

ZMIANY W ARCHITEKTURZE PROCESORÓW W KOMPUTERACH PC

ARTUR BARTOSZEWSKI*

Streszczenie

W rozdziale przeprowadzono analizę przyczyn i kierunków zmian w architekturze procesorów i układów otoczenia procesora komputerów PC. Scharakteryzowano najbardziej prawdopodobne kierunki rozwoju procesorów i komputerów PC.

Słowa kluczowe: CPU, GPU, APU.

1. Wprowadzenie

Nacisk kładziony na miniaturyzację i przenośność sprzętu komputerowego powoduje zmianę priorytetu badań rozwojowych nad procesorami, akceleratorami graficznymi oraz układami otoczenia procesora.

Do niedawna prace rozwojowe skupione były na podnoszeniu wydajności procesorów i kart graficznych przeznaczonych dla komputerów stacjonarnych. Obecnie główny nacisk kładziony jest na rozwiązania przeznaczone dla komputerów przenośnych – laptopów. Coraz szybciej rozwijają się także komputery ultra mobilne – tablety i smartfony. Stosowane tam rozwiązania coraz częściej trafiają do komputerów PC. Tendencje te wymuszają coraz większe zmiany w filozofii projektowania procesorów i układów ich otoczenia.

Zidentyfikowanie kierunków rozwoju komputerów jest zagadnieniem istotnym także w kontekście kształcenia inżynierów informatyków. Pomóc może określić z jakimi technologiami, w tym programistycznymi posługiwać się będą już niedługo w swojej pracy zawodowej.

2. Nowe wyzwania w rozwoju komputerów PC

Do niedawna gdy mowa była o segmencie komputerów przenośnych myśleliśmy o laptopach i notebookach – stosunkowo dużych i ciężkich komputerach, które mogły przez krótki czas pracować na zasilaniu bateryjnym, lecz do systematycznej pracy wymagały zasilania zewnętrznego. W komputerach przenośnych montowane były pełnowymiarowe podzespoły. Miniaturyzacja stosowanych płyt głównych osiągana była do niedawna głównie poprzez rezygnację z budowy modułowej i wymienności podzespołów. Zastąpienie gniazd i kart rozszerzeń montażem powierzchniowym pozwalało lepiej wykorzystywać miejsce i budować mniejsze płyty główne. Koncepcja ich budowy nie zmieniała się jednak znacząco od czasu opracowania standardu ATX.

* Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu

Aby dostosować się do wymagań rynku producenci podzespołów dla komputerów PC muszą rozwiązać kilka problemów. Wymienić tu należy:

- miniaturyzacja układów scalonych dużej skali integracji (CPU, GPU, Chipset),
- miniaturyzacja płyty głównej,
- uproszczenie systemu wymiany danych pomiędzy CPU, pamięcią i GPU,
- zmniejszenie energochłonności,
- chłodzenie podzespołów.

3. TDP jako jeden z głównych parametrów współczesnych procesorów

Wbrew pozorom pierwszy z wymienionych problemów stanowi dla konstruktorów stosunkowo niewielkie wyzwanie. Dla przykładu, płytka krzemowa procesora zawierająca wszystkie jego układy logiczne zajmuje przeciętnie 10% jego objętości. Reszta to wyprowadzenia i obudowa ułatwiająca odprowadzanie ciepła. Prosta miniaturyzacja podzespołów, stworzenie mniejszych procesorów, procesorów graficznych, mostków Chipsetu, mniejszych modułów pamięci i rozmieszczenie ich na mniejszej przestrzeni jest możliwa, powoduje jednak wiele problemów. Najważniejszym z nich jest przegrzewanie się układów, głównie procesora i procesora graficznego, ale także innych układów umieszczonych na płycie głównej, jak np. czułe na temperaturę układy obsługujące sieć bezprzewodową.

