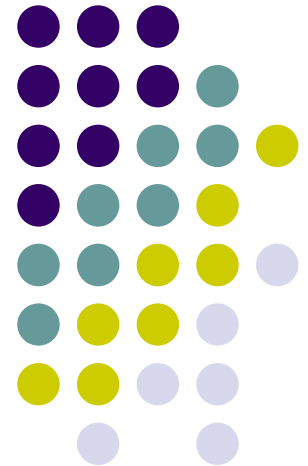


Procesory Intel Pentium

1997-2006



Pentium II



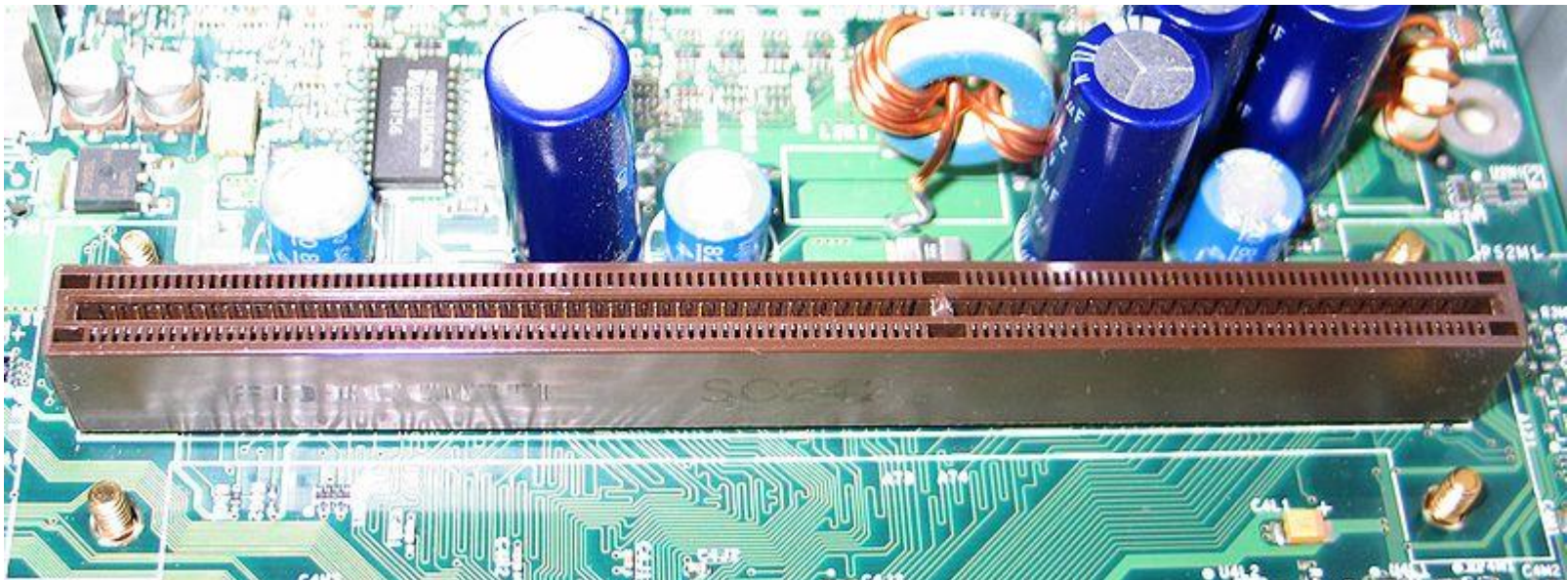
- Uveden na trh koncem roku **1997**
- Koncepce Pentia II vychází z **Pentia Pro**
- Obsahuje **7,5 milionů tranzistorů** (jádro bez cache)
- Napájecí napětí kleslo postupně na **2V**
- Výrobní technologie **0,35 mikrometru** (tj. šířka tranzistoru)
- **L1 Cache 32 kB** (16 kB program + 16 kB data)
- **L2 Cache 512 kB** , ale pouze s **poloviční rychlostí** oproti L1
- Single Edge Contact cartridge (S.E.C.) - nová montážní technologie, jež nahrazuje starší technologii Pin Grid Array (PGA).
- Součásti jsou upevněny na podložku a poté zcela uzavřeny do plastového a kovového krytu, který tvoří vlastní tělo procesoru
- Pentium II se vyrábělo postupně na pracovní frekvenci 233, 266, 300, 333, 350, 400 a 450MHz
- **Vnější sběrnice** (tj. styk procesoru s okolím) běží jen na **66 MHz**



