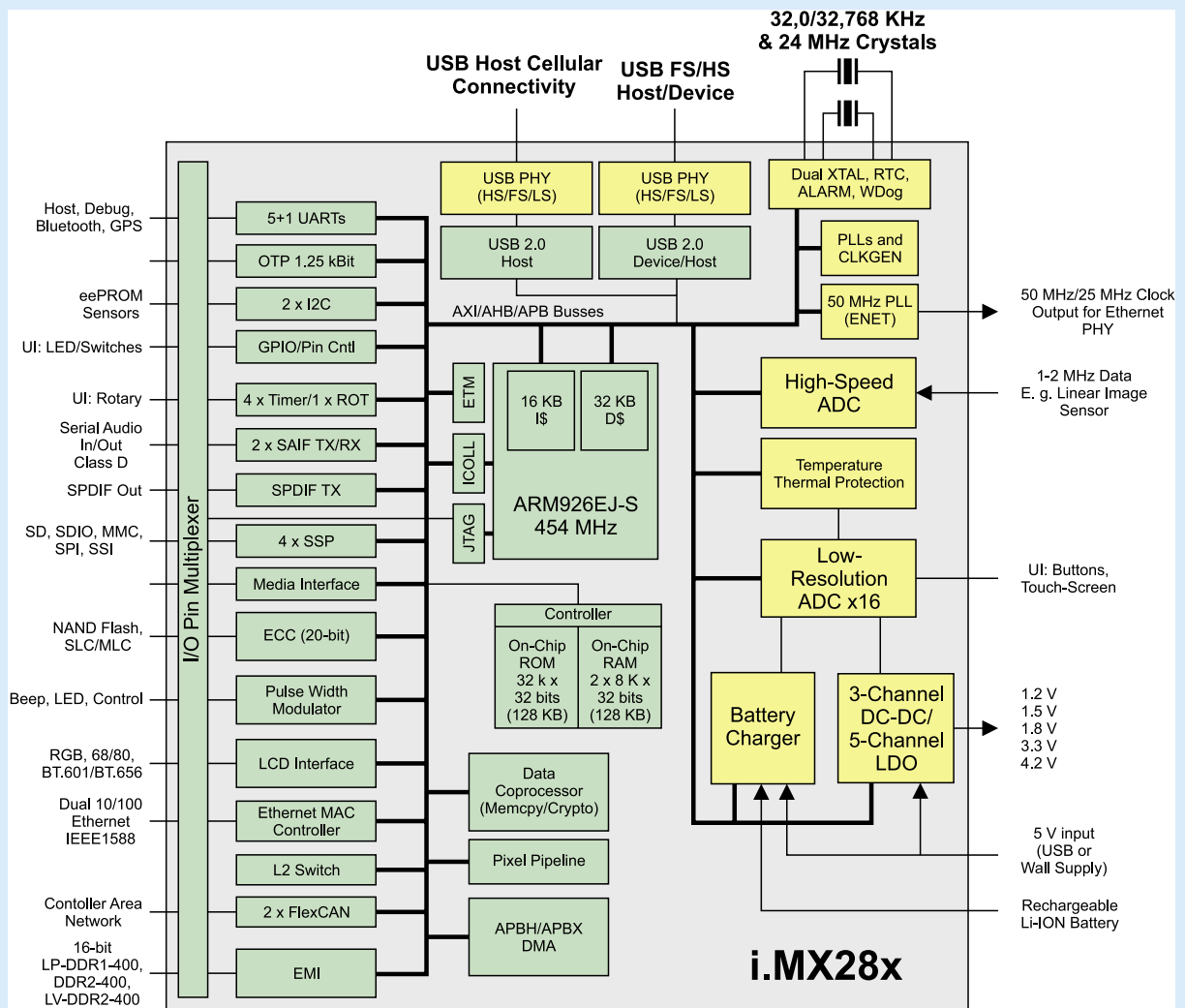
Platforma I.MX28EVK (1)