Kolejnym problemem była konieczność zapewnienia niskiego poboru energii przez poszczególne komponenty. Dotyczy to szczególnie CPU i GPU ale także pamięci RAM i Chipsetu. Oba wymienione tu problemy są ze sobą ściśle powiązane. Zapotrzebowanie na energię współczesnych układów scalonych określa się za pomocą ich TDP (*ang. Thermal Design Power*). TDP to moc, którą pobiera procesor (i oddaje w postaci ciepła) przy obciążeniu realnymi aplikacjami [10]. Tylko niewielka część energii dostarczanej do układu cyfrowego wykorzystana jest do pracy użytecznej (zmian stanów układów logicznych). Większość energii rozprasza się w postaci ciepła. Ilość wytwarzanego ciepła jest, w przypadku układów wysokiej skali integracji, dobrym wyznacznikiem poboru energii przez układ. Pomiar bezpośredni jest utrudniony przez dużą liczbę szybkozmiennych sygnałów elektrycznych które otrzymuje i wysyła układ.

Pierwszym, stosowanym w starszych komputerach przenośnych, rozwiązaniem było obniżenie napięć zasilających CPU, GPU i RAM. Obniżenie napięcia zasilania układu znacznie zmniejsza jego TDP lecz wymaga jednoczesnego obniżenia częstotliwości taktowania, a co za tym idzie wydajności. Napięcie zasilania wpływa na czas propagacji układów logicznych z których zbudowany jest procesor. Szybsza zmiana stanów wymaga dużej energii, co wiąże się z wyższym napięciem zasilającym i większymi stratami energii.

Inną metodą obniżania energochłonności procesorów było uproszczenie ich budowy. W wersjach procesorów przeznaczonych dla komputerów mobilnych znacznie ograniczano rozmiar pamięci podręcznej CACHE L2 i L3 (poziomu drugiego i trzeciego). Pamięć CACHE jest wykonywana w trudno poddającej się scalaniu technologii SRAM (*ang. Static Random Access Memory*) i zajmuje dużo przestrzeni na płycie krzemowej procesora. W większości współczesnych procesorów pamięć CACHE to ponad połowa tranzystorów, z których zbudowany jest układ. Jej zmniejszenie znacząco obniża TDP procesora. Ponieważ jednak pamięć ta pełni ważną funkcję w optymalizacji wymiany danych pomiędzy

procesorem a znacznie wolniejszą pamięcią operacyjną następuje duży spadek wydajności systemu zbudowanego w oparciu o taki procesor. Wydajność obliczeniowa procesora mierzona prostymi testami (liczba obliczeń stało i zmiennoprzecinkowych na sekundę) zmniejsza się tylko nieznacznie, jednak rzeczywista wydajność systemu spada odczuwalnie.

Zmniejszenie TDP procesora bez ograniczania jego wydajności osiągnąć można poprzez zmianę tak zwanego procesu technologicznego. Jest to parametr wyrażany w nanometrach i oznaczający rozmiar (grubość) tranzystorów na płycie krzemowej. Mniejsze tranzystory potrzebują o pracy znacznie mniej energii. Nowoczesne procesory wykonywane są w procesie technologicznym 42nm, a nawet 32nm. Stopień skomplikowania kolejnych generacji procesorów rośnie jednak tak szybko, że dalsze zmniejszanie rozmiaru tranzystorów pozwala właściwie tylko utrzymać zużycie energii na porównywalnym poziomie.

Najbardziej obiecujące rozwiązanie opisywanego tu problemu wywodzi się z technologii zaprojektowanej w zupełnie innym, można nawet powiedzieć przeciwnym celu. Przetaktowywanie (zwiększanie częstotliwości ponad normalny zakres pracy) procesorów stosowane było dla od dawna zwiększenia wydajności CPU oraz GPU w komputerach stacjonarnych i postrzegane raczej jako zabawa dla hobbystów. Możliwość przetaktowywania procesora wykorzystał Intel w procesorach wielordzeniowych rodziny Intel Core przeznaczonych dla komputerów stacjonarnych. Zastosowana tam technologia Turbo Boost umożliwia rdzeniom procesora automatyczne zwiększenie szybkości działania względem częstotliwości określonej w konfiguracji Thermal Design Power (TDP), o ile procesor nie przekracza określonych w specyfikacji limitów dotyczących energii, zasilania i temperatury. Technologia Intel Turbo Boost jest aktywowana, gdy system operacyjny zgłasza żądanie osiągnięcia najwyższej wydajności procesora [8]. Początkowo umożliwiała ona wyłącznie zwiększenie częstotliwości pracy pierwszego rdzenia kosztem obniżenia taktowania pozostałych (rozwiązanie umożliwiało lepszą obsługę starszych, jednowątkowych programów przez wielordzeniowe procesory). Rozwinięciem tej technologii (oraz równolegle opracowywanej przez firmę AMD technologii Turbo Core) [7] jest dynamiczne sterowanie TDP stosowane we współczesnych komputerach mobilnych. Rozwiązania te dotyczą nie tylko procesora. TDP liczone jest łącznie dla CPU, GPU. Dynamiczne sterowanie częstotliwościami i napięciami zasilania obu tych układów pozwala zoptymalizować ich wydajność, z jednej strony, oszczędzać energię w trakcie normalnej pracy, z drugiej wykonywać obliczeniochłonne operacje w krótkim czasie. Np. w trakcie pracy z Internetem występują krótkie momenty zapotrzebowania na moc obliczeniową (renderowanie strony przez przeglądarkę) i dłuższe okresy „odpoczynku” w których użytkownik przegląda stronę.

