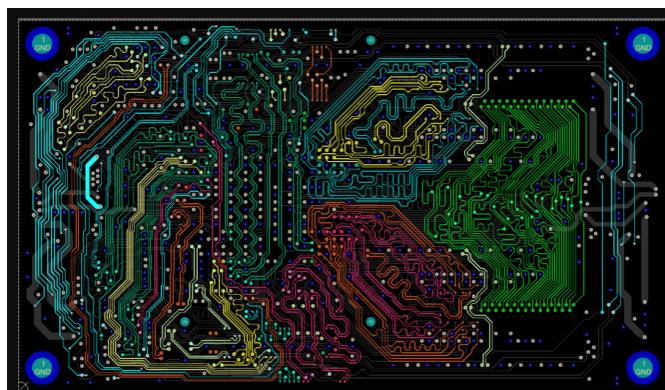


# Komputery jedno płytkowe

*Projektując układy elektroniczne, konstruktorzy często decydują się na wykorzystanie mikrokontrolerów jednoukładowych z uwagi na ich niską cenę, prostotę użycia (która wiąże się z brakiem konieczności prowadzenia skomplikowanych ścieżek, związanych z interfejsami pamięci) oraz stosunkowo dużą moc obliczeniową współczesnych mikrokontrolerów. W bardziej skomplikowanych projektach moc obliczeniowa takiego układu nie jest wystarczająca. Projektant musiał sięgnąć po inne rozwiązania. Pierwszą myślą, jaka nasuwa się w tym przypadku, jest zastąpienie mikrokontrolera jednoukładowego bardziej zaawansowanym systemem mikroprocesorowym.*

Własna implementacja zaawansowanego rozwiązania, nawet z wykorzystaniem układu SOC, wiąże się z koniecznością użycia wielowarstwowej płytki PCB i przymusem prowadzenia ścieżek do układów pamięci zgodnie ze sztuką projektowania obwodów wysokich częstotliwości. Zadanie staje się skomplikowane i często nieopłacalne przy niskim nakładzie produkcyjnym. Na **fotografii 1** pokazano przykładowy

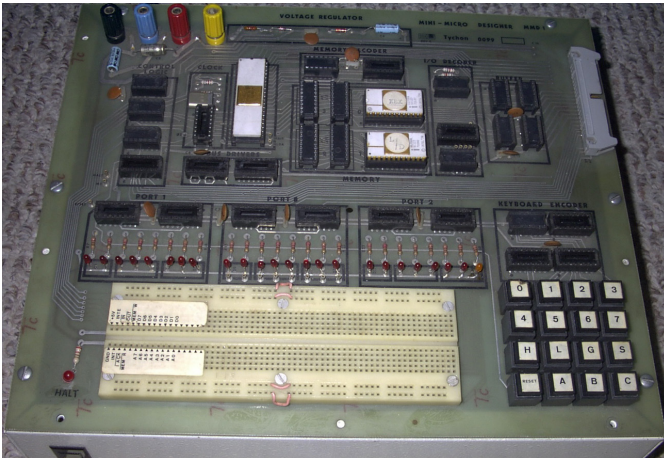


**Fotografia 1.** Schemat płytki PCB z interfejsem DDR dla układu SOC

widok płytki PCB, ilustrujący połączenie pamięci DDR z układem SOC. Jak łatwo możemy zauważyć, przygotowanie takiej płytki wymaga dużego doświadczenia od projektanta oraz jest czasochłonne.

Problem został szybko dostrzeżony przez producentów układów elektronicznych i w ten sposób zaczęły powstawać komputery jedno płytkowe (*SBC – Single Board Computer*), integrujące procesor, pamięci oraz





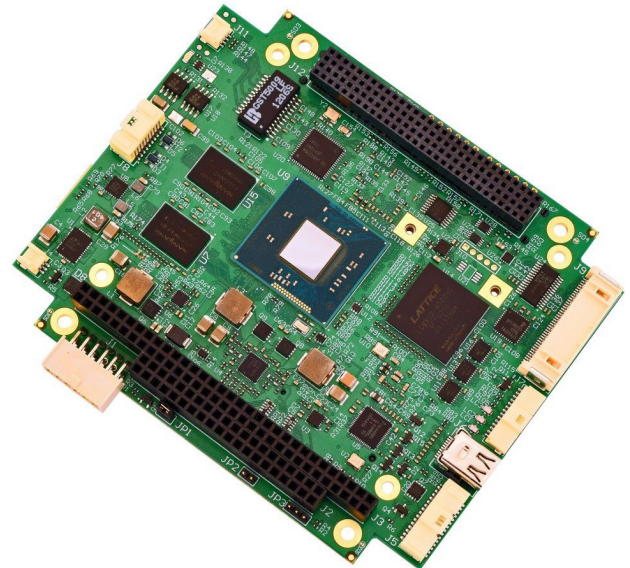
Fotografia 2. Dyna-micro – protoplasta komputera SBC

układy interfejsowe na jednym kawałku PCB. Jeżeli chcemy zastosować skomplikowany system mikroprocesorowy, wystarczy, że skorzystamy z gotowego komputera SBC oraz zaprojektujemy układ interfejsu, łączący komputer z układami zewnętrznymi. Dzięki temu przy produkcji niskonakładowej znacząco zmniejszamy koszt projektu, ponieważ wystarczy zaprojektować układ interfejsu specyficznego dla danego produktu, który najczęściej realizowany jest w postaci nieskomplikowanego układu – prostej dwuwarstwowej płytki drukowanej. Dla produkcji wysokonakładowej warto rozważyć zaprojektowanie całego systemu mikroprocesorowego we własnym zakresie, ponieważ wysokie koszty projektu zostaną rozłożone na dużą liczbę urządzeń, a producent komputerów SBC także musi zarobić na swoim produkcie. Istotną zaletą tego rozwiązania będą mniejsze wymiary urządzenia, ponieważ z układu SOC będziemy wyprowadzać tylko te sygnały, które będą potrzebne w projekcie, bez konieczności wpasowywania się w interfejs komputera SBC, przewidziany przez producenta.

### Historia komputerów jednopłytkowych

Za pierwszy komputer jednopłytkowy uważa się urządzenie o nazwie „dyna-micro” powstały w 1976 roku (fotografia 2). Został zbudowany na bazie mikroprocesora i8080 i zawierał wszystkie elementy typowe dla tego rodzaju urządzeń, czyli pamięć EPROM oraz RAM, układy wejścia-wyjścia, prostą klawiaturę oraz wyświetlacz. Do programowania nie były potrzebne żadne specjalistyczne narzędzia ani dodatkowy zewnętrzny komputer, ponieważ kod maszynowy można było wprowadzać bezpośrednio z klawiatury. W analogicznym okresie powstała podobna konstrukcja o nazwie KIM1, bazująca na popularnym w tym czasie mikroprocesorze 6502.

Do połowy lat 90-tych, we wczesnej fazie rozwoju, gdy architektura ARM była jeszcze w powijakach, zdecydowaną większość komputerów jednopłytkowych stanowiły platformy oparte na mikroprocesorach zgodnych z x86, z uwagi na najwyższą wydajność. Komputery SBC tego typu są zgodne z architekturą IBM-PC, a to, co je wyróżnia, w porównaniu do klasycznych płyt głównych PCAT/ATX, to zdecydowanie mniejsze wymiary, dodatkowe porty IO oraz często brak możliwości zastosowania kart rozszerzeń. Procesor oraz pamięć są przeważnie zintegrowane z płytą główną, aby zwiększyć odporność na wstrząsy oraz zmniejszyć wymiary. Około roku 2000 na popularności zaczęła zyskiwać architektura ARM, która przebojem zdobywała rynek mikrokontrolerów jednoukładowych oraz rozwiązań bazujących na układach SOC. Przełomem było pojawienie się rdzeni **CortexM** oraz układów serii **CortexA** dla procesorów aplikacyjnych. Moc obliczeniowa procesorów aplikacyjnych z 64-bitowym rdzeniem Cortex A53/A76/A78 jest porównywalna z mikroprocesorami Intel Core i3/5/7, przy znacząco mniejszym poborze prądu oraz prostszej architekturze, pozbawionej wielu naleciałości historycznych. O sukcesie oraz wydajności architektury ARM może świadczyć fakt, iż firma Apple w tym roku postanowiła zrezygnować



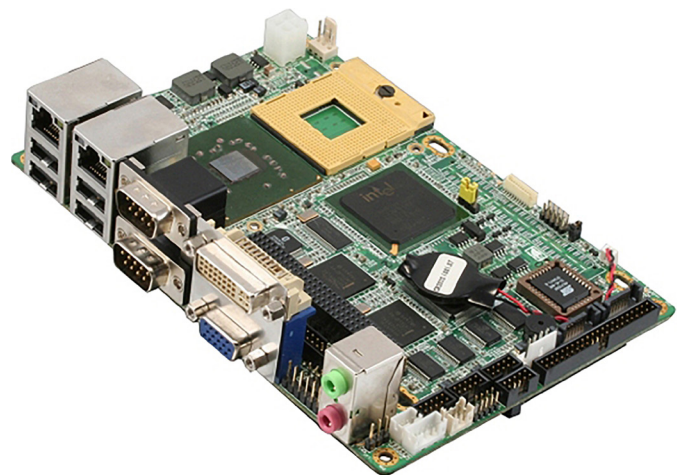
Fotografia 3. Komputer jednopłytkowy w standardzie PC/104, PC/104 Plus

z procesorów Intel'a w swoich komputerach na rzecz własnych autorskich procesorów bazujących na architekturze ARM. Wraz z pojawieniem się rdzeni **CortexA**, na rynku zaczęły się pojawiać komputery jednopłytkowe z układami ARM, w dużej części wypierając droższe i bardziej energochłonne rozwiązania x86. Komputery oparte na architekturze x86 w większości przypadków pozostały w użyciu tylko tam, gdzie jest potrzebna zgodność z architekturą PC, np. aplikacje dla systemu Windows.

