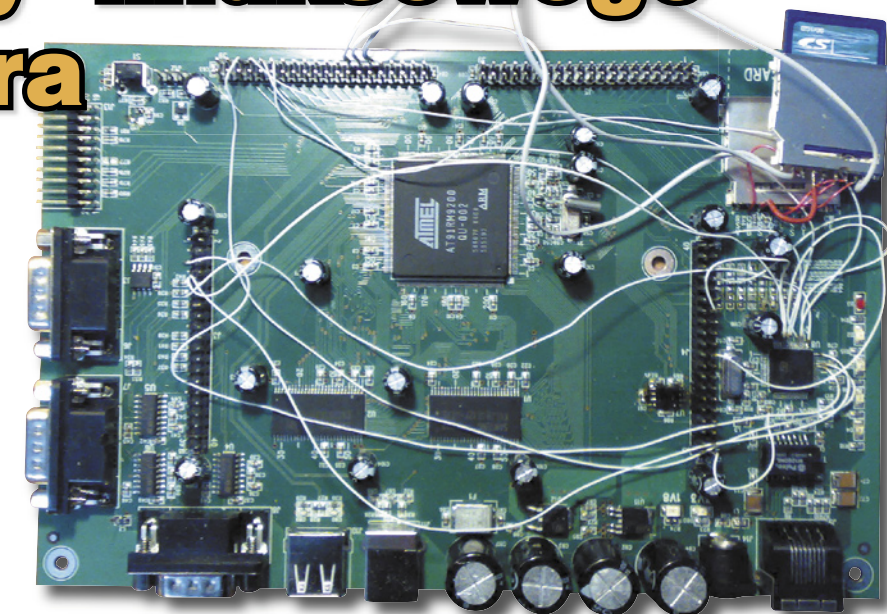


Narodziny linuksowego ARMputera

Z każdym dniem nowo powstające urządzenia elektroniczne są coraz bardziej przyjazne dla użytkowników. Jednocześnie urządzenia stają się coraz bardziej skomplikowane, co stwarza nowe wyzwania dla konstruktorów i programistów. O ile napisanie od podstaw oprogramowania skomplikowanego urządzenia kilka lat temu było całkiem realne nawet w przypadku małych firm, dziś wobec wszechobecnych, skomplikowanych interfejsów komunikacyjnych USB, Ethernet, czy graficznych interfejsów użytkownika, jest to wykonalne, ale bardzo kosztowne i czasochłonne. Rozwiązaniem tych problemów jest zastosowanie systemu operacyjnego, co wymaga odpowiedniej platformy sprzętowej.

Napisanie oprogramowania np. obsługi interfejsu USB czy Ethernet, operującego bezpośrednio na rejestrach mikrokontrolera, wymaga sporej wiedzy oraz wielu godzin pracy. Nie wspominając już o nakładzie pracy jaką musielibyśmy wykonać gdybyśmy chcieli oprogramować interfejs hosta USB, czy napisać program wyświetlający na ekranie LCD pliki JPG. Jeżeli w rozsądnym czasie chcemy napisać oprogramowanie dla skomplikowanego urządzenia, musimy użyć dodatkowego oprogramowania dostarczonego przez osoby trzecie. W przypadku prostych projektów możemy wykorzystywać biblioteki obsługi określonego układu peryferyjnego, które często są dostarczane przez producentów wybranego mikrokontrolera lub pisane jako otwarte oprogramowanie (*Open Source*).



W przypadku większych projektów takie podejście również okazuje się niewystarczające. Stopień skomplikowania powoduje, że większość standardowego kodu – na przykład serwer WWW z szyfrowaniem SSL – będziemy musieli napisać samodzielnie. Również brak ochrony pamięci pomiędzy zadaniami/procesami powoduje, że nawet mały błąd w kodzie powoduje zawieszenie całego urządzenia, a o błędy w dużym i skomplikowanym programie nie jest trudno. Rozwiązaniem wyżej wspomnianych problemów jest użycie systemu operacyjnego znanego z większych komputerów biurkowych. Dzięki temu zyskujemy mechanizm ochrony pamięci pomiędzy procesami, gdzie błędnie działająca aplikacja nie może zawiesić całego systemu. Dostajemy również dostęp do wielu standardowych bibliotek i programów, przez co możemy zaoszczędzić sobie wiele programowania. Niestety rozwiązanie takie wymaga użycia dużego procesora z jednostką zarządzania pamięcią MMU, oraz dużą ilością pamięci RAM.