Dynamiczna skalowalność wykorzystania mocy obliczeniowej pozwala na zwiększenie czasu pracy na bateriach i uproszczenie chłodzenia bez odczuwalnego dla użytkownika spadku wydajności komputera. Dotyczy to jednak tylko niektórych zastosowań. W przypadku programów które jednocześnie i długotrwale obciążają zarówno CPU jak i GPU, np. gier komputerowych, komputer po krótkim czasie osiąga graniczną temperaturę pracy i aby zapobiec przegrzaniu układów ogranicza taktowanie GPU.

4. Zmiany w architekturze procesora i układów otoczenia procesora

Kolejnym wyzwaniem stojącym przed producentami sprzętu komputerowego jest jego miniaturyzacja. Jak pisano wyżej miniaturyzacja układów scalonych wysokiej skali integracji jest stosunkowo prosta. Problemów nastręcza miniaturyzacja systemów odprowadzających ciepło. Trudne jest także zaimplementowanie na mniejszej przestrzeni magistral łączących główne układy systemu komputerowego. Rozwiązaniem tych problemów jest znacząca rewizja obowiązujących dziś standardów budowy komputerów PC.

Standaryzacja konstrukcji płyt głównych oraz zasilaczy i obudów była do niedawna jedną z najbardziej charakterystycznych cech rodziny komputerów PC. Standard AT (*ang. Advanced Technology*) został udostępniony w 1984 r. przez IBM. W odróżnieniu od wcześniejszych standardów: PC i XT, rozpowszechnił się bardzo szeroko ze względu na rozkwit rynku komputerów w latach 80. Klony komputerów IBM używały w tamtych czasach konstrukcji kompatybilnych z AT, przyczyniając się do popularności tego standardu. W latach 90. wiele komputerów wciąż wykorzystywało AT oraz jego odmiany, jednak od 1997 r. do głosu doszedł standard ATX. Obecnie dominującą pozycję ma standard ATX i jego unowocześnione odmiany. Charakteryzuje się on przede wszystkim zintegrowaniem z płytą główną wszystkich gniazd - złącza portów szeregowych i równoległych, klawiatury, myszy, USB, dźwięku i inne integralną częścią samej płyty. Standard ATX jest bezsprzecznie przestarzały, był wielokrotnie zmieniany i dostosowywany [3], nadal przysparza konstruktorom wielu problemów.

Przyglądając się płytom głównym komputerów klasy PC zauważyć można, że rozmieszczenie poszczególnych elementów nie jest przypadkowe. Daleko idące podobieństwa pomiędzy rozwiązaniami różnych producentów wynikają z kilku przyczyn. Najważniejszą spośród nich jest sposób komunikacji pomiędzy podzespołami. Chodzi tu głównie o magistrale wysokiej przepustowości związane z procesorem i mostkiem północnym, czyli:

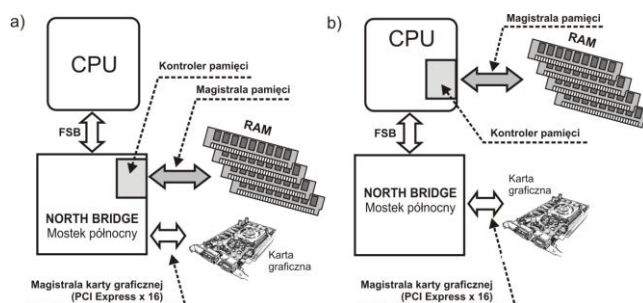
- magistralę FSB,
- magistralę pamięci,
- magistralę międzyukładową,
- magistralę dedykowaną dla karty graficznej (PCI Express 16, AGP).