### Komputery SBC zgodne z x86

Komputery SBC, zgodne z x86, stanowią zminiaturyzowane wersje płyt głównych komputerów PC, co jest ich głównym atutem. W przeciwieństwie do komputerów z układami ARM, są one ustandaryzowane, zaczynając od oprogramowania, poprzez wymiary, na zestawie złączy kończąc. Istotny jest również fakt, iż często, jeśli mają jakieś wymienne moduły, możemy zastosować standardowe komponenty od laptopów czy komputerów PC, np. układy pamięci czy karty rozszerzeń, co znacząco zwiększa możliwości rozbudowy oraz obniża koszty. Dodatkowo do dyspozycji otrzymujemy zestaw zaawansowanych magistral, takich jak **PCIE**, **SATA**, **USB 3.1** itp., które w płytkach opartych na architekturze ARM nie zawsze są standardem. Często komputery mają ustandaryzowane wymiary oraz są ze sobą zgodne programowo, zatem w teorii możemy wymiennie stosować płytki różnych producentów.

Do najpopularniejszych standardów komputerów jednopłytkowych należą:



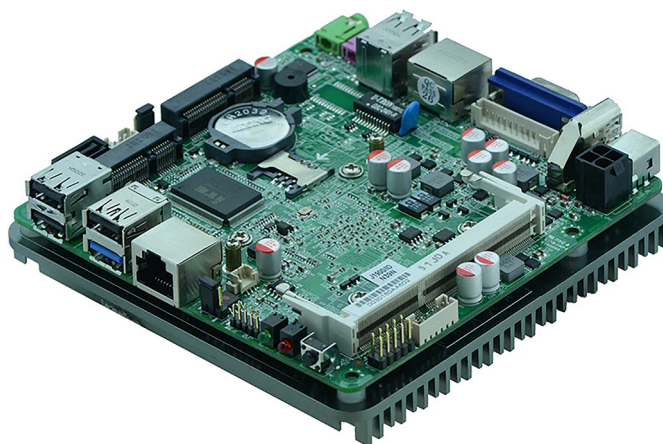
Fotografia 4. Komputer jednopłytkowy w standardzie EPIC Express



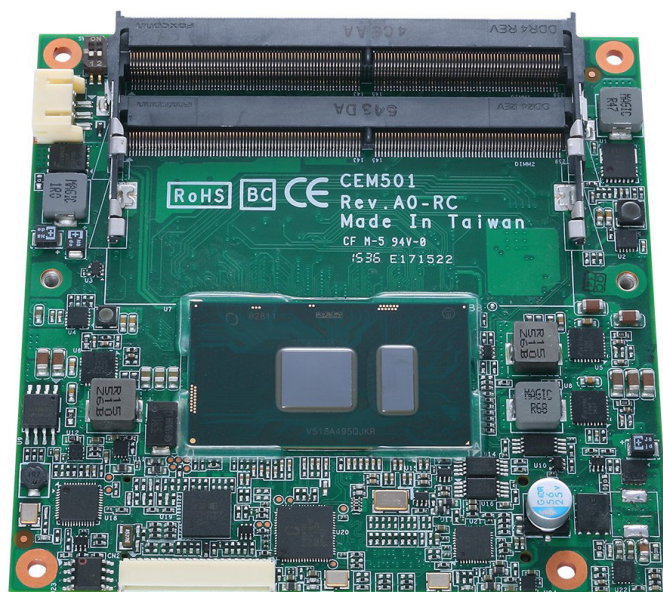
- **PC/104, PC/104 Plus** – jeden z najpopularniejszych standardów powstały w 1997 roku (**fotografia 3**);
- **EPIC Express** – mający swój początek w 2004 roku. Standardowy rozmiar modułu wynosi 165×114 mm. Umożliwia wykorzystanie kart rozszerzeń formatu PC/104, a dzięki stosunkowo dużym rozmiarom może zawierać wiele złączy znanych z komputerów PC (**fotografia 4**);
- **Nano-ITX** – zaprezentowany przez firmę VIA Technologies w 2003 roku. Ma wymiary 120×120 mm. Nie jest standardem stricte do systemów wbudowanych, a raczej do urządzeń typu STB, DVR, kiosków info itp., jednak, jeśli nie potrzebujemy dodatkowych kart rozszerzeń, może być również wykorzystany do systemów wbudowanych (**fotografia 5**);
- **ESM Express** – standard opracowany przez konsorcjum VITA dla systemów wbudowanych o wymiarach 95×125 mm (**fotografia 6**);
- **XTX** – standard promowany przez firmę Advantech o wymiarach 95×114 mm. Definiuje on również standardowy zestaw złączy: 4 linie PCIE, złącze Ethernet, 2 złącza IDE, 4 złącza SATA, 6 interfejsów USB oraz złącze audio. Napięcie zasilania płyty wynosi 5 V (**fotografia 7**);
- **ETX** – jeden ze standardów promowanych przez firmę Kontron, o wymiarach 95×114 mm (**fotografia 8**);
- **NUC** – jest to standard firmy Intel powstały w 2013 roku. Nie jest on stricte przeznaczony do systemów wbudowanych, a raczej do miniatury komputerów, jednak, jeśli nie potrzebujemy korzystać z dedykowanych kart rozszerzeń, może być również wykorzystywany we własnych konstrukcjach. Standard ten definiuje rozmiary płytki na 101×101 mm, jednak niektóre z modułów mogą mieć inne wymiary (**fotografia 9**).

Najpowszechniej wykorzystywanym standardem wśród komputerów jednopłytkowych jest PC/104. Standard ten, poza samym rozmiarem, definiuje zestaw złączy, które płyta z nim zgodna powinna mieć. Został opracowany przez firmę AMPRO, a później stał się częścią standardu IEEE, dzięki czemu płyty w tym formacie mogą być produkowane przez różne firmy. Główną zaletą rozwiązania jest możliwość stosowania dodatkowych kart rozszerzeń poprzez nakładanie jednej płytki na drugą – w formie kanapki. Z uwagi, iż jest to najbardziej rozpowszechniony standard na rynku, istnieje wiele kart rozszerzających różnych producentów. Wraz z rozwojem komputerów PC i zmianą magistral, standard ewaluował i występuje w następujących odmianach:

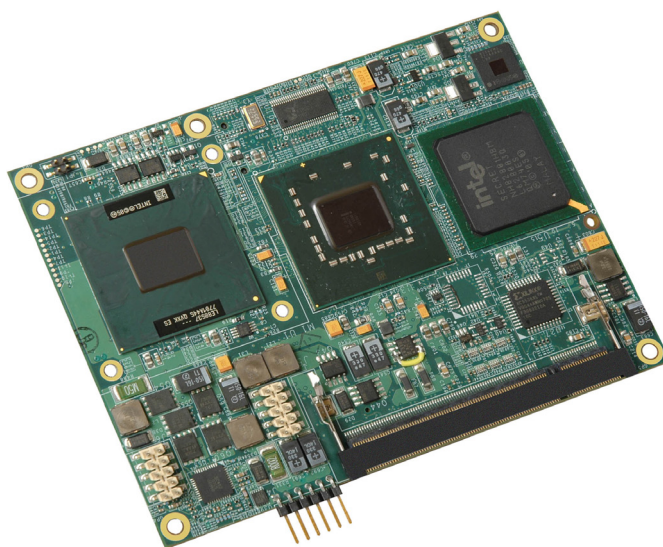
- **PC/104** – pierwsza wersja z roku 1992. Zawiera zestaw sygnałów zgodnych ze standardem ISA. W zależności od rodzaju do dyspozycji możemy mieć magistralę ISA 8- lub 16-bitową (na dodatkowych 40 kontaktach);
- **PC/104-Plus** – kolejna wersja rozwojowa, gdzie poza złączem ISA dołożono dodatkowe złącze magistrali PCI. Do układów tego typu możemy zarówno dołączać starsze rozszerzenia ISA, jak i nowe PCI;
- **PCI-104** – wersja standardu z roku 2003, w której usunięto magistralę ISA, pozostawiając jedynie PCI oraz zmieniając złącze na 120-to kontaktowe, kompatybilne z wersją PC/104Plus. Z uwagi na usunięcie magistrali ISA, nie jest on kompatybilny z PC/104;
- **PCI-104/Express** – najnowsza wersja standardu z 2008 roku, gdzie do magistrali PCI, w miejscu dawnego złącza ISA, wstawiono złącze magistrali **PCIE**. Standard definiuje dodatkowe 156-pińkowe złącze, przeznaczone dla tych sygnałów. Poza samym **PCIE**, wyprowadzono dodatkowo magistrale: **USB, SATA oraz LPC**. Zaznaczam, że złącze dodatkowe może występować w dwóch odmianach: typ 1 oferuje **PCIe x1**, dwa porty USB oraz **PCIe x16**; typ 2 ma dodatkowo dwa porty USB 3.0, port SATA oraz LPC;
- **PCIe/104** – jest to wersja standardu, która została pozbawiona przestarzałego złącza **PCI**, a złącze **PCIE** pozostało na tym samym miejscu. Z uwagi na brak złącza **PCI** jest ono niekompatybilne z rozszerzeniami przeznaczonymi dla płytek **PCI104/Express**.