Nauka programowania mikrokontrolerów pod Linuksem

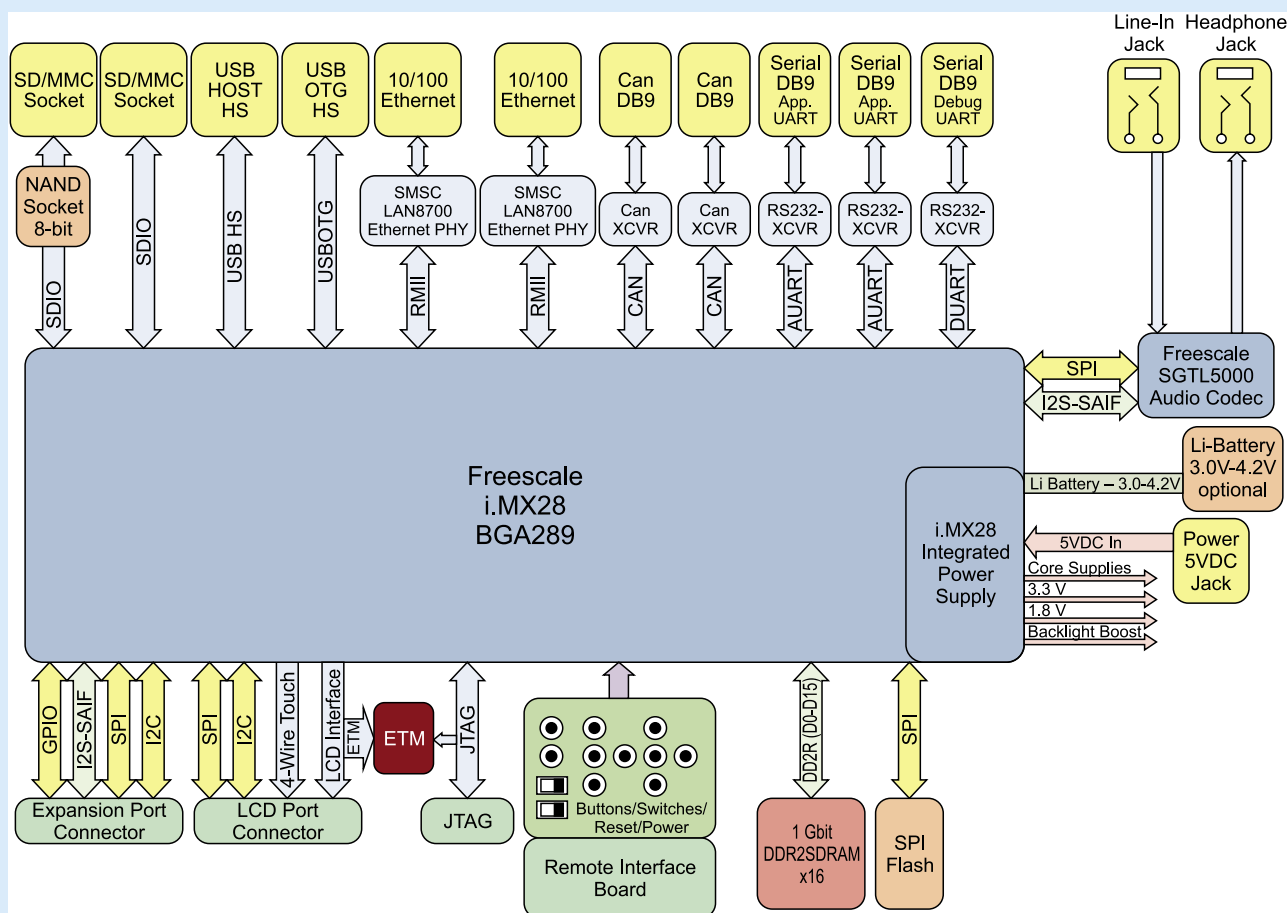
Układy I.MX28 firmy Freescale są jednymi z najmniejszych układów multimedialnych z rodziny I.MX. Układy te wyposażono w rdzeń ARM926EJS (architektura ARMv5TEJ), który jest taktowany sygnałem o częstotliwości 454 MHz. Układ wyposażono w szereg nowoczesnych układów peryferyjnych. Tematem tego odcinka kursu będzie właśnie taki mikroprocesor firmy Freescale, który będziemy mogli zastosować w nieco mniej „multimedialnych aplikacjach”.