Slot1



- Procesory Pentium II v provedení S.E.C. se připojovali k základní desce přes konektor **Slot1**, který má 242 kontaktů (to je méně než předchozí procesor Pentium Pro)
- Slot 1 vzhledem připomínal konektor sběrnice PCI
- Procesor tedy nebyl na základní desce „naležato“, ale stál na boku





Intel Pentium II

- **Superpipelining**

- 12-stupňová pipeline (oproti 6 stupňové pipeline u prvního Pentia)
- Pipelining je vlastně 14-stupňový, ale načtení a dekódování strojového kódu do něj teď Intel nepočítá, aby mohl udávat jiné číslo než u Pentia PRO
- Pipelining je podobný jako na Pentiu PRO jen je jinak nazvaný, aby to vypadlo jako „pokrok“

- **Dynamic Execution Technology**

- V podstatě pouze nový název pro to, co už umělo PentiumPro
- umožňuje spouštění instrukcí "mimo pořadí,,
- během jediného hodinového cyklu mohou být dekódovány až tři instrukce
- **dekódované instrukce** jsou uloženy do **vyrovnávací paměti**, která je schopna uchovávat až **40 mikoinstrukcí** najednou
- instrukce z bufferu jsou spouštěny ve chvíli, kdy jsou dostupné jejich operandy – nezáleží na jejich původním pořadí v jakém jsou uvedeny v programu
- V průběhu **jediného hodinového taktu** mohou být dokončeny až **čtyři instrukce**
- U Pentia PRO Intel uváděl tři instrukce v jednom taktu, ale ve skutečnosti je to opět stejné – 3 celočíselné operace může dokončit ALU + 1 operace FPU
- **Intel se snaží aby procesor vypadal jinak než Pentium PRO (jiné pouzdro) a uvádí u něj záměrně jiné názvy pro již existující technologie a záměrně počítá jinak počet stupňů pipeliningu i počet instrukcí dokončených souběžně – stále je to ale v podstatě Pentium PRO**

Pentium II

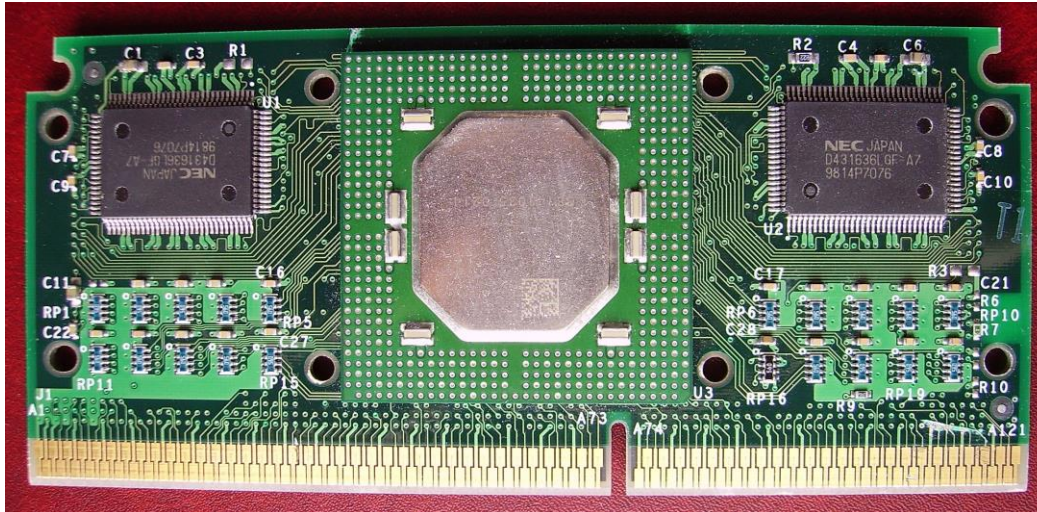


- Počínaje procesorem **Pentium II** je další orientace v jednotlivých procesorech poněkud **složitější**.
- Do této doby představoval každý další vyvinutý procesor změnu architektury a nová vylepšení oproti procesoru předchozímu
- Nyní Intel uvádí na trh paralelně několik různých variant procesorů s různou nebo stejnou architekturou jádra a pozdější typy nemusí nutně být výkonnější než ty předchozí
- Procesory patřící do řady **Pentium II** se tak od sebe mohou vzájemně značně lišit podle konkrétní podoby a technologie výroby jejich jádra
- Pro jejich identifikaci pak výrobce zavádí **zvláštní pojmenování**
- Původní Pentium II dostalo označení **Klamath**
- Další modely mají jména **Tonga, Deschutes, Dixon, Xeon, Celeron, Mendocino.....**
- Orientovat se ve všech modelech všech řad Pentii a znát všechny jejich rozdíly **není prakticky možné**



