

# Tajemnice Willamette'a

Od chwili premierowego pokazu Pentium 4 co jakiś czas odtajniane są kolejne szczegóły jego architektury. Nie inaczej było 20 września w Warszawie, kiedy to firma Intel zaprezentowała po raz pierwszy w naszej części Europy ten swój najnowszy 32-bitowy procesor.

Na warszawskim pokazie dziennikarzom przybyłym z całej Europy Środkowo-Wschodniej zaprezentowano w pełni działający komputer zbudowany na bazie 1,5-gigahercowej wersji procesora Pentium 4. Model ten znany był wcześniej pod kodową nazwą Willamette (patrz: CHIP 5/2000, s. 40). Płytę główną premierowego peceta skonstruowano przy wykorzystaniu najnowszego chipsetu i850 firmy Intel, współpracującego z pamięciami RDRAM (Rambus Direct RAM). W testowej maszynie znalazły się dwa 64-megabajtowe moduły RIMM (Rambus Inline Memory Module). Sprzętowej konfiguracji komputera dopełniała zaś karta graficzna ATI Radeon 64.

Zastosowaną platformą systemową był Windows ME z zainstalowaną wersją Beta bibliotek DirectX 8.0. Co ciekawe, niejako przy okazji wyszło na jaw, że Microsoft znał dużo wcześniej szczegóły budowy chipsetu i850 i procesora Pentium 4, przez co od początku przystosował swoje mile-nijne Okienka do współpracy z nową generacją produktów Intelu. Będzie to z pewnością dużym ułatwieniem dla wszystkich użytkowników, gdyż przy instalacji systemu nie będą potrzebne żadne dodatkowe sterowniki.

## Odsłona kolejnych tajemnic

Architektura procesora Pentium 4 otrzymała dobrze brzmiącą nazwę NetBurst, kojarzącą się nie tylko z zastosowaniami sieciowymi, ale również z wysoką wydajnością układu. Struktura półprzewodnikowa składa się z 42 milionów tranzystorów, z czego ponad 12 milionów to pamięć podręczna drugiego poziomu (256 KB 128-bitowej, ośmiokrotnej pamięci skokarzeniowej), pracująca z pełną prędkością jądra układu. Ze względu na jej dużą przepustowość (46 GB/s) nazwana ona została pamięcią podręczną o wysokim transferze (Advanced Transfer Cache).

Jednym z głównych założeń konstrukcyjnych procesora było maksymalne zmniejszenie liczby tranzystorów, tak aby układ można było taktować jak największą częstotliwością zegara. Przede wszystkim usprawniono przetwarzanie potokowe – rozbudowano kolejki, które składają się teraz z dwudziestu etapów, a tłumaczenie kodu x86 na tzw. mikrooperacje odbywa się całkowicie poza potokiem (zajmuje się tym wyspecjalizowany dekodery mikro kodu) – patrz: CHIP 5/2000, s. 40. Rozbicie poszczególnych

etapów na drobniejsze operacje powoduje, że do zbudowania logiki realizującej przepływ danych w potoku potrzeba znacznie mniejszej ilości tranzystorów.

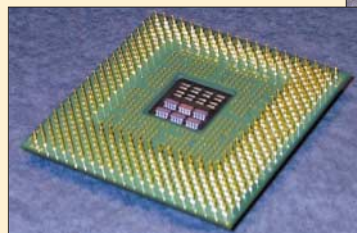
W nowym procesorze zrezygnowano z tradycyjnie rozumianej pamięci podręcznej pierwszego poziomu. W przypadku przechowywania instrukcji jej funkcję spełnia zaledwie 8-kilobajtowy bufor śledzenia wykonywania rozkazów (Execution Trace Cache), składający nie tyle kod x86, co zdekodowane

16 KB) czterokrotnej pamięci skokarzeniowej o wysokiej przepustowości. Wysyłanie i pobieranie informacji może odbywać się jednocześnie w trakcie tego samego cyklu zegarowego. Skróceniu uległ też czas przyjęcia danych z pamięci podręcznej. Zamiast dotychczasowych trzech cykli Willamette potrzebuje zaledwie dwa takty zegara. Przyspieszenie to konstruktorzy uzyskali dzięki całkowicie nowemu algorytmowi dostępu do pamięci. Co ciekawe, nie wydłużono przy tym ani szyny danych, ani szyny adresowej cache'u L2 – podobnie jak w PIII są w one dalszym ciągu 64-bitowe (w PIII Coppermine 256-bitowe).