Fotografia 5. Komputer jednopłytkowy w standardzie Nano-ITX



Fotografia 6. Komputer jednopłytkowy w standardzie ESM Express

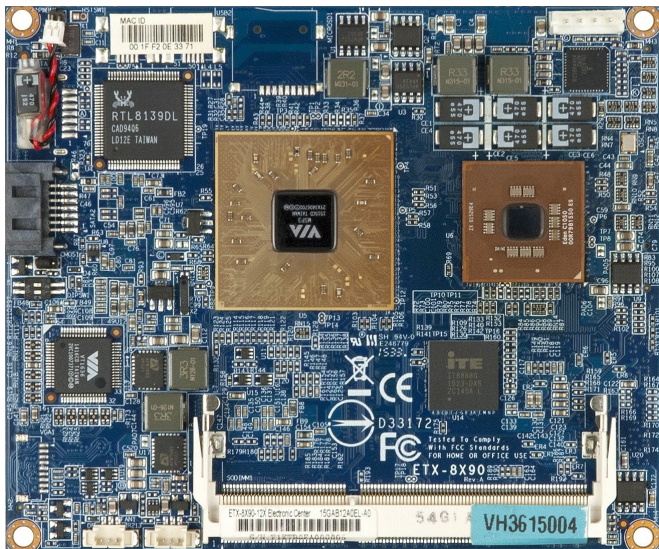


Fotografia 7. Komputer jednopłytkowy w standardzie XTX

Wracając do oprogramowania, większość płyt x86 jest kompatybilna z oprogramowaniem dla komputerów PC, bez konieczności dokonywania modyfikacji. Zarówno system Windows, jak i Linux obsłużone będą bez problemu, z wykorzystaniem standardowych sterowników dla portów szeregowych, złączy Ethernet, USB czy kart graficznych. Oprogramowanie może być napisane przy użyciu standardowych narzędzi deweloperskich przeznaczonych dla PC. Nie



potrzeba żadnych specyficznych narzędzi, a oprogramowanie, jeśli będzie działać na PC, to również zadziała na modułach PC. Jedynym problemem mogą być złącza wejścia-wyjścia, które nie są standaryzowane w architekturze PC, ale producenci najczęściej dostarczają stosowne sterowniki dla najpopularniejszych systemów operacyjnych. Często płyty tego typu mają zintegrowaną pamięć FLASH w postaci włutowanego niewielkiego dysku SSD, na którym może być przechowane oprogramowanie. Nowsze wersje standardu pozwalają dołączyć



Fotografia 8. Komputer jednopłytkowy w standardzie ETX



Fotografia 9. Komputer jednopłytkowy w standardzie NUC

Tabela 1. Rozwiązania firmy AMD

Nazwa	Wątki	Częstotliwość	TDP	Grafika
V1807B	4/8	3,35 GHz	35-54 W	Vega 11
V1756B	4/8	3,25 GHz	35-54 W	Vega 8
V1605B	4/8	2,0 GHz	12-25 W	Vega 8
V1404I	4/8	2,0 GHz	12-25 W	Vega 8
V1202B	2/4	2,3 GHz	12-25 W	Vega 3
V1780B	4/8	3,35 GHz	35-54 W	
R1606G	2/4	2,6 GHz	12-25 W	Vega 3
R1505G	2/4	2,4 GHz	12-25 W	Vega 3
R1305G	2/4	1,5 GHz	8-10 W	Vega 3
R1102G	2/2	1,2 GHz	6 W	Vega 3

zewnętrzny dysk za pomocą złącza SATA. Należy wspomnieć, że istnieją również płyty w formacie PC/104, oparte na architekturze **ARM** czy **PowerPC**, jednak są one stosunkowo rzadko spotykane.

Jeśli chodzi o procesory, to podobnie jak dla komputerów PC, dostarczane są zasadniczo przez dwie firmy: Intel oraz AMD. Najbardziej wydajne komputery jednopłytkowe korzystają z klasycznych procesorów, przeznaczonych dla laptopów oraz desktopów. Wymagają one użycia dodatkowych układów zewnętrznych, co zwiększa koszty rozwiązania. Obie firmy produkują układy x86, przeznaczone dla urządzeń wbudowanych, które de facto są układami SOC, wymagającymi jedynie dołączenia układów pamięci FLASH oraz RAM. Firma AMD produkuje procesory o nazwie „Ryzen Embedded”, które zastąpiły procesory „AMD Geode”, natomiast Intel do zastosowań tego typu rekomenduje procesory Intel Celeron serii G oraz niektóre procesory Intel Atom serii Z. **Tabela 1** pokazuje rozwiązania firmy AMD.

Procesory przeznaczone dla systemów wbudowanych, skonstruowane są w oparciu na nowoczesnej architekturze Zen, w technologii 14 nm. Do dyspozycji mamy linię wysokowydajną serii V oraz linię ekonomiczną serii R. Seria wysokowydajna zawiera zintegrowane karty graficzne, zaczynając od Vega 3, na Vega 11 kończąc, o wydajności do 3,6 TFLOPS. Układy **Ryzen** charakteryzują się mocą TDP na poziomie 35...54 W. Nie bez znaczenia jest również bogate wyposażenie dodatkowe: sprzętowy enkoder i dekodek wideo H264/H265 o maksymalnej rozdzielczości 4 k, karta graficzna wspierająca obsługę dwóch monitorów czy dwie karty sieciowe o przepustowości 1 Gbps. Linia ekonomiczna jest również kompletnym układem SOC o mniejszej wydajności, charakteryzująca się mniejszym poborem prądu w przedziale 6...25 W.

Listę procesorów firmy Intel rekomendowanych dla systemów wbudowanych pokazuje **tabela 2**. Do systemów wbudowanych zalecane są obecnie procesory serii Celeron G oraz Atom Z. Większa część z tych układów ma zintegrowaną kartę graficzną serii „Intel Graphics”. Analogicznie do układów firmy AMD, w zależności od wydajności, układy charakteryzują się mocą TDP od kilku do kilkadziesiąt watów. Dysponują stosunkowo dużą mocą obliczeniową.

Na rynku istnieje wielu producentów komputerów jednopłytkowych, zgodnych z architekturą x86. Prym wiodą głównie firmy: AAEON, Kontron, Advantech, ELMA, JHCTEC. Ciekawie przedstawia się oferta firmy AAEON, która specjalizuje się głównie w komputerach jednopłytkowych w formacie 3,5” o handlowej nazwie GENE. Do dyspozycji mamy komputery SBC, od najtańszych, bazujących na procesorach serii Atom, poprzez bardziej wydajne, oparte na układach SOC serii Celeron G oraz J, skończywszy na najmocniejszych układach serii i3/i5/i7, znanych z laptopów. Jeden z najtańszych komputerów tego typu to płytka **UPCCHT01A200116A11**, zbudowana na bazie procesora Atom Z8350, mająca 1 GB pamięci RAM oraz 16 GB pamięci FLASH.

Komputer charakteryzuje się wymiarami 56×66 mm, zasilaniem 5 V oraz wyposażony jest w najważniejsze interfejsy komunikacyjne, takie jak: Bluetooth, Wi-Fi, Ethernet. Dodatkowo do dyspozycji mamy złącza HDMI, eDP, MIPI, I<sup>2</sup>S oraz porty USB 2.0/3.0. Jego cena utrzymuje się około 400 zł. Należy liczyć się z tym, że moc obliczeniowa układu może być mniejsza niż niektórych komputerów SBC, wyposażonych w układy ARM, zwłaszcza serii A73.

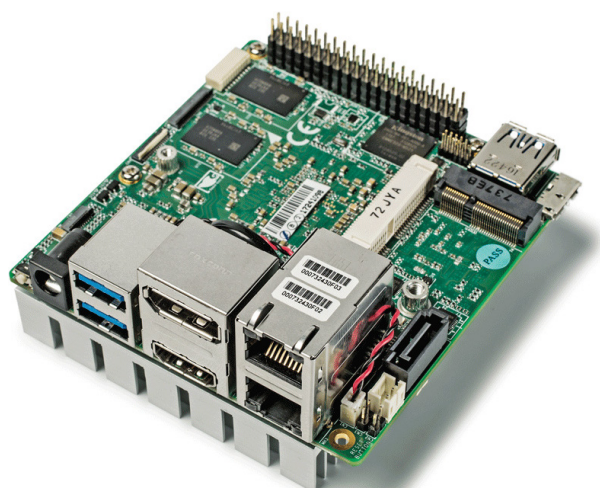
Jeśli potrzebujemy większej wydajności, można skorzystać z płytek wyposażonych w układy Celeron, np. komputer **UPSAPLC2A200432** (**fotografia 10**), którego sercem jest procesor Intel Celeron N3550. Komputer ma 4 GB pamięci RAM DDR4, 32 GB pamięci FLASH oraz dodatkowo wyposażony jest w sprzętowy układ kodowania wideo H264, HVEC4, VP8.

Zawiera również bardziej rozbudowaną listę interfejsów, gdzie do dyspozycji jest 40-pinowe złącze GPIO, podwójny interfejs Ethernet, złącze eDP/MIPI, złącze mPCI-E oraz SATA. Daje to duże możliwości rozbudowy, ponieważ mamy możliwość dołączenia dysku SATA czy kart rozszerzeń od laptopów. Niestety cena tego rozwiązania jest

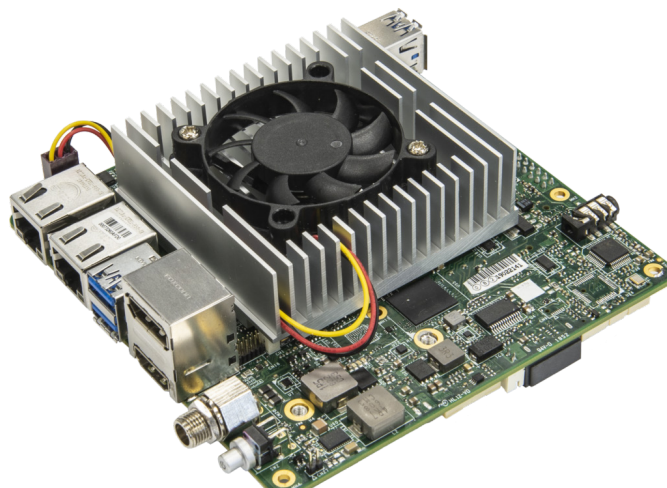


Tabela 2. Lista procesorów firmy Intel rekomendowana dla systemów wbudowanych

Processor number	Family	Tech. (micron)	CPU speed (GHz)	Bus speed (MHz)	L2 cache size (KB)	L3 cache size (MB)	Cores	EM64T	HT	VT	XD	SS	Notes
725C	Mobile Celeron Dual-Core	0.032	1.3		256	1.5	1	+	+	+	+	+	Ultra low voltage
1403 v2	Pentium Dual-Core	0.022	2.6		512	6	2	+	-	+	+	+	
1405 v2	Pentium Dual-Core	0.022	1.4		512	6	2	+	-	+	+	+	
4305UE	Mobile Celeron Dual-Core	0.014	2		512	2	2	+	-	+	+	+	
A3930	Atom x5	0.014	1.3		2048		2	+	-	+	+	+	
A3940	Atom x5	0.014	1.6		2048		4	+	-	+	+	+	
A3950	Atom x7	0.014	1.6		2048		4	+	-	+	+	+	
A3960	Atom x7	0.014	1.9		2048		4	+	-	+	+	+	
B915C	Pentium Dual-Core Mobile	0.032	1.5		512	3	2	+	+	+	+	+	Ultra low voltage
B925C	Pentium Dual-Core Mobile	0.022	2		512	4	2	+	+	+	+	+	Ultra low voltage
C2308	Atom	0.022	1.25		1024		2	+	-	+	+		
C2316	Atom	0.022	1.5		1024		2	+	-	+	+		
C2338	Atom	0.022	1.7		1024		2	+	-	+	+	+	
C2358	Atom	0.022	1.7		1024		2	+	-	+	+	+	
C2508	Atom	0.022	1.25		2048		4	+	-	+	+		