Oczekiwania użytkowników odnośnie do urządzeń elektronicznych i ich funkcjonalności oraz graficznego interfejsu użytkownika wymuszają na konstruktorach stosowanie coraz bardziej wyrafinowanych rozwiązań. Skomplikowane interfejsy graficzne oraz komunikacyjne sprawiają, że oprogramowanie staje się skomplikowane. Przygotowanie oprogramowania dla mikrokontrolera niejako od podstaw, bez systemu operacyjnego, zawierającego zaawansowany interfejs graficzny czy obsługę skomplikowanych peryferiów, jest bardzo kosztowne i mogą

sobie na to pozwolić głównie duże firmy i korporacje. W przypadku mniejszych podmiotów, jest to po prostu nieopłacalne, gdyż niższy koszt platformy sprzętowej, zostaje zniwelowany, przez czasochłonny i kosztowny proces przygotowania oprogramowania i jest opłacalny jedynie dla produkcji wielkoseryjnej. Przy mniejszych nakładach produkcyjnych, z pomocą przychodzą nam produkty oparte o wolne licencje jak na przykład system Linux. Kosztem większych nakładów na platformę sprzętową, zyskujemy dostęp do w olbrzymiej bazy opra-



Rysunek 1. Schemat blokowy układu z rodziny I.MX28



Rysunek 2. Schemat blokowy zestawu ewaluacyjnego

owania, które możemy wykorzystać w naszych produktach bez ponoszenia dodatkowych kosztów.

Ostatnio przebojem w dziedzinie mikroprocesorów aplikacyjnych, stają się układy ARM z rdzeniem Cortex-A (podobnie jak rodzina Cortex-M w mikrokontrolerach). Standardem stają się mikroprocesory z rdzeniami taktowanymi częstotliwościami gigahercowymi, zaczynają również pojawiać się rozwiązania wielordzeniowe. Systemy takie najczęściej wyposażane są w pamięci operacyjne o gigabajtowych wielkościach co powoduje, że coraz bardziej zaczyna zacierać się różnica pomiędzy komputerami PC, a układami opartymi o wyżej wspomniane rozwiązania. Rosnąca popularność układów z rdzeniem Cortex-A, spowodowała, że oprogramowania otwarte – źródłowe otrzymuje mocne wsparcie programowe producentów tych układów. Wsparcie to dostarczane jest za pośrednictwem fundacji Linaro powołanej przez firmy ARM, Freescale, IBM, Samsung, ST-Ericsson. Jej zadaniem jest rozwijanie oraz optymalizacja narzędzi Open-Source dla architektury ARMv7A (Cortex-A), takich jak: kompilator, jądro Linuksa czy biblioteki multimedialne.

Z pewnością układy rodziny Cortex-A są przyszłością, zastanówmy się jednak czy zawsze będziemy potrzebowali tak multimedialnych i skomplikowanych układów oraz czy nie wystarczą nam rozwiązania oparte o rdzeń ARM9 (ARM926EJS)?

Zajmując się konsultowaniem rozwiązań projektów opartych o system Linux spotkałem się z tym, że przy wyborze platformy sprzętowej użytkownicy zachęcani reklamami procesorów z rdzeniem Cortex-A reklamowanych niczym proszek do prania wybierają platformy „na

wyrost” i do prostych zadań chcą jak zegara o jak największej częstotliwości, jak najbardziej obszernej pamięci RAM oraz jak największej liczby rdzeni. W bardzo wielu wypadkach, gdy naszym założeniem nie jest projekt kolejnej wersji multimedialnego tabletu okazuje się, że do zrealizowania zadania wystarczy stary, pocziwy mikroprocesor z rodziny ARM926EJS, taktowany sygnałem zegarowym o częstotliwości kilkuset MHz, wyposażony w kilkadziesiąt MB pamięci RAM, który wbrew pozorom jest układem bardzo wydajnym i wystarczającym do większości popularnych i mniej multimedialnych zastosowań. Dodatkowym jego atutem jest niska cena. Zaprezentuję właśnie taki układ firmy Freescale I.MX28, który będziemy mogli zastosować w nieco mniej „multimedialnych” aplikacjach.

I.MX28

Układy z rodziny I.MX28 firmy Freescale są jednymi z najmniejszych układów z rodziny multimedialnych układów rodziny I.MX. Wyposażone je w rdzeń ARM926EJS (architektura ARMv5TEJ), który jest taktowany zegarem o częstotliwości 454 MHz. Układ ma szereg nowoczesnych układów peryferyjnych. Jego schemat blokowy pokazano na **rysunku 1**. W pojedynczym układzie, mamy do czynienia z kompletnym systemem mikroprocesorowym zawierającym m. in.:

- Kontroler wyświetlacza TFT.
- Przetwornik A/C do obsługi panelu dotykowego.
- Kontroler hosta USB.
- Kontroler urządzenia peryferyjnego USB.
- Podwójny kontroler sieci Ethernet.

- Zintegrowany i kompletny układ zasilania wraz z ładowarką akumulatorów litowo – jonowych.
- Koprocesor kryptograficzny.
- Układ PXP, wykonujący proste operacje graficzne bez udziału jednostki centralnej takie jak: skalowanie, alpha-blending, czy odwracanie obrazu.