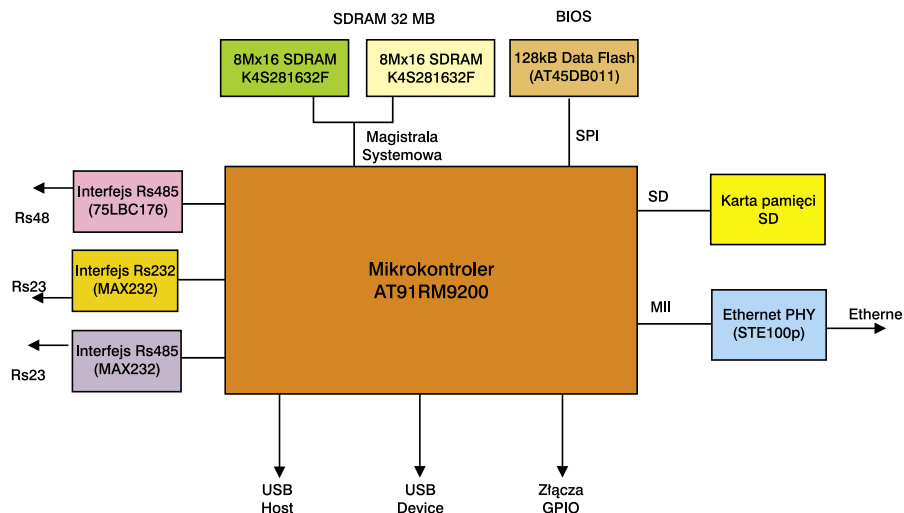
Jeżeli chodzi o wybór systemu to możemy kupić komercyjny system na przykład Windows CE, jednak wiąże się to z dużymi kosztami, oraz brakiem dostępu do kodu źródłowego przez co nie możemy dostosować do własnych potrzeb, oraz zoptymalizować. Dużo lepszym rozwiązaniem jest użycie

Linuksa, który jest oprogramowaniem „otwartym” (*Open Source*), z pełnym dostępem do kodu źródłowego. Możemy zatem dowolnie modyfikować optymalizować i dostosowywać system do naszych potrzeb.

Tak właśnie zrodziła się idea prostego modułu ARMputera, na którym można uruchomić system Linux. Moduł taki będzie stanowił płytę bazową dla tworzonych przez nas projektów, umożliwiając dołączanie innych dodatkowych urządzeń w zależności od potrzeb. Dzięki tej płycie nawet w warunkach amatorskich nie posiadając

Parametry techniczne i wyposażenie ARMputera

- procesor: ARM920T 180 MHz z MMU (AT91RM9200)
- pamięć operacyjna: 32 MB SDRAM
- pamięć BIOS: 128 kB Serial Data Flash (bootloader)
- dysk: dowolna karta SD/MMC 256 MB..8 GB
- kontroler hosta USB 1.1
- kontroler urządzenia USB 1.1
- kontroler sieci Ethernet 100 Mb/s
- zegar czasu rzeczywistego RTC
- interfejs I²C
- 3 Interfejsy SSP/I²S
- interfejs SPI
- 64 linie GPIO (tolerujące 5 V)
- 2 porty RS232 (jeden ze wszystkimi liniami modemowymi)
- port RS485
- złącze JTAG
- napięcie zasilające 5 V/150 mA (650 mA, przy maksymalnym obciążeniu USB Host)
- oprogramowanie: dedykowany Boff Linux (Kernel 2.6.23)



Rys. 1. Schemat blokowy ARMputera

skomplikowanego zaplecza technicznego możemy tworzyć urządzenia wykorzystujące rozwiązania oparte o Linux. Płyta nadaje się także jako płyta uruchomieniowa podczas stawiania pierwszych kroków z Linuxem w systemach wbudowanych.