Intel Pentium II (Deschutes)

- **Klamath** - Jádro klasického **Pentia II** mělo několik nevýhod
 - vnější sběrnice jen na **66MHz** (tzn. že se základní deskou počítače komunikuje pouze 66 milionkrát za sekundu)
 - výrobní technologii **0,35 mikronu**, kvůli které nemohlo pro velký výkon tepla dosáhnout vyšších frekvencí.
- V roce **1998** vyvinuto nové modernější jádro
- Nové jádro **Deschutes** přešlo na výrobní technologii **0,25 mikrometru** (250 nanometrů)
- **Cache L2** je nyní integrována přímo v jádře (tedy již ne 2 čipy v jednom společném pouzdře, ale jediný superčip)
- Rychlost **vnější sběrnice** zvýšena na **100 MHz**
- Pracovní frekvence vzrostly na **350 až 450MHz**.



Klamath



Deschutes

Pentium Mobile



- V roce 1997 si Intel uvědomuje potřebu snížení příkonu při zachování výkonu procesoru vhodného pro **notebooky**
- Procesory s kódovým označením **Tonga** (rok 1997) a **Dixon** (rok 1999) mají napájecí napětí pouze **1,6 V**
- Tyto procesory mají také jiný tvar a nezasouvají se na motherboard do rozhraní **Slot1** (v notebooku z prostorových důvodů nepoužitelný), ale mají jiné rozložení vývodů a patici **MMC** a **miniCartridge**
- Výkon procesorů je srovnatelný s běžnými „nemobilními“ typy
- Cena procesorů je ale výrazně vyšší
- Procesor má vynikající poměr výpočetní výkon / spotřeba energie





Intel Celeron

- V dubnu **1998** představena levnější verze Pentia II pod názvem **Intel Celeron**
- Tyto procesory **nemají** integrovanou paměť **L2 cache**, čímž ztrácejí na výkonu (mají pouze malou **L1 cache** 32 kB)
- **Celeron** je nabízen na prac. frekvenci **333MHz až 500MHz**
- Procesor se velmi dobře prodával (oproti plnohodnotnému Pentiu II byl až **o polovinu levnější**, ale bohužel také odpovídajícím způsobem **pomalejší**)
- Vyráběl se také **Celeron A (Mendocino)**, který disponuje L2 pamětí o kapacitě 128kB (tj. pouze 1/4 oproti Pentium II), ale běží na plné pracovní frekvenci mikroprocesoru na rozdíl od L2 Pentia II, které pracuje na poloviční rychlosti
- Označení **Celeron** pak Intel používá i při označování dalších generací procesorů Pentium – Samotný pojem Celeron nemá význam, pokud neuvedeme přesně, o jaké jádro se jedná



Pentium II Xeon

- Nejluxusnější a nejdražší model Pentia II
 - Určen pro výkonné **serverové stanice**
 - Vnější sběrnice běží na 100 MHz
 - Volitelná kapacita L2 paměti - 512 kB, 1024 kB nebo až 2048 kB
 - L2 Cache paměť běžela na plné frekvenci jádra procesoru (ty byly 400 a 450MHz) – tedy L2 cache je stejně rychlá jako L1
 - Vývody procesoru pro **Slot2**
-
- Obchodní značka **Xeon** se ujala a byla používána i u dalších řad Pentii (Pentium III, Pentium IV) pro označení nejdražších typů