## Dwukrotne przyspieszenie

Innym usprawnieniem, dzięki któremu Pentium 4 zyskuje na wydajności, jest asymetryczna struktura jądra. Stałopozycyjna jed-

Pentium 4 produkowany będzie w obudowie typu Socket 432. Niestety, jest on niekompatybilny z obecnymi na rynku rozwiązaniami typu Socket 370, stosowanymi dla procesorów Intel Pentium III/Celeron.



instrukcje mikrooperacji. Takie rozwiązanie eliminuje czas potrzebny do ponownego „odszyfrowania” programu. Pojemność nowego cache'u pozwala przechować do 12 tysięcy mikrooperacji, co odpowiada w przybliżeniu 177 KB tradycyjnej pamięci podręcznej.

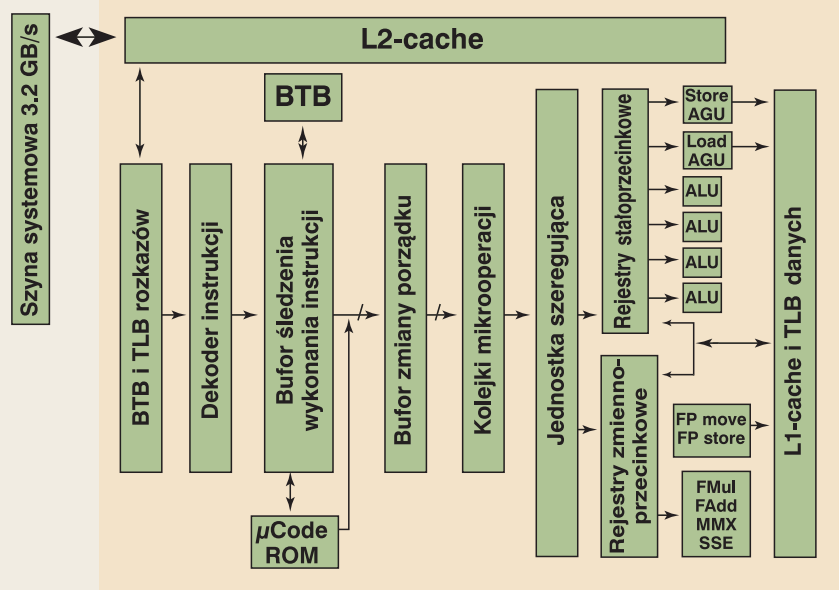
W stosunku do wcześniejszych modeli procesorów w P4 zmniejszono o połowę pojemność cache'u L1 dla danych. W Pentium 4 zastosowano 8 KB (zamiast dotychczasowych

nostka arytmetyczno-logiczna (ALU) pracuje z dwukrotnie większą częstotliwością zegara niż pozostałe moduły procesora. Oznacza to, że efektywna prędkość działania pokazywanego w Warszawie 1,5-gigahercowego P4 wynosi aż 3 GHz! Powyższy mechanizm podwajania częstotliwości nazwany został Rapid Execution Engine (we wcześniejszych informacjach oznaczany był on jako Double Pumped Integer ALU).