Fotografia 10. Komputer jednopłytkowy UPSAPLC2A200432



Fotografia 11. Komputer jednopłytkowy UP XTREME WITH I7-8565U

ponaddwukrotnie większa niż w przypadku poprzednio omówionego komputera.

Jeśli potrzebujemy najwyższej wydajności, możemy zastosować, bardzo podobny do poprzedniego, komputer jednopłytkowy o oznaczeniu **UP XTREME WITH I78565U** (fotografia 11). Sercem komputera jest znany z laptopów układ Intel Core i78565U charakteryzujący się zbliżoną do laptopów wydajnością i mocą TDP na poziomie 15 W. Do dyspozycji oddano 16 GB pamięci RAM DDR4 oraz 64 GB pamięci FLASH. Zestaw interfejsów komunikacyjnych jest bardzo podobny jak w poprzednim komputerze, dodano jedynie złącze **M2** oraz interfejs **DisplayPort**. Jak łatwo zauważyć, ostatnia propozycja ma parametry podobne do najbardziej wydajnych laptopów, co również okupione jest wysoką ceną, która wynosi ponad 3000 zł.

Innym bardzo popularnym producentem komputerów SBC jest firma Kontron, mająca w ofercie zarówno rozwiązania z procesorami firmy **Intel**, jak i **AMD**. Układy **Intela** mają bardzo podobne możliwości do poprzednio omówionych produktów, dlatego skupimy się na rozwiązaniach z układami firmy **AMD**. W ofercie pojawił się bardzo ciekawy komputer o oznaczeniu **3.5"-SBC-VR1000** (fotografia 12),

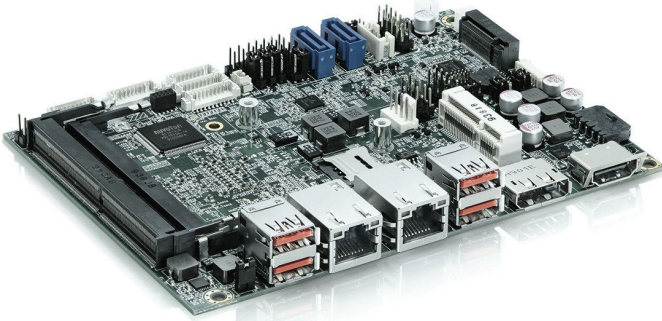
który zawiera procesory Ryzen Embedded serii V1000/R1000. Dzięki zastosowaniu układu otrzymujemy wydajny procesor graficzny oraz sprzętowe wsparcie dla kodowania i dekodowania wideo w rozdzielczości 4 k.

Płyta ma budowę modułową, a zatem w gestii użytkownika leży stosowne wyposażenie komputera w moduły pamięci SODIMM DDR czy pamięć nieulotną FLASH w postaci dysku SSD M.2. Poza kosztem zakupu płyty musimy zatem ponieść dodatkowe wydatki związane z zakupem pamięci czy dysku. Schemat blokowy komputera pokazano na **rysunku 1**. Do dyspozycji mamy bogaty zestaw złączy, począwszy od portów szeregowych czy USB 3.0, poprzez złącze HDMI, skończywszy na podwójnym złączu Ethernet. Jest to bardzo ciekawa i tańsza alternatywa, zarówno dla procesorów Intel, jak i niektórych komputerów z procesorami ARM.

### Komputery SBC bazujące na architekturze ARM

Szybki rozwój architektury ARM oraz znaczny wzrost wydajności spowodował, że zaczęła ona stopniowo wypierać inne rozwiązania, zarówno w dziedzinie mikrokontrolerów jednoukładowych, jak





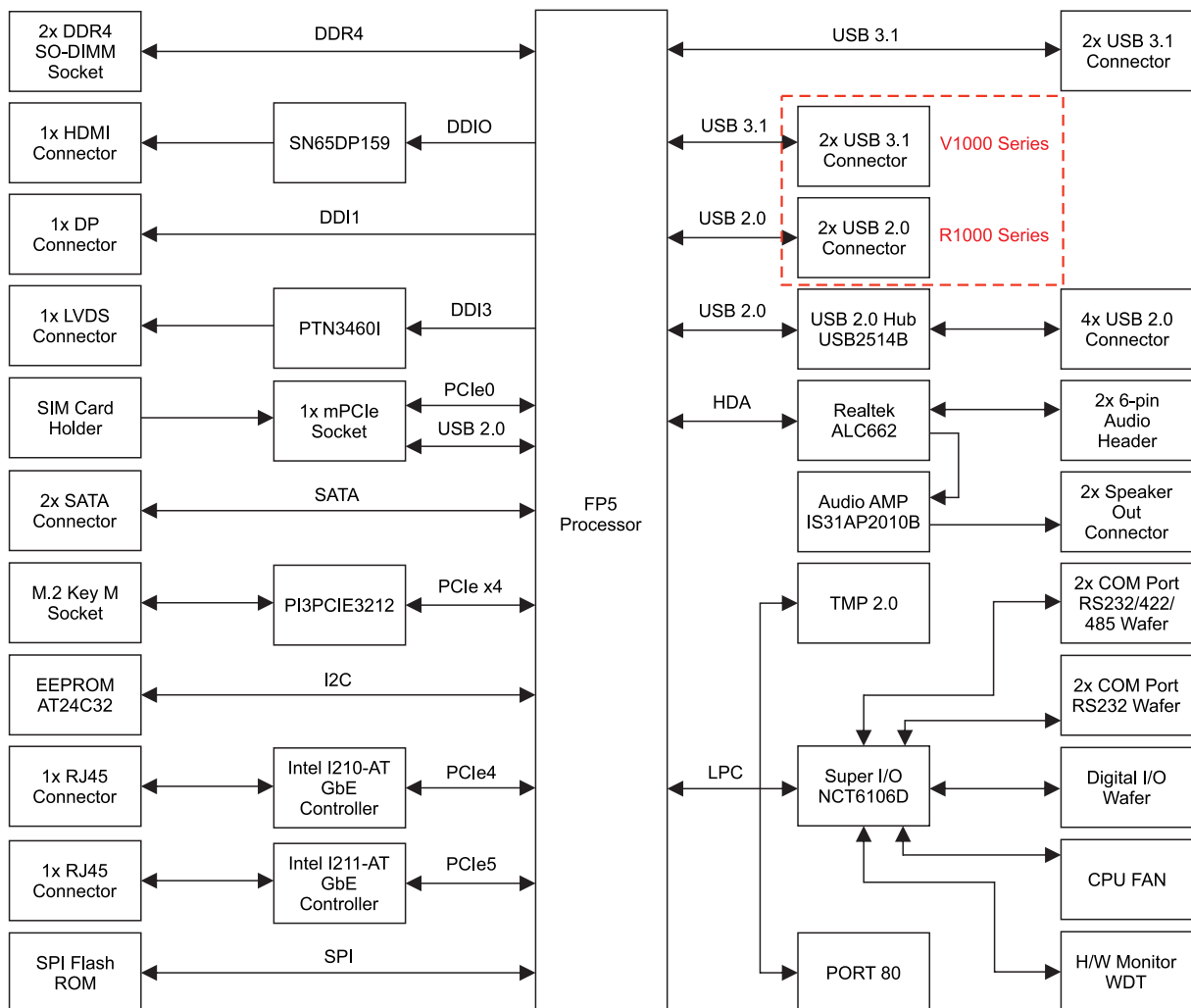
Fotografia 12. Komputer jednopłytkowy 3.5" – SBC-VR1000

i komputerów jednopłytkowych. Sukces ten spowodowany jest stosunkowo dużą wydajnością, przy dużo mniejszym poborze prądu, w porównaniu do komputerów zbudowanych w oparciu na klasycznych mikroprocesorach rodziny x86. Dzięki licencjom udzielanym przez firmę ARM, mikroprocesory są tańsze od konkurencyjnych rozwiązań, z uwagi na to, że są produkowane przez wiele firm konkurujących ze sobą. Na tym polu szczególnie wyróżniają się chińscy producenci, którzy potrafią zaoferować układy SOC w cenie mikrokontrolerów jednocukładowych. W ostatnim czasie na rynku zaczęły pojawiać się układy SOC, mające zintegrowaną pamięć DDRRAM, dzięki czemu projekty zbudowane w oparciu na tego typu rozwiązaniach, są niewiele bardziej skomplikowane od aplikacji mikrokontrolerów jednocukładowych. Do najbardziej znanych producentów układów SOC należą firmy: AllWinner, Texas Instruments, NXP, FreeScale. Komputery jednopłytkowe w dużej większości oparte są na procesorach aplikacyjnych rodziny CortexA. Czasami można spotkać komputery

jednopłytkowe do zastosowań czasu rzeczywistego z procesorem CortexR. Rdzeń CortexA jest mikroprocesorem, mającym jednostkę zarządzania pamięcią MMU (Memory Management Unit) wraz z rozbudowanymi układami pamięci cache. Może on pracować zarówno w trybie jedno- jak i wieloprocesorowym, w zależności od konfiguracji oraz wydajności. Obecnie SOC-e budowane są jako najprostsze jednocukładowe układy 32-bitowe i wielocukładowe rozwiązania 64-bitowe. W tabeli 3 pokazano listę najpopularniejszych rdzeni, wykorzystywanych w komputerach jednopłytkowych.