Płyta główna wykonana jest z wielowarstwowego laminatu. Laminat taki to kilka warstw ścieżek oddzielonych warstwami nieprzewodzącego lakieru. Ścieżki leżące w różnych warstwach mogą się ze sobą krzyżować, lub biec równolegle, jedna nad drugą. Jednak przecinające się lub, co gorsza, równoległe magistrale będą zakłócać się wzajemnie. Zakłócenia są tym większe i trudniejsze do wyeliminowania, im większa jest częstotliwość transmisji danych. Problem ten dotyczy więc głównie, wymienionych wyżej, wysokoprzepustowych, magistral łączących procesor, pamięć, kartę graficzną i mostek północny Chipsetu (*ang. North Bridge*). Istotnym, dla projektantów płyty głównej, czynnikiem jest też długość magistral. Większa długość ścieżek oznacza większą rezystancję, a w konsekwencji większe straty energii rozpraszanej w postaci ciepła.

Źródło: opracowanie własne

W najnowszych generacjach procesorów, zarówno Intel'a jak i AMD, sterownik pamięci usunięty został z Chipsetu i zintegrowany z CPU. Magistrala pamięci na płycie głównej

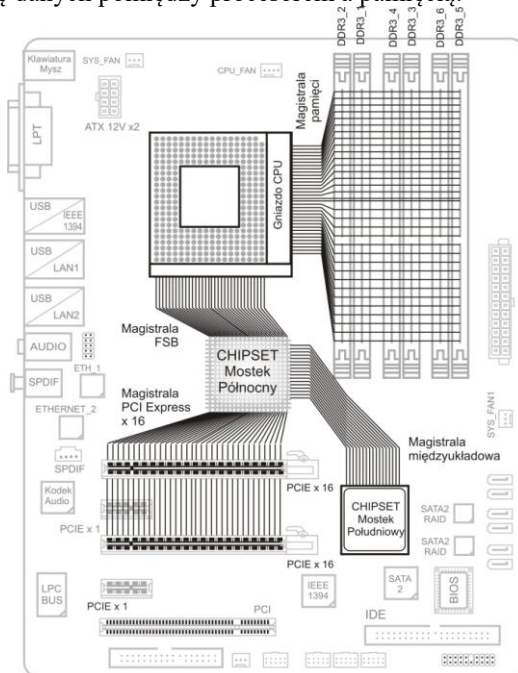
łączy więc slot pamięci bezpośrednio z gniazdem procesora nie, jak dawniej, z mostkiem północnym (rys. 2).



Rys. 2. Implementacja magistral pamięci a) kontroler pamięci w jako część mostka północnego Chipsetu, b) kontroler pamięci zintegrowany z procesorem

Źródło: opracowanie własne

Rozwiązanie takie zmierza do odciążenia samego mostka i łączącej go z procesorem magistrali FSB (*ang. Front Side Bus*). Przeniesienie kontrolera pamięci do bloku CPU usprawnia też wymianę danych pomiędzy procesorem a pamięcią.



Rys. 3. Układ magistral na płycie głównej standardu ATX po dostosowaniu do procesorów ze zintegrowanym kontrolerem pamięci,