Pentium II Xeon



Intel Pentium III



- Uvedeno na trh v květnu **1999**
- 70 nových instrukcí **SSE** (Streaming SIMD Extensions)
- Procesor je velmi podobný **Pentiu II** (a tím pádem i Pentiu Pro)
- **Pipelining je zde desetistupňový**
- Pracovní frekvence plynule navázaly na Pentium II, takže k dispozici bylo **450 až 600MHz**
- Na čipu **9,5 milionů tranzistorů** (+ samozřejmě další miliony tranzistorů tvořící strukturu Cache pamětí)
- **FSB** (Front Side Bus) neboli vnější sběrnice na **100** nebo **133 MHz**
- Čip obsahoval sériové číslo, které teoreticky umožňovalo jednoznačnou identifikaci daného počítače
- **L1-Cache:** 32 kB = 16 + 16 kB (data + instrukce)
- **L2-Cache:** 512 kB
- Technologie **0,25 mikrometrů** (původní jádro **Katmai**)
- Takt: 450 – 600 MHz
 - 100 MHz FSB: 450, 500, 550, 600 MHz
 - 133 MHz FSB: 533, 600 MHz

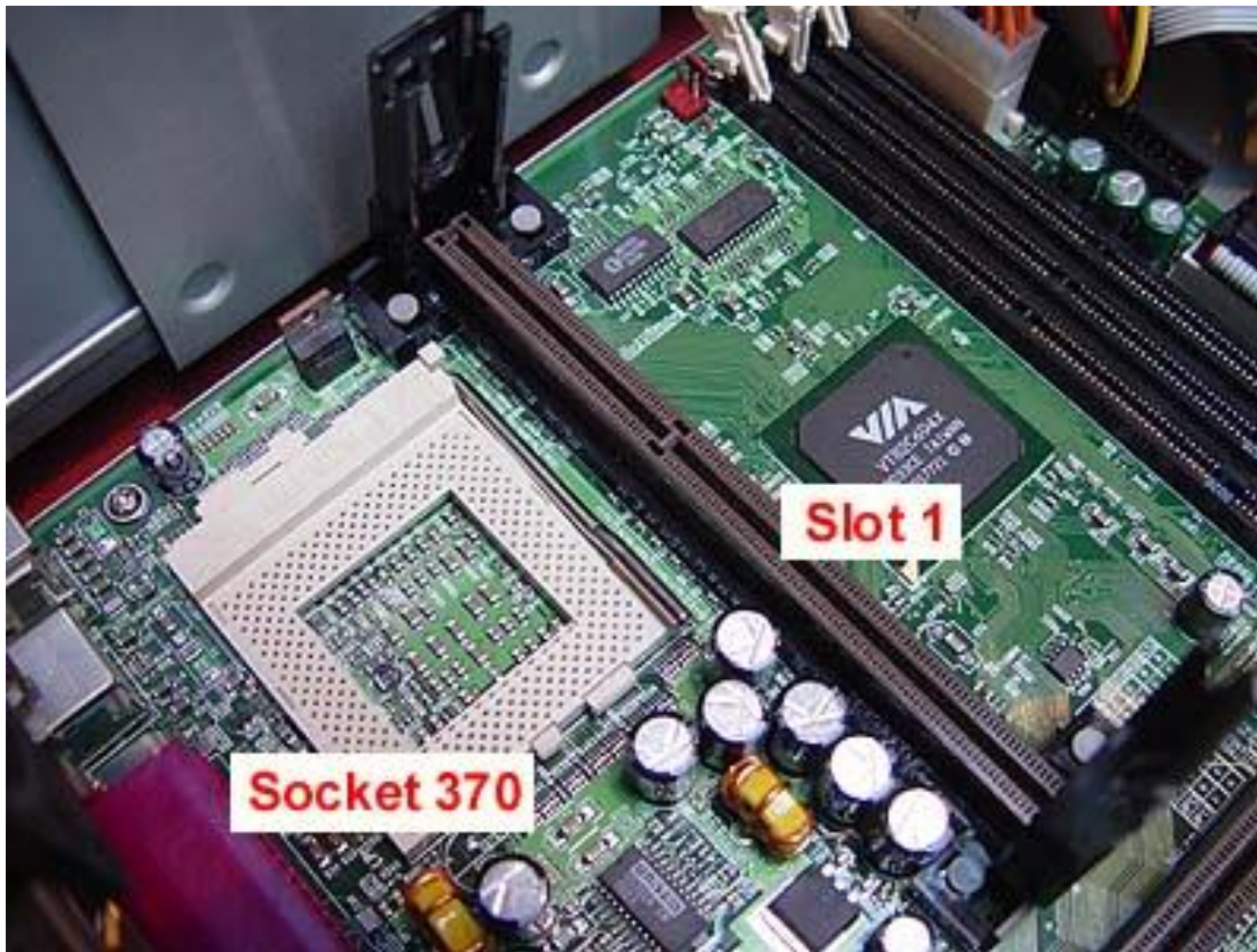
Pentium III Coppermine



- Rok **1999**
- **Coppermine** (technologie **0.18 μm**)
- L1-Cache: 16 + 16 kB (data + instrukce)
- L2-Cache: 256 kB - plná rychlost
- Slot 1 nebo nově Socket 370 (FC-PGA)
- **FSB**: 100, 133 MHz