Firma ARM oferuje bogaty zestaw rdzeni, począwszy od najprostszyc 32-bitowych układów o wydajności zbliżonej do mikrokontrolerów (np. Cortex-A7), po najbardziej wydajne 64-bitowe układy (np. Cortex-A53/77), których wydajność jest zbliżona do mikroprocesorów serii i3/i5/i7. Producenci układów półprzewodnikowych wykupują w firmie ARM licencję na wybrany rdzeń, wyposażają je w dodatkowe układy peryferyjne, a następnie oferują klientom zewnętrznym w postaci układów SOC. Schemat blokowy typowego układu SOC z rdzeniem ARM pokazuje rysunek 2.

We wnętrzu układu możemy znaleźć klasyczne układy peryferyjne znane z mikrokontrolerów, takie jak porty szeregowy, interfejsy USB, przetworniki analogowo-cyfrowe, zintegrowane akceleratory graficzne GPU, układy czasowo-licznikowe, itp. Charakterystyczny dla tego typu rozwiązań jest brak wewnętrznej pamięci RAM oraz pamięci programu FLASH, które muszą być dołączone w postaci zewnętrznych komponentów. Pozostałe układy peryferyjne zintegrowane są we wnętrzu procesora, co pozwala znacząco zmniejszyć koszty produktu. Przyjrzyjmy się teraz najpopularniejszym układom SOC znanych producentów, wykorzystywanych w komputerach jednopłytkowych. Do najbardziej znanych układów należą SOC-e



Rysunek 1. Schemat blokowy komputera 3.5"-SBC-VR1000



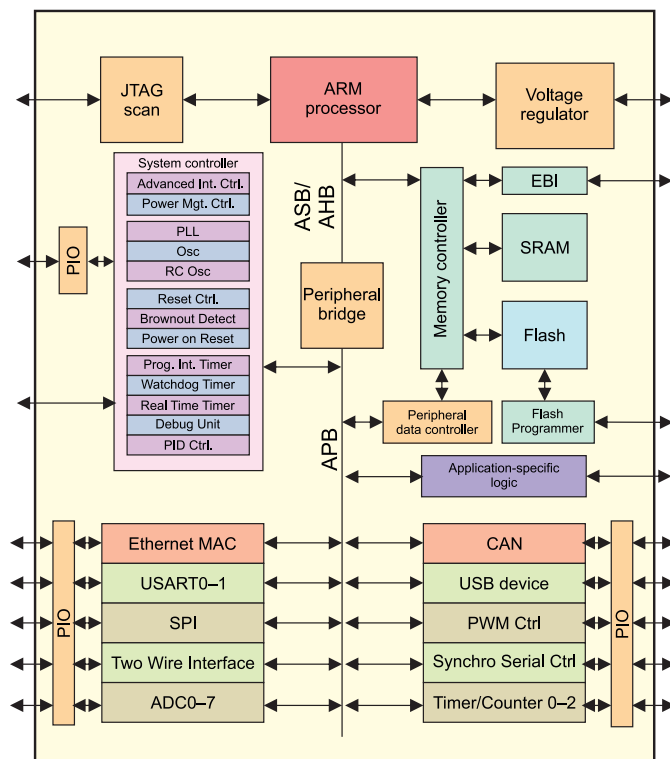
**Tabela 3. Popularne rdzenie stosowane w komputerach jednopłytkowych.**

Arch	Rdzeń	Cache/MMU	Wydajność	Opis
ARMv7-A	Cortex-A5	4-64 KB/4-64 KB L1, MMU + TrustZone	1.57 DMIPS/MHz na rdzeń	Najmniej wydajny 32-bitowy i najtańszy rdzeń. Obsługuje następujący zestaw instrukcji: ARM/Thumb/Thumb-2/DSP/SIMD/Optional VFPv4-D16 FPU/Optional NEON/Jazelle RCT and DBX, 1-4 cores
	Cortex-A7	8-64 KB/8-64 KB L1, 0-1 MB L2, MMU + TrustZone	1.9 DMIPS/MHz na rdzeń	Jeden z tańszych 32-bitowych układów. Ma następujący zestaw instrukcji, oraz funkcjonalności: Application profile, ARM/Thumb/Thumb-2/DSP/VFPv4 FPU/NEON/Jazelle RCT and DBX/Hardware virtualization, in-order execution
	Cortex-A9	6-64 KB/16-64 KB L1, 0-8 MB L2 opt. parity, MMU + TrustZone	2.5 DMIPS/MHz na rdzeń	Podstawowy 32-bitowy. Obsługuje następujące instrukcje oraz funkcjonalności: Application profile, ARM/Thumb/Thumb-2/DSP/Optional VFPv3 FPU/Optional NEON
	Cortex-A15	32 KB w/parity/32 KB L1, 0-4 MB L2, L2 razem z ECC, MMU + TrustZone	3.5 - 4.5 DMIPS/MHz na rdzeń w zależności od implementacji	ARM/Thumb/Thumb-2/DSP/VFPv4 FPU/NEON/integer divide/fused MAC/Jazelle RCT/hardware virtualization out of order, superscalar 1-4 SMP cores, MPCore, Large Physical Address Extensions (LPAE)
ARMv8-A	Cortex-A34	8-64 KB w/parity/8-64 KB w/ECC L1 per core, 128 KB-1 MB L2 shared, 40-bit physical addresses		Jeden z najtańszych 64-bitowych rdzeni. Obsługuje następujące funkcjonalności: AArch64, 1-4 SMP cores, TrustZone, NEON advanced SIMD, VFPv4, hardware virtualization, 2-width decode, in-order pipeline.
	Cortex-A53	8-64 KB w/parity/8-64 KB w/ECC L1 per core, 128 KB-2 MB L2 shared, 40-bit physical addresses	2.3 DMIPS/MHz	Jedna z najbardziej podstawowych architektur. Obsługuje następujące instrukcje oraz funkcjonalności: Application profile, AArch32 and AArch64, 1-4 SMP cores, TrustZone, NEON advanced SIMD, VFPv4, hardware virtualization, 2-width decode, in-order pipeline
	Cortex-A73	64 KB/32-64 KB L1 per core, 256 KB-8 MB L2 shared w/optional ECC, 44-bit physical addresses	4.8 DMIPS/MHz	Rdzeń o wysokiej wydajności. Obsługuje następujące instrukcje i funkcjonalności: AArch32 and AArch64, 1-4 SMP cores, TrustZone, NEON advanced SIMD, VFPv4, hardware virtualization, 2-width superscalar, deeply out-of-order pipeline
	Cortex-A77	.5K L0 MOPs cache, 64/64 KB L1, 256-512 KB L2 per core, 512 KB-4 MB L3 shared		Rdzeń o najwyższej wydajności. Obsługuje następujące instrukcje oraz funkcjonalności: AArch32 (non-privileged level or EL0 only) and AArch64, 1-4 SMP cores, TrustZone, NEON advanced SIMD, VFPv4, hardware virtualization, 4-width decode superscalar, 6-width instruction fetch, 12-way issue, 13 stage pipeline, deeply out-of-order pipeline.

rodziny Sitara produkowane przez Texas Instruments. Są to stosunkowo proste układy o średniej wydajności, jednak mają ugruntowaną pozycję rynkową, z uwagi na bardzo dobre wsparcie oraz wbudowane interfejsy, znajdujące zastosowania w automatyce przemysłowej. Listę układów rodziny Sitara wraz z krótkim opisem pokazano w tabeli 4.

W skład rodziny Sitara wchodzi stosunkowo duży wachlarz układów, od najtańszych, z pojedynczym rdzeniem Cortex-A8, po dwurdzeniowe 64-bitowe Cortex-A53. Wśród urządzeń peryferyjnych stanowiących wyposażenie układu SOC, znajdują się procesory graficzne GPU, ze wsparciem dla akceleracji 2D oraz 3D, umożliwiające podłączenie ekranów LCD czy zewnętrznych monitorów. Dodatkowo na standardowym wyposażeniu, w zależności od modelu, mamy interfejsy: USB, kamery, porty ETHERNET, układy CAN. Niektóre z układów mają dodatkowe procesory wspomagające, np. DSP albo dodatkowy rdzeń CortexM, umożliwiający realizację algorytmów czasu rzeczywistego czy przetwarzania DSP, których realizacja nie jest możliwa na procesorze aplikacyjnym, działającym na systemie operacyjnym ogólnego przeznaczenia.