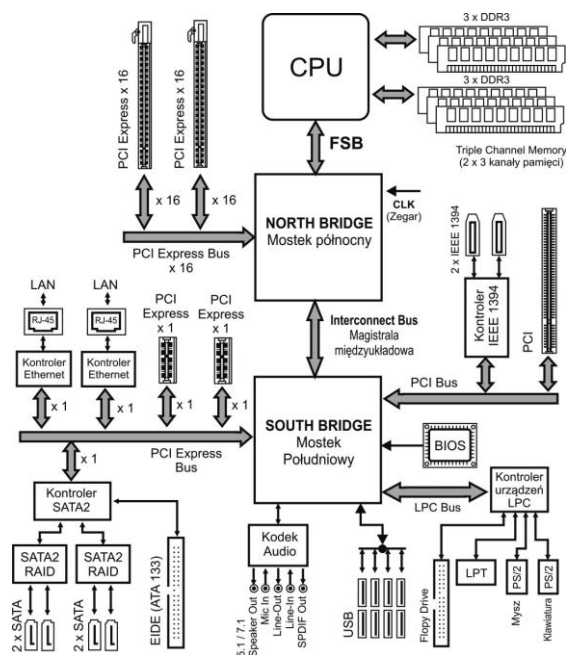
Źródło: opracowanie własne

W niektórych rozwiązaniach północna część Chipsetu obsługuje także mniej standardowe układy wymagające wysokiego transferu. Najczęściej są to sloty magistrali PCI Express x 4 oraz PCI Express x 8 [5].

Przeniesienie kontrolera pamięci pozwoliło znacznie uprościć układ magistral. Zmniejszono długość magistrali pamięci co pozwoliło zwiększać częstotliwość taktowania magistrali pamięci. Zmiana sposobu obsługi pamięci RAM była drugą poważną, choć mniej widoczną dla użytkowników, zmianą w konstrukcji płyt standardu ATX.

Kolejna, znacznie większa zmiana architektury komputerów PC wiąże się z zastąpieniem CPU przez układ będący połączeniem kilku najważniejszych elementów komputera.

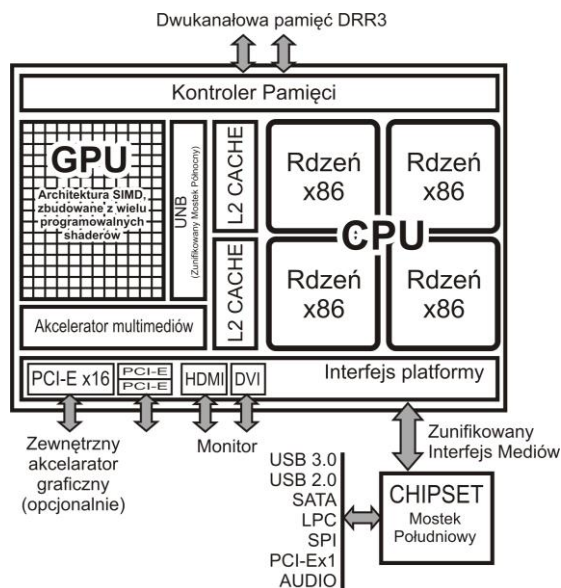
Klasyczną budowę komputera PC, zarówno stacjonarnego, jak i mobilnego, obrazuje rys. 4. Na schemacie tym widzimy, że istnieją trzy układy przetwarzające duże ilości danych – CPU, mostek północny Chipsetu oraz GPU (na karcie rozszerzeń). Każdy z tych układów potrzebuje systemu odprowadzania ciepła. Ponadto są one połączone rozbudowanym systemem magistral (patrz rys. 3). Jest to rozwiązanie skomplikowane, posiada jednak pewną cechę, która przyczyniła się do sukcesu komputerów PC. Mowa o jego skalowalności, czyli możliwości łączenia w jeden spójny system podzespołów różnych producentów i dobieranie ich w zależności od wymagań użytkownika. Filozofia ta sprawdzała się bardzo dobrze, gdy podstawowym segmentem rynku PC były komputery stacjonarne.



Rys. 4. Schemat blokowy komputera PC opartego na klasycznym CPU i Chipsecie z podziałem na dwa mostki
Źródło: opracowanie własne

Przesunięcie się popytu w stronę notebooków i tabletów dało producentom możliwość zaprezentowania nowego podejścia – budowy komputera zgodnego ze standardem PC, ale takiego, którego podstawowe podzespoły pochodzą od jednego producenta i zaprojektowane zostały jako całość.

Efektom takiego podejścia jest wprowadzona do komputerów PC przez firmę AMD koncepcja APU (ang. *Accelerated Processing Unit*). APU łączy w jednym układzie scalonym dużej skali integracji CPU, GPU, kontroler pamięci i mostek północny.