## Parametry techniczne procesorów Pentium III i Pentium 4

	Pentium III	Pentium 4	Względna poprawa
Częstotliwość	1 GHz	>1,4 GHz	>1,4
Sumaryczna prędkość wykonywania pojedynczego rozkazu	1 ns	< 0,36 ns	> 2,8
Czas dostępu do pamięci L1	3 ns	<1,42 ns	> 2,1
Rozmiar pamięci L1	16 KB	8 KB	0,5
Przepustowość pamięci L1	16 GB/s	> 44,8 GB/s	> 2,8
Przepustowość pamięci L2	16 GB/s	> 44,8 GB/s	> 2,8
Liczba wykonywanych mikrooperacji na sekundę	3 miliardy	> 4,2 miliarda	>1,4
Liczba wykonywanych operacji na sekundę	2 miliardy	> 5,5 miliarda	> 2,8
Pojemność bufora rozgałęzień (liczba wejść)	512	4096	8
Maksymalna liczba jednocześnie przetwarzanych instrukcji	40	126	3,15
Maksymalna liczba jednocześnie ładowanych danych	16	48	3
Maksymalna liczba jednocześnie zapisywanych danych	12	24	2
Przetwarzanie danych SIMD	cztery zmiennoprzecinkowe liczby pojedynczej precyzji; 64-bitowe liczby typu integer	cztery zmiennoprzecinkowe liczby pojedynczej precyzji; dwie podwójnej precyzji, 128-bitowe liczby typu integer	-

## Schemat blokowy procesora Pentium 4



BTB – Branch Target Buffer – bufor rozgałęzień  
 TLB – Translation Look-aside Buffer – translacyjny bufor odwzorowań  
 Trace Cache – bufor śledzenia wykonanych instrukcji  
 μCode ROM – pamięć ROM mikro kodu

Źródło: Intel

Pentium 4 1,5 GHz teoretycznie jest w stanie wykonać 3 miliardy operacji stałoprzecinkowych na sekundę. Innymi słowy oznacza to, że obliczenia na liczbach typu integer zajmują zaledwie pół cyklu zegarowego procesora! Takie przyspieszenie będzie miało bardzo istotne znaczenie dla większości dostępnego na rynku oprogramowania multimedialnego.

## Siła tkwi w SSE2

Konstruktorzy nowego procesora nie wprowadzili istotnych zmian do jednostek zmiennoprzecinkowych wykonujących operacje na pojedynczych liczbach (zoptymalizowano jedynie mikro kod). Pentium 4, podobnie jak Pentium III, ma też w dalszym ciągu tylko dwa moduły przeznaczone do obliczeń zmiennoprzecinkowych, podczas gdy konkurencyjny AMD Athlon wyposażony jest w trzy takie jednostki wykonawcze.

W Pentium 4 usprawniono natomiast działanie mechanizmów SIMD (Single Instruction Multiple Data) wykonujących jednocześnie tę samą operację na wielu liczbach stałych i zmiennoprzecinkowych. Znany z procesorów Pentium III i Celeron II zestaw instrukcji SSE (Streaming SIMD Extension) poszerzono o kolejne 144 rozkazy, które mogą operować na 128-bitowych liczbach typu integer i 128-bitowych liczbach stałoprzecinkowych podwójnej precyzji oraz na 128-bitowych liczbach zmiennoprzecinkowych – Pentium III operuje jedynie na 64-bitowych liczbach. Nowy zestaw instrukcji nazwany został SSE2.

## Bieg na 400 MHz

Ostatnim elementem wyróżniającym się w architekturze nowego procesora jest 400-megahercowa magistrala systemowa. Przetwarzane informacje wysyłane są synchronicznie 128-bitową szyną danych (w Pentium III wykorzystuje się 64-bitową magistralę) w dwóch 64-bitowych paczkach. Taka koncepcja transmisji danych w połączeniu z 400-megahercową prędkością działania szyny FSB oznacza, że Willamette od samego początku konstruowany był z myślą o wykorzystaniu dwóch dozwolonych kanałów dostępu w pamięciach RDRAM. Maksymalna przepustowość magistrali systemowej wynosi 3,2 GB na sekundę, czyli dokładnie tyle, ile przepustowość dwukanałowych modułów RIMM.