Dodatkowo, jest dostępnych wiele standardowych układów peryferyjnych znanych z typowych mikrokontrolerów, takich jak: układy czasowo-licznikowe, interfejsy SPI, itp. Natomiast konstruktorów rozwiązań motoryzacyjnych oraz przemysłowych na pewno ucieszy dostępność podwójnego kontrolera magistrali CAN.

Pojedynczy układ stanowi kompletny system umożliwiający uruchomienie systemu Linux, który w minimalnej konfiguracji wymaga dołączenia, pamięci RAM DDR lub DDR2 oraz ewentualnie pamięci Flash dla systemu plików, oraz kilku elementów zewnętrznych zapewniając dużą miniaturyzację urządzenia. Niestety czytelników lubiących przygotowywać własne projekty w domowym zaciszu, zapewne zmartwi fakt, że układy te są dostępne jedynie w obudowach BGA, co bardzo utrudnia ich samodzielny montaż w warunkach amatorskich. Jeżeli chcemy szybko zapoznać się z możliwościami układu jedynym sensownym rozwiązaniem wydaje się nabycie zestawu ewaluacyjnego.

Zestaw ewaluacyjny EVK-I.MX28

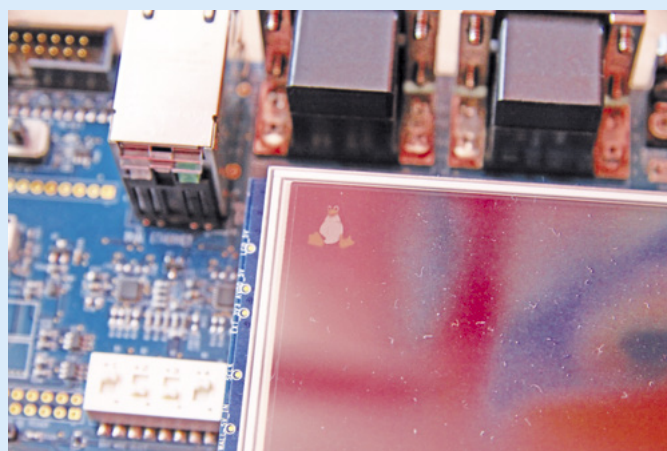
Wychodząc naprzeciw użytkownikom producent opracował zestaw ewaluacyjny dla układów rodziny I.MX28, umożliwiając znaczne skrócenie czasu produkcji docelowego rozwiązania, ponieważ prace nad oprogramowaniem, mogą być prowadzone równolegle, do prac nad sprzętem. Schemat blokowy zestawu ewaluacyjnego przedstawiono na **rysunku 2**.

Pamięć operacyjną zestawu stanowi pamięć DDR2 o mieszcząca 128 MB. Taka wielkość pamięci umożliwia komfortową pracę w środowiska Linux, nawet z wykorzystaniem trybu graficznego, gdy mamy do czynienia z nieco mniejszymi wyświetlaczami niż monitor komputerowy. Zestaw wyposażono również w oddzielny wyświetlacz LCD o rozdzielczości 800×480 pikseli z rezystancyjnym panelem dotykowym, dołączonym do wewnętrznego kontrolera LCD oraz przetwornika A/C. Uwaga: wyświetlacz LCD należy nabyć oddzielnie. Dodatkowo, do dyspozycji mamy podwójny interfejs sieciowy o przepustowości 1 Gbps, umożliwiający budowę zaawansowanych aplikacji sieciowych. Wyprowadzone jest także gniazdo pamięci NAND-Flash, ale niestety fabrycznie nie jest ona montowana w zestawie, a uruchamianie systemu odbywa się domyślnie z karty SD/MMC, co powoduje, że system pracuje stosunkowo wolno. Na szczęście producent umieścił podstawkę, więc w razie potrzeby można osobno dokupić odpowiednią pamięć.

Jak przystało na zestaw multimedialny, do układu dołączono kodek audio oraz wyprowadzono złącza *line in* i *line out*, co umożliwia rejestrację i odtwarzanie dźwięku. W zestawie wyprowadzono są również układy hosta USB umożliwiając dołączanie dowolnych urządzeń z tym interfejsem. Do dyspozycji mamy także bardziej typowe układy peryferyjne, takie jak: porty szeregowo, interfejsy CAN czy dodatkowe guziki dołączone do portów GPIO. Wprowadzono także interfejs JTAG, jednak przy pracy z systemem Linux będzie on dużo mniej przydatny, niż w zastosowaniach mikrokontrolerowych.