Rys. 5. Architektura APU i jego otoczenia

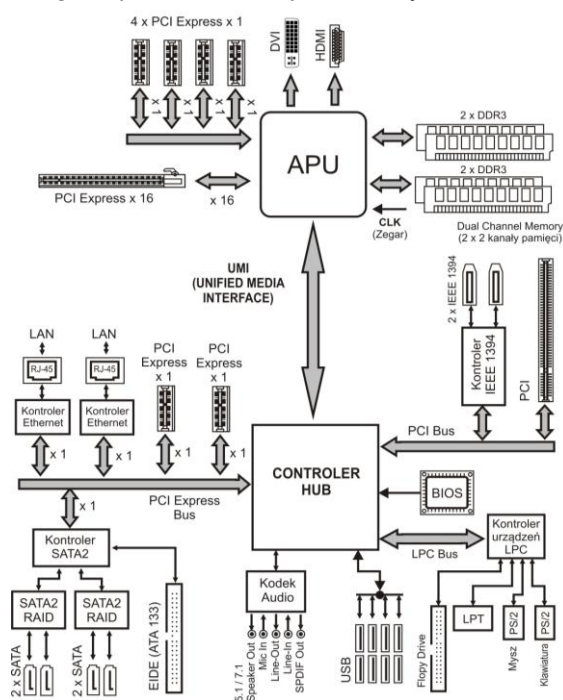
Źródło: opracowanie własne

Na rysunku 5 przedstawiono budowę APU opartego na czterordzeniowym procesorze z rodziny x86 oraz procesorze graficznym o architekturze SIMD (ang. *Single Instruction, Multiple Data*). Układ zawiera także kontroler pamięci oraz UNB (ang. *Unified Northbridge*) będący uproszczonym odpowiednikiem mostka północnego Chipsetu. Jego zadania okrojono do pośrednictwa w wymianie danych pomiędzy CPU a zintegrowanym GPU. Kontroler magistrali PCI-Express x 16 przeniesiono do bloku Interfejsu platformy (ang. *Platform Interface*). Blok ten odpowiada także za obsługę monitora. Obsługę układów nie wymagających dużego transferu danych (magistrala USB, SATA, PCI-Express x1, itp.) podobnie jak w klasycznym układzie płyty głównej powierzono osobnemu układowi scalonemu, będącemu, niezmiennym praktycznie, odpowiednikiem mostka południowego Chipsetu.

Przykładem takiego rozwiązania jest między innymi procesory firmy AMD oparte na platformach Trinity i Liano.

Opisywane tu rozwiązanie wpłynęło także na budowę płyty głównej pozwalając na znaczne jej uproszczenie. Wyeliminowana została konieczność implementowania na płycie

magistrali FSB. Znacznie odciążona została magistrala międzyukładowa – zastąpiona teraz przez magistralę UMI (*ang. Unifier Media Interface*) [1] (rys. 6).



Rys. 6. Schemat blokowy komputera PC opartego na APU

Źródło: opracowanie własne

Większość układów wymagających szybkiej wymiany danych z procesorem obsługiwana jest bezpośrednio przez APU. Zauważyć można jednak, że nie zrezygnowano z możliwości podłączenia zewnętrznej karty graficznej – za pośrednictwem wbudowanego w APU kontrolera magistrali PCI-Express x 16. Rozwiązanie takie podyktowane jest wciąż niewielką wydajnością zintegrowanych z APU akceleratorów graficznych.

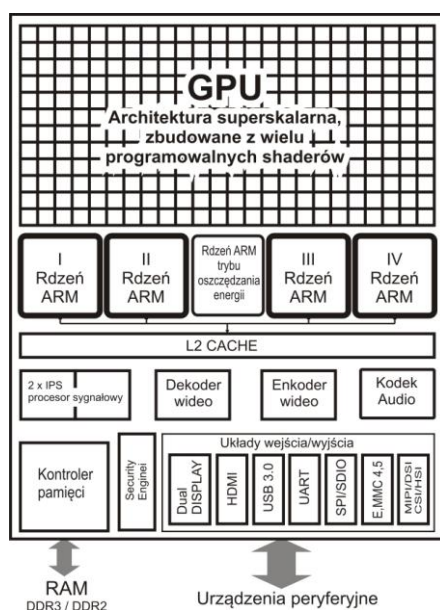
Wprowadzenie APU pomogło też w pewnej mierze rozwiązać kolejny problem występujący szczególnie w niewielkich i zwartych konstrukcjach tak zwanych Ultrabooków, czyli niewielkich notebooków o dużej wydajności.