Sprzęt

Głównym założeniem podczas tworzenia projektu kolejnej wersji ARMputera było zaprojektowanie uniwersalnej płyty posiadającej jak największe zasoby, tak aby można było na niej swobodnie uruchomić Linuxa. Zdecydowano się na użycie podzespołów, które są dostępne w obudowach nadających się do amatorskiego montażu oraz łatwo dostępne w ilościach detalicznych. Płyta została zaprojektowana tak, aby mogła być wykorzystana jako moduł uruchomieniowy lub jako płyta główna własnego urządzenia do której za pomocą złącz będziemy dołączać inne płytki.

Podczas przygotowywania wstępnych założeń jako pamięć dyskową, na której będzie przechowywany system operacyjny, przewidziano układ NAND Flash o pojemności 512 MB, umieszczony na płycie głównej. Jednak te założenia trzeba było szybko zweryfikować, gdy okazało się, że takie pamięci są w zasadzie nie do kupienia w ilościach detalicznych. Po dalszych poszukiwaniach okazało się, że najlepszym i najtańszym rozwiązaniem jest wykorzystanie zwykłej karty pamięci SD. Autorowi udało się kupić detalicznie kartę SD o pojemności 1 GB za nieco ponad 20 zł, trudno więc chyba o jakiś inny nośnik o podobnym stosunku pojemności do ceny.

Mikrokontroler AT91RM9200 jest wyposażony w kontroler MMC/SD umożliwiający wykorzystanie pełnej prędkości karty SD, która jest niemożliwa do uzyskania w przypadku korzystania z trybu kompatybilności z SPI.

Na rys. 1 pokazano schemat blokowy ARMputera. „Sercem” układu jest mikrokontroler AT91RM9200 z rdzeniem ARM9 (ARM920T), wyposażony w MMU, kontroler pamięci SDRAM, układy czasowo-licznikowe, zegar RTC oraz wiele interfejsów komunikacyjnych, takich jak: kontroler hosta USB, kontroler urządzenia USB, SPI, I²C itp. Mikrokontroler wyposażono w zaledwie 16 kB wewnętrznej pamięci RAM, dlatego do prawidłowego działania urządzenia jest potrzebna zewnętrzna pamięć RAM. Z uwagi na niezbędną, dużą pojemność pamięci koniecznej do uruchomienia Linuxa musieliśmy użyć bardziej skomplikowanych w obsłudze pamięci SDRAM, gdyż zapewniają ona najlepszy stosunek pojemności do ceny. Proces odświeżania takich pamięci jest stosunkowo skomplikowany, jednak mikrokontroler posiada odpowiedzialny za to sprzętowy układ, więc z punktu widzenia rdzenia mikrokontrolera jest ona widoczna tak jak każda inna pamięć i nie wymaga specjalnych procedur obsługi.

Magistrala danych, do której dołączono pamięć, ma szerokość 32 bitów, dlatego dołączono do niej dwa układy pamięci po 128 Mb o szerokości magistrali danych 16-bitów. Z uwagi na dużą szybkość pracy tych pamięci, podczas projektowania płytki konieczne stało się wyrównanie długości wszystkich

ścieżek, tak aby uzyskać jednakowy czas propagacji oraz wyrównać impedancje wszystkich linii. Dodatkowo na płytce umieszczono pamięć Data Flash o pojemności 128 kb dołączoną do magistrali SPI0, której rola jest podobna jak zwykłego BIOS-u znanego z komputerów PC. W pamięci są przechowywane programy ładujące (*bootloadery*) odpowiedzialne za podstawowe testy, konfigurację pamięci SDRAM oraz proces uruchamiania Linuxa z karty SD lub poprzez sieć z serwera NFS.