- Napájecí napětí: 1.6V , 1.65, 1.70 v, 1.75 V (modely s vyšší taktovací frekvencí musely mít i vyšší napájecí napětí)
- Takt: **550 – 1133 MHz**
 - 100 MHz FSB – takt 550, 600, 650, 700, 750, 800, 850, 900, 1000, 1100 MHz (E-Models)
 - 133 MHz FSB – takt 533, 600, 667, 733, 800, 866, 933, 1000, 1133 MHz (EB-Models)

Okolo roku 2000 se s procesory Pentium III – Coppermine firmě Intel podařilo překonat hranici taktovací frekvence 1 GHz

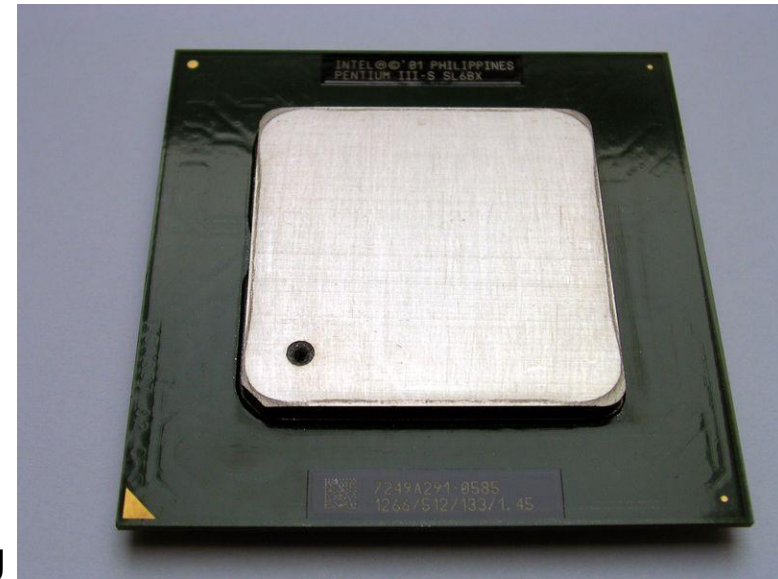
Tato základní deska umožňuje pracovat s Pentiem III s vývody ve variantě **Slot 1** i **Socket 370**



Pentium III

Tualatin

- Rok **2001**
- **Tualatin** (technologie **0.13 μm**)
- L1-Cache: 16 + 16 kB (data + instrukce)
- L2-Cache: 256 nebo 512 kB, plná rychlost CPU
- Slot1 již úplně nahrazen rozhraním **Socket 370** (FC-PGA2)
- **FSB**: 133 MHz
- Napájecí napětí: 1,45 V nebo 1,475 V (poprvé se dostáváme těsně pod 1,5 V)
- Všechny chipy Tualatin mají taktovací frekvenci přes 1 GHz
- Takt: 1000 – 1400 MHz
 - Pentium III (256 kB L2-Cache): 1000, 1133, 1200, 1333 MHz
 - Pentium III-S (512 kB L2-Cache): 1133, 1266, 1400 MHz