Chłodzenie podzespołów od dawna stanowiło problem nawet w pełnowymiarowych komputerach stacjonarnych. Zdecydowana większość obudów nie była projektowana pod kątem zapewnienia właściwego chłodzenia. Do wnętrza powietrze dostawało się zwykle przez specjalnie przygotowane do tego celu otwory lub przez wszelkie szpary i nieszczelności konstrukcji. Według specyfikacji ATX za wymianę powietrza wewnątrz obudowy odpowiadał wentylator zasilacza, wydmuchując je na zewnątrz. Rozwój komputerów spowodował, że chłodzenia wymagał nie tylko procesor, lecz także GPU, i mostek północny Chipsetu. W wysokowydajnych komputerach także mostek południowy, pamięć RAM a nawet niekiedy procesor sygnałowy DSP umieszczony na karcie

dźwiękowej. Zintegrowanie CPU, GPU i Chipseru w jeden układ scalony stworzyć prostsze a jednocześnie wydajniejsze, i co także istotne, cichsze systemy odprowadzania ciepła.

5. Zbliżenie architektury komputerów PC i architektury komputerów ultramobilnych (tabletów i smartfonów)

Segment komputerów PC oraz segment tabletów i smartfonów wydają się być całkiem odrębnymi gałęziami rozwoju technologii komputerowej. Bliższe przyjrzenie się stosowanym tam technologiom i kierunkowi ich rozwoju pozwala jednak wskazać daleko idące podobieństwa. Koncepcja zintegrowania wszystkich istotnych podzespołów komputera w jedną kość krzemową nie wywodzi się z komputerów PC. Została ona zaadaptowana z rozwiązań zaprojektowanych na rynek tabletów i smartfonów. Rysunek 7 prezentuje budowę platformy sprzętowej wykorzystywanej w nowoczesnych komputerach ultramobilnych. Przykładem tego rodzaju architektury jest platforma Tegra opracowana przez firmę Nvidia [9].



Rys. 7. Schemat platformy sprzętowej dla tabletów i smartfonów opartej na wielordzeniowym procesorze ARM

Źródło: opracowanie własne

Główną różnicę pomiędzy opisywaną tu platformą sprzętową dla tabletów i smartfonów a zaprezentowanym wcześniej APU dla komputerów PC stanowi rodzaj użytych procesorów. APU opiera się najczęściej na wydajnych procesorach rodziny x86 będących hybrydą technologii CISC i RISC. W platformach mobilnych stosowane są prostsze,

bardziej energooszczędne ale mniej wydajne procesory wykonane w technologii RISC – najczęściej procesory rodziny ARM.

Szukając podobieństw pomiędzy układami komputerów PC a komputerów ultramobilnych zauważyć można podobną, opartą na architekturze SIMD (ang. *Single Instruction, Multiple Data*) budowę GPU. Układ graficzny składa się z wielu (od kilkudziesięciu do ponad tysiąca) niezależnych programowalnych shaderów wykonujących równoległe obliczenia dla poszczególnych wierzchołków trójkątów (Vertex Shader) lub pikseli obrazu (Pixel Shader). Rozwiązanie takie, opracowane dla procesorów graficznych montowanych jeszcze niedawno na wysokowydajnych kartach graficznych trafiło najpierw do APU komputerów PC a teraz także do platform sprzętowych smartfonów i tabletów [4].

Rozwiązaniem na które warto zwrócić uwagę jest piaty rdzeń procesora (tak zwana architektura 4+1) [2]. Służy on do podtrzymywania pracy systemu w trybie czuwania urządzenia mobilnego. Ma mniejszą moc obliczeniową od każdego z czterech rdzeni głównych, lecz przez to znacznie niższe od nich TDP, czyli zapotrzebowanie na energię. W czasie dłuższych okresów bezczynności system wyłącza cztery główne rdzenie oraz akcelerator graficzny zmniejszając swoje TDP do kilku procent osiąganego w trakcie normalnej pracy. Należy się spodziewać pojawienia się analogicznego lub pokrewnego rozwiązania do komputerów PC. Główną wyzwaniem przy jego zaadaptowaniu będzie zapewnienie szybkiego przełączania się pomiędzy trybami pracy. System ten nie miałby zastąpić hibernacji komputera, lecz obniżyć zużycie energii jeżeli komputer jest włączony ale nieużywany przez nawet jeżeli są to krótkie okresy.