Listing 1. Konfigurowanie interfejsu sieciowego

```
root@freescale ~$ ifconfig eth0 192.168.16.222 up
root@freescale ~$ route add default gw 192.168.16.1
root@freescale ~$ echo 'nameserver 192.168.16.1' > /etc/resolv.conf
root@freescale ~$ ping boff.pl
PING boff.pl (178.73.24.199): 56 data bytes
64 bytes from 178.73.24.199: seq=0 ttl=64 time=0.969 ms
64 bytes from 178.73.24.199: seq=1 ttl=64 time=0.782 ms
64 bytes from 178.73.24.199: seq=2 ttl=64 time=0.781 ms
--- boff.pl ping statistics ---
3 packets transmitted, 3 packets received, 0% packet loss
round-trip min/avg/max = 0.781/0.844/0.969 ms
root@freescale ~$
```



Fotografia 3. Logo pingwinka ukazujące się podczas uruchamiania Linuksa

JTAG pod Linuksem wykorzystuje się głównie do debugowania bootloaderów, a więc dla 99% użytkowników jest on zbędny, ponieważ aplikacje użytkownika będziemy debugować za pomocą typowego debuggera GDB.

Z zestawem jest dostarczana płyta DVD zawierająca gotowy obraz maszyny wirtualnej, umożliwiający pisanie oprogramowania dla systemu Linux. Dodatkowo, na karcie SD jest przygotowana standardowa instalacja systemu Linux demonstrująca możliwości wyświetlacza oraz środowiska GNOME. Niestety, dołączone oprogramowanie jak na dzisiejsze czasy „trąci myszką”, nic jednak nie stoi na przeszkodzie, aby we własnym zakresie przygotować na bazie dostarczanego przez producenta systemu nowsze wersje oprogramowania.

Pokażemy teraz w jaki sposób przygotować zestaw do pracy oraz uruchomić na nim demonstracyjną wersję Linuksa umieszczonego na karcie pamięci SD. W pierwszej kolejności należy rozpakować sam zestaw I.MX28EVK oraz dodatkowy zestaw MCIMX28LCD zawierający wyświetlacz LCD. Wyświetlacz należy umieścić w gnieździe oznaczonym etykietą „LCD DAUGHTERBOARD”, a następnie przykręcić za pomocą dołączonych wsporników. Do gniazda karty SD, oznaczonego „SD Card Socket 0”, należy włożyć kartę SD oznaczoną etykietą „Linux”. Kolejną czynnością jest odpowiednie ustawienie zwór na płycie, tak aby system uruchomił się z karty pamięci. W tym celu należy:

Przełączniki DIP-SWITCH S2 odpowiadające za tryb bootowania procesora ustawić w pozycjach: B3=1, B2=0, B1=0, B0=1.

Przełącznik S3 odpowiadający za zasilanie USB ustawić w pozycji „OFF”.

Zworę S16 odpowiadającą za sposób zasilania ustawić w pozycji „Wall 5V”.

Zworę J94 odpowiedzialną za zasilanie procesora ustawić w pozycji „VDD5V”.



Fotografia 4. Pulpit demonstracyjnego środowiska Linux

Zworę J95 odpowiadającą za podświetlenie LCD ustawić w pozycji „VDD4P2”.

Po wykonaniu powyższych czynności płytką jest gotowa do pracy. Do złącza portu szeregowego „DEBUG UART” należy dołączyć kabel RS232 oraz po stronie komputera PC, uruchomić ulubiony program terminalowy (np. minicom) i ustawić parametry transmisji, tak aby pracował w trybie transmisji szeregowej z prędkością 115200 bps, 8 bitów danych oraz 1 bit stopu. Ostatnią czynnością będzie dołączenie zasilacza 5 V do złącza oznaczonego „5 V DC”. W momencie włączenia napięcia zasilającego, podświetlenie wyświetlacza powinno zaświecić się, a po chwili powinno pojawić się logo Linuksa – pingwin „Tux”, który sygnalizuje prawidłowe uruchamianie się systemu operacyjnego (fotografia 3).