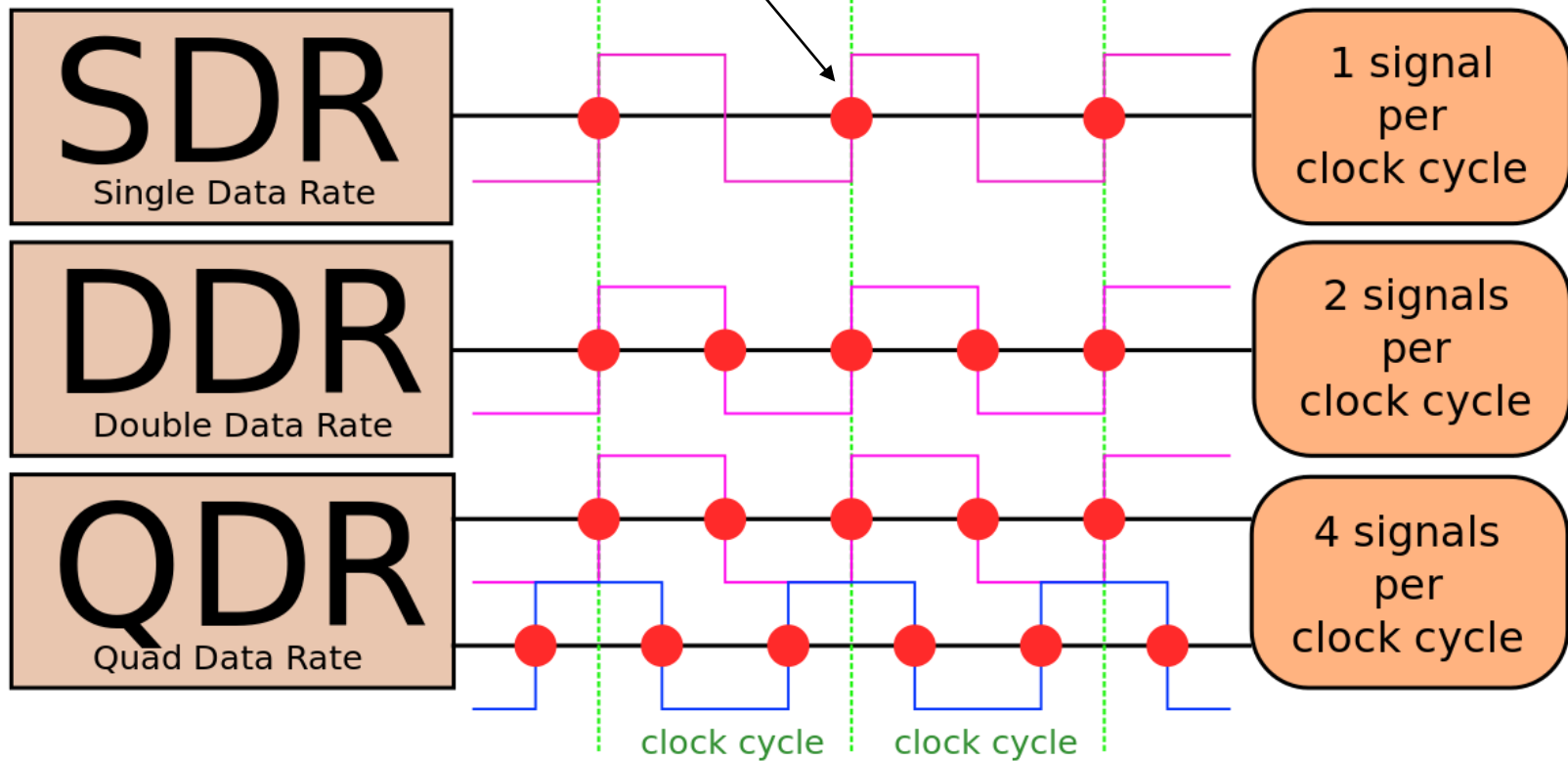


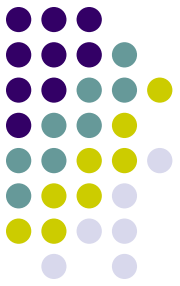
Intel Pentium IV

- Procesor **7. generace** řady x86
- Na trh uveden v listopadu **2000**, běžně se používá od roku **2001**
- Jde o kompletně nově **přepřacovaný procesor**, který svou architekturou **nenavazuje** na své předchůdce (Pentium PRO, Pentium II a Pentium III)
- Mikroarchitektura **NetBurst**
- Nová sada instrukcí **SSE2**
- Sběrnice **FSB** běžela na frekvenci **100MHz**, díky technologii **Quadruple data rate** (čtyřnásobná propustnost) však efektivně dosahovala rychlosti **400MHz**
- 3,2 GB/s přenosová rychlost mezi procesorem Pentium 4 a řadičem paměti (Systémová sběrnice běží na 400 MHz a má šířku 128 bitů)
- Aby se projeвили výhody **NetBurst** architektury musel být strojový kód pečlivě optimalizován (instrukce vhodně přeskupeny a seřazeny, aby procesor mohl pracovat naplno). Pentium 4 tak zavádělo novou **sadu pravidel pro optimalizaci** a vývojáři softwaru ho neměli rádi
- Například, v matematických aplikacích mnohem níže taktovaný procesor od **AMD** snadno porazil **Pentium 4**, které se mu dokázalo vyrovnat jen pokud byl software speciálně zkompilovaný s **optimalizací pro SSE2**
- **V některých případech (mnoho větvení v programu) pracovalo Pentium4 dokonce pomaleji než Pentium3 na stejné frekvenci**