Kolejnym znanym producentem układów SOC dla komputerów jednopłytkowych jest firma **FreeScale**, która słynie z doskonałych i tanich układów o nazwie handlowej **i.MX**. Układy znajdują zastosowania w motoryzacji, przemyśle oraz produktach konsumenckich. Jedną z najważniejszych zalet produktu jest gwarancja dostępności przez minimum 10...15 lat od wypuszczenia na rynek. Pozwala to producentom elektroniki na zmniejszenie kosztu związanego z migracją na nowsze rozwiązania, co często ma miejsce u dalekowschodnich producentów, którzy zaprzestają produkcji układów już po kilku



**Rysunek 2. Schemat blokowy typowego układu SOC z rdzeniem ARM**



Tabela 4. Lista układów rodziny Sitara

Model	Rdzeń	DMIPS	GPU	Cena	Peryferia
AM335x	Cortex-A8 @1000 MHz	2000	SGX530	4,96 USD	LCD Controller, 10/100/1000 Mbit/s EMAC, 2×CAN USB OTG + PHY, 2×PRU-ICSS
AM37x	Cortex-A8 @1000 MHz	2000	SGX530	12,25 USD	Display Subsystem, Video In/Out, USB, Lowest power
AM437x	Cortex-A9@1000 MHz	2500	SGX530	9 USD	10/100/1000 Mbit/s Ethernet Switch w/2 Ports, 4×PRU-ICSS Dual camera support, Secure boot
AM57x	2×Cortex-A15 @1,5 GHz + 2×C66 DSP @750 MHz + Cortex-M4 @212 MHz	10500	SGX544	28 USD	10/100/1000 Mbit/s Ethernet Switch w/2 Ports, 4×PRU-ICSS (100 Mbps Ethernet) multiple Video Input Ports (parallel or CSI), USB 3.0, PCIe, SATA, and Secure Boot
AM65x	2×Cortex-A53 @1,1 GHz + Cortex R5F @400 MHz	10120	SGX544	N/A	10/100/1000 Mbit/s Ethernet Port, 3×PRU-ICSSG (6×Gigabit Ethernet), PCIe Gen3, USB 3.0, and embedded Device Management Security Controller (DMSC) with Secure Boot

latach. Seria **i.MX** jest bardziej rozbudowana w porównaniu z poprzednio omówioną rodziną, a do dyspozycji mamy następujące typy układów:

- **i.MX5** – bazująca na pojedynczym rdzeniu CortexA8, wyposażona w akcelerator graficzny z460 firmy **Imageon**. Seria ta była chętnie stosowana w czytnikach e-booków;
- **i.MX6** – bazująca na pojedynczym, podwójnym albo poczwórnym rdzeniu CortexA9, które pracują z częstotliwością do 1 GHz. Została wykonana w litografii 40 nm. Zawiera akcelerator graficzny Vivante GC400/2000/400. W zależności od modelu, dodatkowo może zawierać rdzeń CortexM4;
- **i.MX7** – bazująca na pojedynczym lub podwójnym rdzeniu Cortex-A7 wraz z dodatkowym procesorem CortexM4. Zaprojektowana w technologii 28 nm z myślą o rozwiązaniach przemysłowych. Pozbawiona koprocatora graficznego;
- **i.MX8** – pierwszy 64-bitowy układ SOC zaprezentowany w 2016 roku zawierający w zależności od konfiguracji 4×Cortex-A53 + 2×Cortex-A72 oraz podwójny akcelerator graficzny Vivante GC7000, umożliwiający zarówno kodowanie, jak i dekodowanie wideo H265. Rodzina wyposażona jest również w podwójny rdzeń CortexM4, na którym możemy uruchomić system operacyjny typu RTOS;
- **I.MX8M** – zaprezentowana w 2017 roku, charakteryzująca się następującymi parametrami: poczwórnym rdzeniem Cortex-A53 + CortexM4F, obsługa pamięci DDR4, USB 3.0 + PHY, dwa interfejsy USB 3.0 typ C, dwa interfejsy PCIe×1, HDMI 2.0, Ethernet

gigabitowy, kodowanie i dekodowanie wideo 4 k H264 i H265, SAI, UART, SDIO.

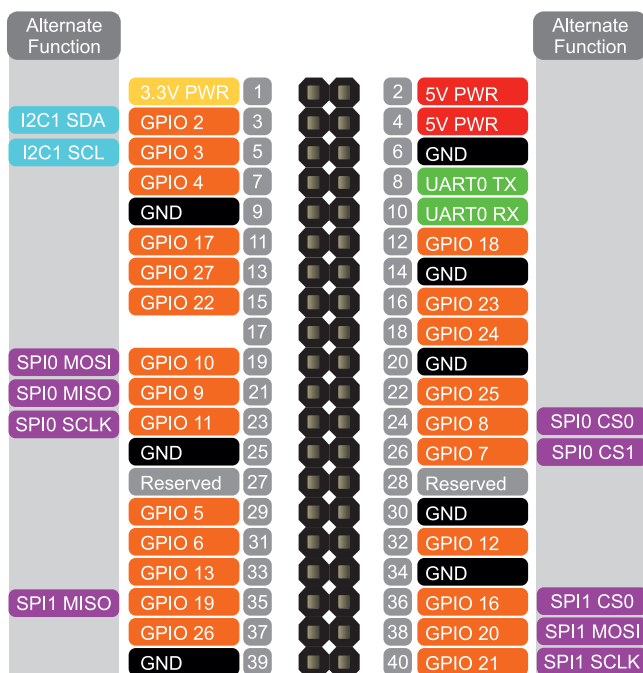
W zależności od wymagań możemy skorzystać z najprostszych jednorodzeniowych układów albo wydajnych rozwiązań wielordzeniowych wraz ze wsparciem dla obsługi wideo. Nie bez znaczenia jest również wsparcie techniczne ze strony producenta. Do dyspozycji mamy kod źródłowy dla bootloadera BSP, sterowniki urządzeń dla jądra Linuksa, oraz dodatkowe sterowniki dla enkodera i dekodera wideo. Jeśli chodzi o systemy operacyjne, możemy skorzystać zarówno z systemu **Linux**, **jak i systemu Android, FreeBSD, OpenBSD**. Zatem wybór rozwiązań jest bardzo duży.

Innym znanym producentem jest chińska firma **AllWinner**, która pierwotnie zajmowała się dostarczaniem układów SoC dla najtańszych tabletów. Z czasem producenci komputerów jednopłytkowych dostrzegli potencjał tych układów, polegający na bardzo niskich cenach, niejednokrotnie zbliżonych do cen mikrokontrolerów jednoukładowych i coraz częściej stosowali tego typu układy w komputerach SBC. Portfolio układów firmy skupia się wokół linii A, przeznaczonej do aplikacji multimedialnych, w skład której wchodzi następujące typy układów:

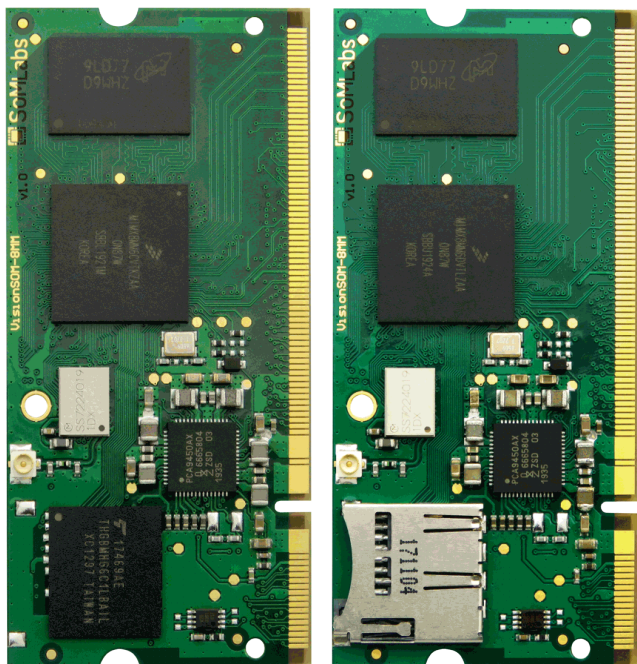
- **Seria A2x/A3x** – zbudowana w oparciu o dwa rdzenie Cortex-A7, ze zintegrowanym układem graficznym MALI400. Charakteryzuje się bardzo niskim kosztem zakupu rzędu 4 USD za sztukę;
- **Seria A5x** – wykonana w technologii 28 nm, wykorzystująca poczwórnym rdzeń Cortex-A7, pracująca z częstotliwością 1,8 GHz oraz akceleratorem graficznym Mali P400MP2;
- **Seria A6x** – wykonana w technologii 28 nm, w oparciu na poczwórnym rdzeniu Cortex-A63, z akceleratorem graficznym Mali T760 MP2 oraz wsparciem dla kodowania i dekodowania wideo w rozdzielczości 4 k;
- **A10x/A20x/A30x** – nowa linia zapowiedziana w 2019 roku. Do tej pory jeszcze nie podano specyfikacji tych układów, zapowiadając jedynie, że będą bardzo wydajne i tanie.

Jeśli chodzi o wsparcie programowe, to do dyspozycji mamy system Linux. Jednak z uwagi na dużą liczbę „binarnych blobów” zawierających nieznaną kod, firma wzbudza wiele kontrowersji, również poprzez nagminne łamanie licencji GPL. Bezpieczeństwo układów także jest kontrowersyjne, ponieważ w jądrze opublikowanym przez firmę zależono „tylną furtkę” umożliwiającą każdej zainstalowanej aplikacji dostęp do uprawnień roota (administratora). Firma nie gwarantuje czasu życia produktu. Nie ma zatem żadnej gwarancji dostępności układów w dłuższym okresie, co dyskwalifikuje je w poważnych zastosowaniach przemysłowych.