Uruchamianie systemu trwa dłuższą chwilę. Przy wielkości pamięci operacyjnej 128 MB wybór pełnoprawnego serwera X-windows oraz Gnome jako systemu graficznego jest nieco kontrowersyjny, ponieważ do jego płynnego działania wymagana jest większa pamięć RAM. Uruchamianie całego systemu trwa około 2...3 minuty. Dużo lepsze rezultaty możemy uzyskać w przypadku zastosowania rozwiązań graficznych dla systemów embedded oraz przeniesienia obrazu systemu do pamięci NAND-Flash. Gdy już doczekamy załadowania systemu, naszym oczom powinno ukazać się środowisko graficzne Gnome Mobile (fotografia 4).

Środowisko to jest stosunkowo leciwe, podobnie jak jądro systemu oraz cały toolchain, który pochodzi sprzed kilku lat. Poszczególne ikony odzwierciedlają foldery, w których umieszczone są różne aplikacje. Możemy teraz poprzez dotknięcie palcem wejść do wnętrza folderu. W niektórych z nich znajdują się przykładowe aplikacje. Niestety, aplikacji jest niewiele, a te które są, działają dość „ociężale” z uwagi na bibliotekę GTK, która przy tej ilości pamięci nie działa najlepiej. Jako ciekawostkę możemy wymienić zainstalowany odtwarzacz wideo oraz dwa przykładowe filmy, które jak na dostępne zasoby odtwarzają się nadszybciej płynnie.

Po dołączeniu, przewodu sieci Ethernet mamy możliwość skorzystania z połączeń sieciowych. Niemniej jednak producent nie pomyślał o tym, aby przygotować choćby najprostszą przeglądarkę internetową. Podobnie

nie pomyślał o automatycznej konfiguracji sieci, tak aby po podłączeniu kabla sieciowego system pobrał adres IP z serwera DHCP. Aby uruchomić sieć musimy połączyć się do płytki za pomocą konsoli szeregowej, a następnie ręcznie uruchomić i skonfigurować interfejs sieciowy za pomocą poleceń przedstawionych na **listingu 1**. Na początku jest konfigurowany interfejs sieciowy z adresem IP 192.168.16.222. Za pomocą polecenia *route* jest konfigurowana brama domyślna, a na zakończenie jest konfigurowany serwer nazw DNS. Niestety, uzyskanie adresu IP z serwera DHCP w domyślnym obrazie demonstracyjnym nie jest możliwe, ponieważ producent standardowo nie dołączył klienta DHCP.

Po prawidłowym skonfigurowaniu interfejsu sieciowego za pomocą polecenia *ping* można przetestować połączenie ze zdalnym serwerem.

Niestety, demo dla systemu Linux, przygotowane przez producenta nie zachwyca. Możemy zauważyć tutaj liczne niedociągnięcia, chociażby brak automatycznego konfigurowania połączenia sieciowego, brak jakiegokolwiek przeglądarki internetowej czy innych przykładowych aplikacji, co już na starcie może zniechęcić niejednego użytkownika. Producent zdecydowanie bardziej przyłożył się do oprogramowania demonstracyjnego opartego o WindowsCE. Niemniej jednak, mając do czynienia z rozwiązaniami otwarte – źródłowymi możemy sami przygotować, całe środowisko, według własnych upodobań.

Podsumowanie

Po wstępnym zapoznaniu się z płytką ewaluacyjną dla procesorów rodziny I.MX28 możemy stwierdzić, że procesor ten przeznaczony jest do prostych urządzeń, pozbawionych interfejsu graficznego lub do urządzeń mających niewielki wyświetlacz. W wypadku budowy systemu z interfejsem graficznym, będziemy musieli raczej użyć „lżejszych” rozwiązań niż Xorg – Gnome, na przykład Nano-X, który będzie działał zdecydowanie wydajniej w środowisku embedded o raczej niewielkich zasobach systemowych. Należy tutaj podkreślić, że nie jest to procesor do obsługi zaawansowanych multimediów, ale jest w zupełności wystarczający do większości popularnych projektów, chociażby z zakresu sterowania i automatyki, co powinno zadowolić dużą część użytkowników. Bardziej zaawansowane rozwiązania multimedialne będą wymagały sięgnięcia po większych braci z rodziny I.MX, chociażby np. z serii I.MX53. Jednak w takim wypadku należy zastanowić się czy nie taniej będzie zastosować jakieś multimedialne urządzenia powszechnego użytku, chociażby bardzo popularne ostatnio tablety, które można nabyć naprawdę w bardzo okazjnych cenach.

W kolejnych odcinkach zapoznamy się ze sposobem instalacji, środowiska umożliwiającego napisanie własnej aplikacji dla Linuksa, dostarczonego przez producenta.

Lucjan Bryndza, EP