Dzisiaj jedynym chipsetem mogącym zapewnić współdziałanie z 400-megahercową szyną FSB jest współpracujący z pamięciami Rambus koncentrator Intel i850, znany wcześniej pod nazwą Tehama. Co ciekawe, na połowę przyszłego roku zapowiadany jest też, na razie jeszcze nieoficjalnie, intelowski układ dla Pentium 4, mający pracować z pamięciami typu DDR.

## Praca w zespole

Obecnie dostępne próbki inżynierskie układów Pentium 4 nie są przystosowane do pracy wieloprocesorowej. Niemniej, jak zapewnia producent, sama architektura jądra układu przewiduje możliwość pracy w trybie SMP (Symetric MultiProcessing).

Opcja ta dostępna będzie najprawdopodobniej jedynie w bazującym na jądrze Willamette'a następcy dzisiejszego Xeona.

## Jak to wszystko działa?

Widzowie zgromadzeni na warszawskim pokazie mieli okazję obejrzeć serię programów demonstrujących możliwości procesora Pentium 4. Inżynierowie z Intel'a przedstawili też wstępne wyniki benchmarków. Pokazywane animacje 3D, które zoptymalizowane zostały pod kątem nowego zestawu instrukcji SSE2, działały naprawdę szybko, i to niezależnie od liczby wyświetlanych na ekranie wielokątów. Warto zauważyć, że całość generowanej sceny przeliczana była jedynie przez sam procesor bez wsparcia ze strony karty graficznej. Prezentery podkreślili też „potencjał internetowy” komputera. Nie chodzi tu oczywiście o szybkość pobierania stron (transmisji danych), ale o możliwość wykorzystania specjalnie zaprojektowanych apletów, wyświetlających w przeglądarce internetowej realistyczną grafikę 3D. Co ciekawe, dane przesyłane przez Sieć potrzebne do uzyskania np. animowanego widoku hotelu czy ożywienia wirtualnej modelki w przymerzalni w internetowym sklepie – zajmują zaledwie kilkanaście kilobajtów.

W stałoprzecinkowych testach syntetycznych (SPECint2000) szybkość działania nowego procesora jest o 35% większa niż osiągi jednogigahercowego Pentium III. W przypadku operacji zmiennoprzecinkowych (SPECfp2000) różnica ta zwiększa się do 85%. Jak widać, otrzymane rezultaty są znacznie lepsze, niż wynikałoby to z samego porównania częstotliwości zegara. Powyższe pomiary przeprowadzone zostały dla zoptymalizowanego pod kątem wykorzystania instrukcji SSE2 kodu programu. W nieoptymalizowanych aplikacjach różnica pomiędzy oboma procesorami nie jest już tak wyraźna. Na przykład w grze Quake III Arena dysproporcja w prędkości działania obu procesorów nie przekracza 25%, a w 3Dmarku 2000 już tylko 15%.

## Seryjną produkcję czas zacząć

Pierwsze seryjne egzemplarze nowej jednostki centralnej Intel'a pokażą się w sprzedaży 20 listopada br. Będą one pracowały z częstotliwością 1,4 i 1,5 GHz. Cenę modelu 1,4 ustalono na 840 USD (przy zakupie partii 1000 sztuk), a za 1,5 GHz trzeba zapłacić aż 990 USD. Pentium 4 wytwarzany będzie początkowo w technologii 0,18 mikrona. Następne wersje Willamette'a będą już miały ścieżki o szerokości zaledwie 0,13 mikrometra. Producent zapowiada też, że wkrótce pojawią się wersje P4 o znacznie szybszym niż 1,5-gigahercowy zegarze. Otwarte pozostaje natomiast pytanie – kiedy Willamette będzie na tyle tani, aby mógł zagościć na stałe w naszych domowych pecetach?

Marcin Bieńkowski