Przejdźmy teraz do przeglądu komputerów jednopłytkowych, bazujących na rozwiązaniach SOC z układami ARM. Jeśli chodzi o wymiary takich komputerów, panuje tutaj większy bałagan niż w przypadku komputerów bazujących na x86. Istnieją co prawda płytki ARM zgodne ze standardem PC104, jednak stanowią one rzadkość, a producenci chętnie stosują własne rozwiązania niekompatybilne ze sobą. W ostatnim czasie możemy zaobserwować pewien



Rysunek 3. Schemat złączy Raspberry-Pi



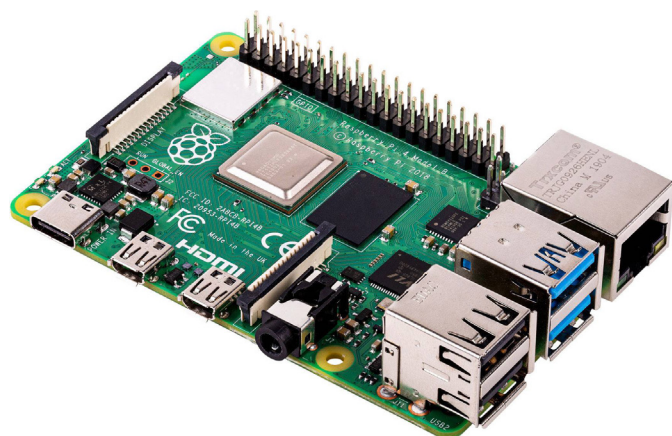
Fotografia 13. Komputer jednoplótkowy na złączu SODIMM

postęp, ponieważ część producentów stara się dostosować zestaw złączy i zapewnić kompatybilność z komputerem Raspberry Pi, którego złącze główne pokazano na rysunku 3. Jest to klasyczne złącze męskie IDC40 z wyprowadzonymi funkcjami GPIO oraz zasilaniem, dodatkowo zdefiniowano funkcje alternatywne magistrali I<sup>2</sup>C, SPI oraz zasilanie 3,3 V oraz 5 V.

Kolejnym coraz częściej spotykanym rozwiązaniem, urastającym do miana standardu, są komputery, które wykorzystują tanie i popularne złącza SODIMM, stosowane głównie w pamięciach do laptopów. W tym przypadku moduł, zamiast układów pamięci DDR PCB, zawiera kompletny komputer jednoplótkowy, który następnie jest wstawiany do bazy, wyposażonej w odpowiednie złącze. Przykład takiego rozwiązania pokazuje fotografia 13.

Rozwiązanie tego typu jest bardzo wygodne, ponieważ najbardziej skomplikowany fragment PCB, zawierający interfejsy pamięciowe DDR oraz inne sygnały szybkozmiennne, znajdują się na stosunkowo małej, wielowarstwowej płytce PCB. Natomiast komponenty charakteryzujące się mniejszymi częstotliwościami pracy możemy umieścić na czterowarstwowej płytce bazowej. Do wad tego typu rozwiązań można zaliczyć brak odporności na silne wstrząsy, więc nie nadają się do układów automotive czy niektórych zastosowań przemysłowych.

Przegląd płytek SBC rozpoczniemy od doskonale wszystkim znanego komputera **Raspberry Pi** (fotografia 14), który doczekał się czwartej odsłony. Komputer wdarł się przebojem na rynek, do tego stopnia, że prasa ogólnopolska pisała o nim w dziale technologicznym,



Fotografia 14. Komputer jednoplótkowy Raspberry Pi 4

czego nigdy wcześniej nie odnotowano w tego typu przypadkach. Komputer przez ową prasę był polecany głównie jako tani zamiennik domowego peceta, co jest nietrafionym zastosowaniem, z uwagi na małą moc obliczeniową.

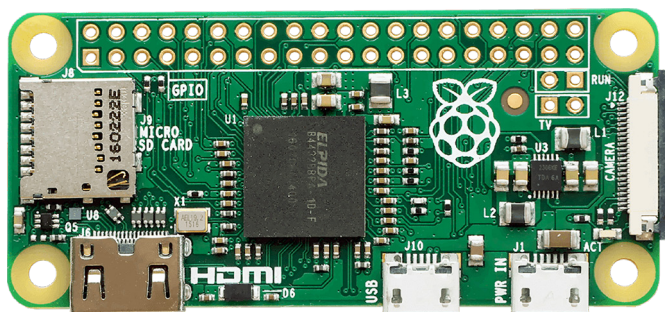
Układ zawiera 4 GB pamięci operacyjnej, wyposażony jest w czterordzeniowy 64-bitowy procesor, z wysokowydajnymi rdzeniami **Cortex-A72**. Do komunikacji z siecią, służy moduł Wi-Fi 2,4 GHz/5 GHz lub port Ethernet. Urządzenie dysponuje układem graficznym, wspomagającym grafikę 3D czy dekodowanie strumieni wideo. Największą zaletą rozwiązania jest bogata dokumentacja techniczna, mnóstwo przykładowego oprogramowania oraz doskonałe wsparcie społeczności. Komputer ten często znajduje zastosowanie przy opracowaniu prototypów oraz do realizacji hobbystycznych projektów. Z uwagi na umiejscowienie złączy oraz zastosowane komponenty nie jest on przeznaczony do zastosowań przemysłowych. Dostępna jest również duża liczba akcesoriów oraz dodatkowych modułów, przeznaczonych do współpracy z tym urządzeniem, takich jak obudowy czy dodatkowe płytki dołączane do 40-wyprowadzeniowego złącza, które pełni funkcję swego rodzaju standardu.

Przy omawianiu **Raspberry** warto wspomnieć również o skromniejszym bracie **Raspberry Pi Zero** (fotografia 15), który ma jednorzeniowy układ **SoC**, z nieco już leciwym rdzeniem Cortex-A11. Wyposażony jest on w 512 MB pamięci operacyjnej oraz procesor graficzny, umożliwiający wyświetlanie obrazu.

Największą zaletą tego komputera jest jego cena, wynosząca około 30 zł co stawia pod znakiem zapytania sensowność używania większych mikrokontrolerów jednoukładowych w niektórych prototypowych zastosowaniach. Należy mieć na uwadze, że model ten do działania potrzebuje karty SD, co podnosi koszty. Istotną zaletą jest to, że nie wlotowano złącza, a jedynie zostawiono pole lutownicze, więc możemy go połączyć z płytką bazową np. za pomocą odpowiednich kołków. Konstrukcja nie jest przeznaczona do stosowania w warunkach przemysłowych, zatem jeśli myślimy o poważniejszych zastosowaniach, dużo lepszym rozwiązaniem jest użycie płytki, która ma zintegrowaną pamięć **NAND Flash** lub **eMMC**.

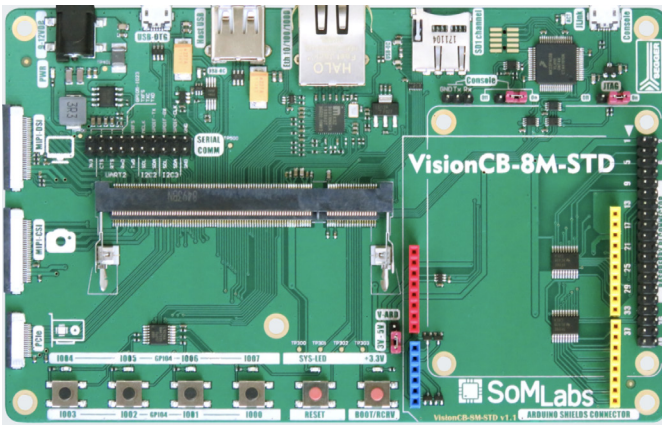
Innym ciekawym rozwiązaniem są komputery **SOM** firmy SOMLabs, które bazują na opisanym wcześniej formacie złącza SODIMM. Zestaw składa się z dwóch części: komputera oraz odpowiadającej mu płyty bazowej, którą będziemy mogli wykorzystać na etapie projektowania i prototypowania. Obecnie w ofercie firmy dostępne są następujące komputery jednoplótkowe:

- **SLS16Yx** – moduł bazujący na tanim układzie SOC i.MX 6ULL, taktowanym zegarem 900 MHz. Ma 512 MB pamięci DDR3 oraz 32 GB pamięci FLASH. Wyposażony jest również w opcjonalny moduł Wi-Fi firmy Murata. Jest to jeden z podstawowych i najtańszych modułów dostępnych w ofercie;
- **SLS12Rx** – moduł bazujący na procesorze I.MX RT i rdzeniu CortexM7, taktowanym zegarem 528 MHz. Wyposażony jest w 256 MB pamięci DRAM oraz pamięć FLASH, o wielkości do 16 MB. Moduł przeznaczony jest dla systemów operacyjnych czasu rzeczywistego, np. możemy na nim uruchomić FreeRTOS. Jest to jedyny moduł w ofercie, niekorzystający z procesorów aplikacyjnych serii A.



Fotografia 15. Komputer jednoplótkowy Raspberry Pi Zero





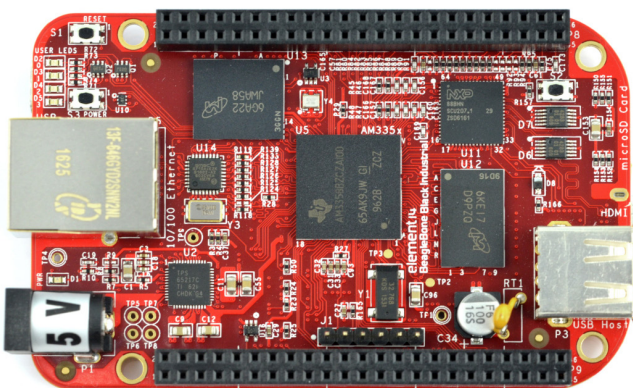
Fotografia 16. Płyta przeznaczona do współpracy z modułem SLS23

- **SLS18** – moduł bazujący na pierwszym układzie SOC firmy STM STM32MP1, mający rdzeń CortexA7 taktowany zegarem do 800 MHz oraz dodatkowy rdzeń CortexM4 taktowany do 200 MHz. Układ zawiera akcelerator graficzny GPU Vivante, 512 MB pamięci DDR3 oraz 32 GB pamięci eMMC FLASH. Opcjonalnie może być wyposażony w moduł Wi-Fi Bluetooth firmy Murata.
- **SLS23** – to najbardziej wydajny moduł dostępny w ofercie, integrujący 4-rdzeniowy układ zgodny z rdzeniem CortexA53, taktowany zegarem do 1,8 GHz (i.MX8M). Dodatkowy rdzeń CortexM4 może służyć za koprocesor czasu rzeczywistego. Zawiera również rozbudowany układ graficzny Vivante GC320, sprzętowy dekodery H264/265 oraz interfejs Ethernet 1 Gbps.