6. Wnioski

Kierunek zmian, którym podlegają współczesne komputery PC pokazuje, że w ciągu kilku lat koncepcja komputera personalnego zmieni się definitywnie. Już teraz producenci systemów operacyjnych i deweloperzy usług Cloud Computing starają się zniwelować różnice pomiędzy komputerem, tabletem i smartfonem. Urządzenia te już w tej chwili w dużym stopniu mogą, poprzez usługi w chmurze, współdzielić dane. Coraz większa jest też korelacja pomiędzy programami działającymi na komputerach PC, smartfonach i tabletach. Śmiało stwierdzić można, że różnice pomiędzy nimi będą się jeszcze zmniejszać, co wpłynie na rozwój procesorów i układów otoczenia procesora. Już teraz oba omawiane tu segmenty rynku komputerowego zaczynają się przenikać. Dostępne są (choć na razie rzadko) tablety pracujące w oparciu o procesory rodziny x86 oraz płyty główne dla komputerów PC współpracujące z procesorami ARM projektowanymi dla tabletów. Rozwiązania te można na razie traktować jako ciekawostkę, faktem jest jednak, że producenci badają ten kierunek rozwoju rynku.

7. Bibliografia

- [1] AMD Embedded R-Series platform, Inspires Innovative New Applications based on Small Form Factor Board Designs, Źródło elektroniczne: http://www.amd.com/us/Documents/AMD_SFF-Whitepaper.pdf, [dostęp 2014-03-01].

- [2] ANGELINI C., Nvidia Tegra K1 In-Depth: The Power Of An Xbox In A Mobile SoC?, Źródło elektroniczne: <http://www.tomshardware.com/reviews/tegra-k1-kepler-project-denver,3718.html>, [dostęp 2014-03-01].
- [3] BARTOSZEWSKI A., Spojrzenie na tendencje rozwoju architektury układów otoczenia procesora, [w:] Informatyka w dobie XXI wieku. Nowoczesne systemy informatyczne i ich zastosowanie, A. Jastrzebow (red.), Wydawnictwo Politechniki Radomskiej, Radom 2008, ISBN 1642-5278.
- [4] BARTOSZEWSKI A., Capabilities of hardware support in creation of artificial neural networks, , [in:] Computer science in the age of XXI century. Computer technologies in science, technology and education, Aleksander Jastrzebow, Beata Kuźmińska-Sołśnia, Maria Raczyńska (Eds.), Technical University of w Radom, Institute for Sustainable Technologies - National Research Institute (ITeE - PIB), Radom 2012.
- [5] GOOK M., Interfejsy sprzętowe komputerów PC, Helion, Gliwice 2005.
- [6] METZGER P., Anatomia PC, Wydanie XI, Helion Gliwice 2007.
- [7] Najważniejsze cechy architektury procesorów AMD FX, Źródło elektr.: <http://www.amd.com/pl/products/desktop/processors/amd/fx/Pages/amd/fx-key-architectural-features.aspx> [dostęp 2014-03-01].
- [8] Technologia Intel® Turbo Boost, Źródło elektroniczne: <http://www.intel.pl/content/www/pl/pl/architecture-and-technology/turbo-boost/turbo-boost-technology.html>, [dostęp 2014-03-01].
- [9] Tegra 3 Technical Reference Manual, Źródło elektroniczne: <https://developer.nvidia.com/tegra-3-technical-reference-manual>
- [10] VISWANATH R., WAKHARKAR V., WATWE A., LEBONHEUR V.: Thermal Performance Challenges from Silicon to Systems. Intel Technology Journal Q3, 2000. źródło elektr. <http://www.intel.com> [dostęp 2008-12-01].

CHANGES IN THE ARCHITECTURE OF PROCESSORS IN PC COMPUTERS

Abstract (czcionka 10, pogrubienie)

In this chapter has been carried out analysis of causes and directions of changes in processors architecture and systems cooperating with processor in the PC computers. This chapter contains characteristics of the most probable development directions of PC computers.

Key words: CPU, GPU, APU,