Po włączeniu napięcia zasilającego program zawarty w wewnętrznej pamięci ROM mikrokontrolera kopiuje program w niej zawarty do wewnętrznej pamięci RAM, następnie uruchamia go. Kartę MMC/SD dołączono do mikrokontrolera za pomocą dedykowanej magistrali MMC/SD, która ma szerokość 4 bitów, więc w przypadku użycia karty SD obsługującej ten tryb pozwala na uzyskanie dużej prędkości przesyłanych danych. W przypadku wykorzystywania karty jako głównego systemu plików jest to niezbędne. Możemy tutaj użyć dowolnej karty powszechnie dostępnej na rynku o pojemności od 64 MB, aż do kilkunastu GB, w zależności od konkretnych wymagań. AT91RM9200 ma wbudowany kontroler Ethernet MAC, niemniej, do jego działania niezbędny jest zewnętrzny układ warstwy fizycznej tak zwany (PHY). Układ ten należy dołączyć do mikrokontrolera za pomocą przeznaczonej specjalnie do tego celu magistrali MII. W naszym rozwiązaniu zdecydowano się na użycie łatwo dostępnego w ilościach detalicznych układu STE100P. Z myślą o zastosowaniach przemysłowych, do jednego z portów szeregowych mikrokontrolera dołączono typowy układ konwertera zapewniający komunikację w standardzie RS485. Do wyjścia dwóch UART-ów dołączono klasyczne układy konwerterów zapewniające translację napięć do standardu RS232. Jednym z układów dołączonych do konwertera RS232 jest UART-DBG, który stanowi konsolę dla Linuxa i bootloadera, więc dołączając się do tego portu za pomocą terminala możemy sprawdzić jak przebiega uruchamianie systemu lub zalogować się do konsoli bootloadera czy Linuxa. Na płytce umieszczono także złą-



ZESTAWY LUTOWNICZE MOCY 100W

w nowym uкомплекtowaniu!



XY LF-7000

Zestaw lutująco-rozlutowujący

w zestawie:

- 210ESD: lutownica 32V/100W (200°C+480°C)
- DIA80: elektroniczny odsysacz 32V/80W (200°C+480°C)
- HAP80: rączka nadmuchu 80W
- podstawki, akcesoria
- opcjonalnie:
- TWZ100: rączka pincetowa 100W



XY LF-9000

Cyfrowy zestaw lutująco-rozlutowujący

w zestawie:

- 210ESD: lutownica 32V/100W (200°C+450°C)
- DIA80: elektroniczny odsysacz 32V/80W (200°C+480°C)
- HAP80: rączka nadmuchu 80W
- TWZ100: rączka pincetowa 100W
- XY426DLX: pochłaniacz oparów
- podstawki, akcesoria



XY LF-1000

Stacja cyfrowa

w zestawie:

- 210ESD: lutownica 32V/100W (200°C+450°C)
- podstawka
- opcjonalnie:
- TWZ100: rączka pincetowa 100W

do w/w stacji oferujemy groty typu "LONG LIFE"
w wykonaniu specjalnym do lutowania bezołowiowego

POPULARNE STACJE LUTOWNICZE

serwisy • pracownie dydaktyczne • hobby



XY 136ESD

z lut. 107ESD (24V/60W)

- efektywna grzałka ceramiczna
- port kalibracji temperatury
- blokada ustawionej temperatury
- opcja: TWZ60-rączka pincetowa



XY 9-60D

Stacja cyfrowa z lut. 207ESD (24V/60W)

- port kalibracji temperatury
- blokada ustawionej temperatury
- opcja: TWZ50-rączka pincetowa



XY 369

z lutownicą 106 (230V/45W)

- efektywna grzałka ceramiczna
- BARDZO ATRAKCYJNA CENA



XY 168-3C

z lutownicą 207 (24V/60W)

- blokada ustawionej temperatury
- opcja: TWZ50-rączka pincetowa

* wszystkie ceny NETTO w PLN, należy doliczyć 22% VAT

Jesteśmy autoryzowanym przedstawicielem XYTRONIC od 1991 roku

BIALL Sp. z o.o.

Otomin, ul. Słoneczna 43, 80-174 GDAŃSK
tel. (0 58) 322 11 91, 92; fax (0 58) 322 11 93
e-mail: biall@biall.com.pl

Regionalne Biura Handlowe:

WARSZAWA, ul. Kłobucka 8
kom. 505 107 957
e-mail: warszawa@biall.com.pl

JAWORZNO, ul. Nowowiejska 15
kom. 509 755 010
e-mail: jaworzno@biall.com.pl



PN-EN ISO 9001:2001

WYSOKA JAKOŚĆ
ZA PRZYSTĘPNĄ CENĘ



```

lucdk@lucdktop: ~ - Powłoka - Konsola
-----
Sesja  Edycja  Widok  Zakładki  Ustawienia  Pomoc
-----
DataFlash:AT45DB161
Hu pages: 4096
Page Size: 528
Size: 2162688 bytes
Logical address: 0xC0000000
Area 0: 00000000 to 0000317F (R0) Darrell loader
Area 1: 00003180 to 0001F73F (R0) U-boot
Area 2: 0001F740 to 0002193F Environment
Area 3: 00021940 to 001FFFFFF Kernel
In: serial
Out: serial
Err: serial
Hit any key to stop autoboot: 0
hoff> dump
BO0TF broadcast 1
DHCP client bound to address 192.168.16.100
TFTP from server 192.168.16.101: our IP address is 192.168.16.100
Filename 'vmlinux.img',
Load address: 0x20200000
Loading: #####
done
Bytes transferred = 1234080 (12d4a0 hex)
hoff>