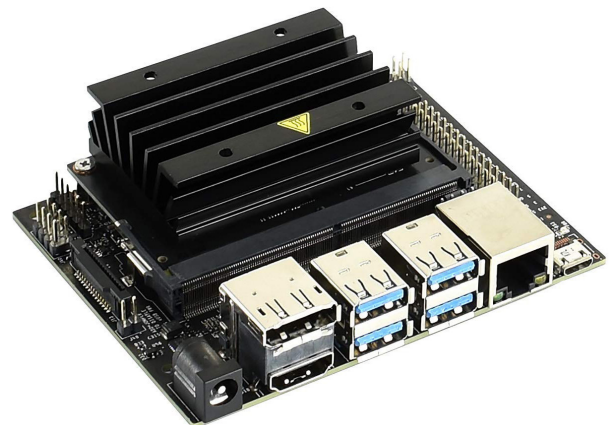
Do każdego z zestawów producent oferuje podstawowe płytki bazowe, umożliwiające rozpoczęcie procesu prototypowania oraz projektowania oprogramowania urządzenia, z wykorzystaniem powyższych modułów. Na **fotografii 16** pokazano płytę, przeznaczoną do współpracy z modułem SLS23. Zawiera ona złącze SO-DIMM (do którego należy podłączyć komputer), złącza MIPIDSI, MIPICSI, złącze Ethernet, PCIe. Godny odnotowania jest również fakt wyprowadzenia złącza IDC40, zgodnego z wyprowadzeniami Raspberry Pi.

Jeżeli wydajność nie jest kluczowym czynnikiem, dobrym wyborem wydają się płytki wyposażone w mikrokontroler Sitara AM335x firmy Texas Instruments (**fotografia 17**). Ciekawym rozwiązaniem wykorzystującym ten układ jest BeagleBone Black, taktowany z częstotliwością 1 GHz, mający 512 MB pamięci RAM oraz 4 GB pamięci FLASH. Komputer ma podstawowe interfejsy komunikacyjne: USB, HDMI oraz Ethernet.

Ciekawym rozwiązaniem do nabycia za około 100 zł jest płytka **Nano Pi Neo 2**, dysponująca 64-bitowym 4-rdzeniowym procesorem Cortex-A53, taktowanym zegarem 1 GHz. Rozwiązanie wyposażone jest w 512 GB pamięci operacyjnej DDR3 oraz pamięć eMMC o wielkości 8 GB, na której możemy zainstalować system operacyjny



Fotografia 17. Mikrokontroler Sitara AM335x firmy Texas Instruments



Fotografia 18. Komputer jednopłytkowy Nvidia Jetson Nano

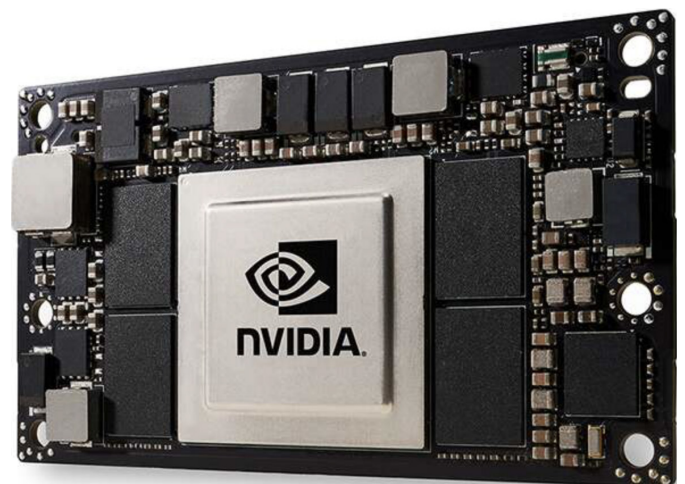
oraz nasze oprogramowanie. Jeśli chodzi o interfejsy komunikacyjne, do dyspozycji mamy gigabitowe złącze Ethernet oraz dwa porty USB.

Jeżeli w projekcie wymagana jest duża moc obliczeniowa oraz wsparcie GPU, np. do przetwarzania obrazów czy wirtualnej rzeczywistości, bardzo ciekawą propozycją jest płytka Nvidia Jetson Nano (**fotografia 18**) wyposażona w 4-rdzeniową jednostkę centralną z rdzeniami Cortex-A53 oraz procesor graficzny Nvidia Maxell ze 120-rdzeniami CUDA. Całość taktowana jest częstotliwością 1,43 GHz.

Jeśli potrzebujemy komputera o bezkompromisowej wydajności zarówno dla mocy obliczeniowej CPU, jak i GPU, np. w rozwiązaniach rzeczywistości wirtualnej, inteligentnych samochodach, dronach itp. możemy skorzystać z płytki **Jetson TX2** firmy Nvidia (**fotografia 19**). Komputer wyposażony jest w GPU w architekturze PASCAL, zawierającą 256 rdzeni CUDA o łącznej wydajności 1.3 TFLOPS. Jeśli chodzi o CPU, ma dwa wysokowydajne autorskie rdzenie **Denver 2** oraz 4 rdzenie **Corex-A57**. Dodatkowo procesor zawiera sprzętowe kodeki audio i wideo, pracujące w rozdzielczości 4 k, interfejs do kamery oraz wyświetlacza. Układ charakteryzuje się poborem prądu na poziomie 7,5 W. Bardzo istotny jest również fakt, że producent zapewnia pełne wsparcie programowe zarówno dla GPU, jak i CPU. Wysoka wydajność niestety okupiona jest stosunkowo wysoką ceną, która wynosi około 400 USD.

## Oprogramowanie oraz wsparcie

Oprócz samego sprzętu, bardzo ważne jest oprogramowanie oraz wsparcie udzielane przez producenta. Nawet najlepsza i tania płytka nie będzie godna uwagi, pozbawiona wsparcia lub sterowników urządzeń dla układów peryferyjnych. Dlatego warto wybrać takiego producenta, który gwarantuje długą dostępność produktu oraz wsparcie techniczne na odpowiednim poziomie. Nie każda firma ma wystarczające zasoby ludzkie, aby zapewniać wsparcie dla komputera SBC



Fotografia 19. Komputer jednopłytkowy Jetson TX2

we własnym zakresie. Cała siła komputerów jednokładowych drzemie w przeniesieniu wsparcia na firmę producenta, co pozwala zaoszczędzić czas oraz pieniądze i jest istotne w przypadku produkcji niskonakładowej.

Jeśli chodzi o wybór systemów operacyjnych dla komputerów jednopłytkowych, to w systemach wbudowanych króluje Linux, z uwagi na przenośność, dostępność kodu źródłowego oraz wsparcie społeczności. System GNU/Linux możemy uruchomić w zasadzie na dowolnym komputerze jednopłytkowym zarówno zbudowanym na architekturze x86, jak i ARM (może z wyjątkiem komputerów z rdzeniem CortexM/R). Z uwagi na otwartość systemu, możemy wykorzystać gotowe dystrybucje lub, jeśli zależy nam na wydajności, zbudować bezpośrednio z kodu źródłowego, np. bazując na narzędziu **Yocto**. Dostępność źródeł znacząco upraszcza późniejszą analizę kodu oraz umożliwia uzyskanie maksimum wydajności z danego komputera, poprzez ustawienie odpowiednich flag kompilacji czy wykorzystanie tylko niezbędnych komponentów. Jeśli zakupiliśmy komputer jednopłytkowy, zazwyczaj otrzymamy zestaw sterowników urządzeń dostępnych na płycie, czy dystrybucję Linuksa opracowaną przez producenta. Nie bez znaczenia jest również fakt, że korzystając z otwartego oprogramowania, nie musimy ponosić kosztów licencji, które w przypadku systemu Windows bywają równoważne wartości zastosowanego sprzętu. Istotnym faktem jest również to, że system Windows w zasadzie dostępny jest jedynie dla komputerów zgodnych z x86. Istnieje co prawda dystrybucja Windows przeznaczona dla architektury ARM, jednak model dystrybucyjny oprogramowania

dla Windows, w postaci kodu binarnego aplikacji, dyskwalifikuje to rozwiązanie.

## Podsumowanie

Szeroka dostępność komputerów jednopłytkowych, zarówno o wydajności niewiele większej od mikrokontrolerów, po bardzo rozbudowane układy o wydajności komputerów PC, pozwala producentom na tworzenie urządzeń w niewielkich seriach produkcyjnych, które mają zaskakujące możliwości, bez poświęcania dużych nakładów i środków na przygotowanie sprzętu oraz oprogramowania. Wystarczy zaprojektować odpowiedni moduł wykonawczy dla komputera SBC oraz napisać aplikację końcową, realizującą wymagane zadania. Wszystkie problemy związane z pisaniem sterowników urządzeń oraz inne zagadnienia niskopoziomowe, związane z systemem, zostają przerzucone na producenta SBC, a my możemy się skupić na funkcjonalności. Dzięki takiemu podejściu znacząco zmniejszamy czas, potrzebny na opracowanie produktu i dostarczenia go na rynek, zmniejszając koszty R&D. Najbardziej wydajne komputery SBC często również są wykorzystywane w rozwiązaniach typu info kioski, czy systemy rozrywki, ponieważ są tańsze od komputerów PC, a ich wydajność w tych zastosowaniach jest wystarczająca. Nie bez znaczenia jest również dużo mniejszy pobór energii (procesory ARM). W przypadku, gdy zależy nam na utrzymaniu zgodności programowej z komputerem PC i systemem Windows, będziemy musieli skorzystać z układów zbudowanych w oparciu na mikroprocesorach x86.

**Lucjan Bryndza, EP**  
lucjan.bryndza@boff.pl

REKLAMA

Wszystko, co lubisz,  
w jednym miejscu



## UlubionyKiosk.pl

Oferuje papierowe  
i elektroniczne  
wydania czasopism  
z najważniejszych  
segmentów rynku:

**budownictwo i wnętrza, muzyka  
i dźwięk, elektronika i automatyka,  
edukacja i hi-tech, rodzina.**

Przesyłka  
**GRATIS**