```

Rys. 2. Linia komend bootloadera u-boot

cze hosta USB, więc bez problemu do ARMputera możemy podłączyć urządzenia przeznaczone dla komputerów PC, jak np.: pamięci pendrive, kamery USB, drukarki itp. Komputer zawiera także złącze urządzenia USB, zatem możemy go również dołączyć do komputera PC tak, żeby się zgłaszał jako jakieś urządzenie, na przykład modem lub port szeregowy. Wszystkie pozostałe linie mikrokontrolera GPIO oraz pozostałe magistrale SPI, I²C wyprowadzono na zewnątrz płytki za pomocą trzech 40-pinowych złącz typu gold-pin w typowym rastrze 2,54 mm. Do tych złącz możemy dołączać inne płytki w zależności od potrzeb. Do zasilania modułu należy użyć zasilacza stabilizowanego 5 V o wydajności prądowej 650 mA. W przypadku, gdy nie będziemy korzystać ze złącza hosta USB możemy użyć zasilacza o wydajności prądowej do 200 mA.

Oprogramowanie

Oprogramowanie ARMputera rozmieszczono w dwóch obszarach pamięci BIOS (Serial DataFlash) o pojemności 128 kB:

- w jednej: bootloadery – inicjalizujący oraz bootloader główny u-boot,
- w drugiej – opracowaną specjalnie na potrzeby naszego ARMputera dystrybucję Linuksa o nazwie Boff Linux.

Jak wspomniano, mikrokontroler po włączeniu napięcia zasilania rozpoczyna wykonywanie programu zawartego w wewnętrznej pamięci ROM, który wczytuje do wewnętrznej pamięci RAM o rozmiarze 16 kB bootloader inicjalizujący zawarty

w pamięci Serial DataFlash. Jego zadaniem jest inicjalizacja podstawowych układów peryferyjnych mikrokontrolera: pętli PLL, pamięci SDRAM, testowanie pamięci SDRAM, a następnie skopiowanie bootloadera głównego u-boot do pamięci SDRAM oraz jego uruchomienie. Bootloader ten przeprowadza

podstawowe testy pamięci oraz umożliwia przeprogramowanie pamięci BIOS z wykorzystaniem protokołu X-Modem.

Bootloader u-boot jest odpowiedzialny za odczytanie z karty pamięci SD jądra Linuksa, a następnie jego uruchomienie. Jest on dużo bardziej rozbudowany od wspomnianego wcześniej bootloadera inicjalizującego i zawiera rozbudowany wiersz poleceń, obsługę sieci, obsługę systemu plików EXT2. Umożliwia on również uruchomienie ARMputera z serwera sieciowego TFTP, NFS. Widok działającej linii komend bootloadera u-boot przedstawiono na rys. 2.

Podczas powstawania projektu zdecydowano się na stworzenie własnej dystrybucji Linuksa, dzięki czemu możemy zoptymalizować cały system dla konkretnego rdzenia ARM920T oraz wyposażenia płytki, dzięki czemu uzyskujemy dużą wydajność oraz możliwość dowolnego dostosowania dystrybucji w zależności od konkretnych potrzeb. Zapewnia to możliwość stworzenia maksymalnie wydajnego i małego systemu, co nie było by możliwe do osiągnięcia w przypadku powszechnie dostępnych dystrybucji.

Szczegółowe informacje na temat oprogramowania i systemu boff-linux przedstawimy w cyklu artykułów, którego publikację zaczynamy za miesiąc.

Lucjan Bryndza, EP
lucjan.bryndza@ep.com.pl

Czterowarstwowe płytki drukowane do ARMputerów wykonała firma Technoservice, a montaż podzespołów – firma TStronic (www.tstronic.eu).