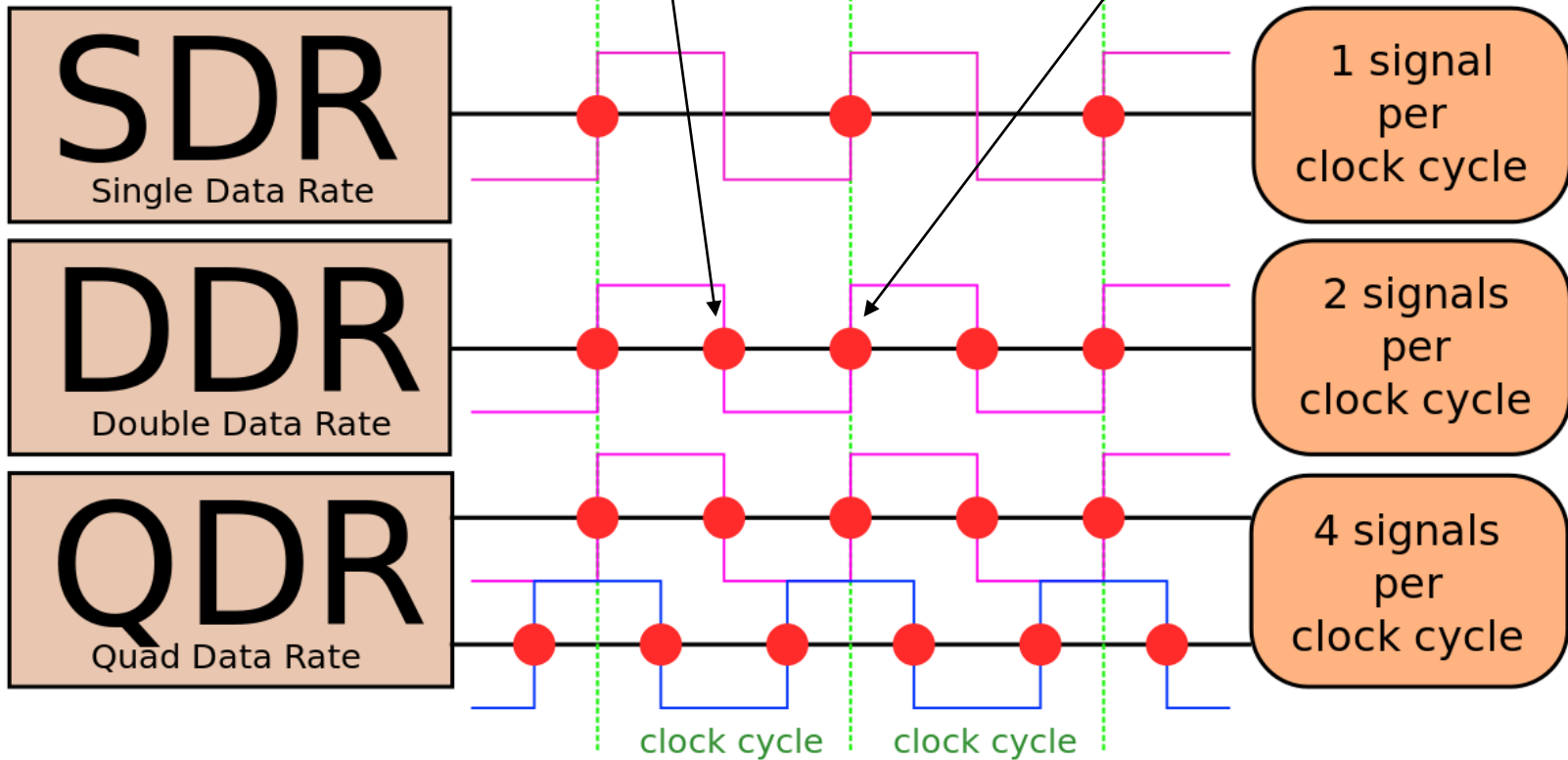


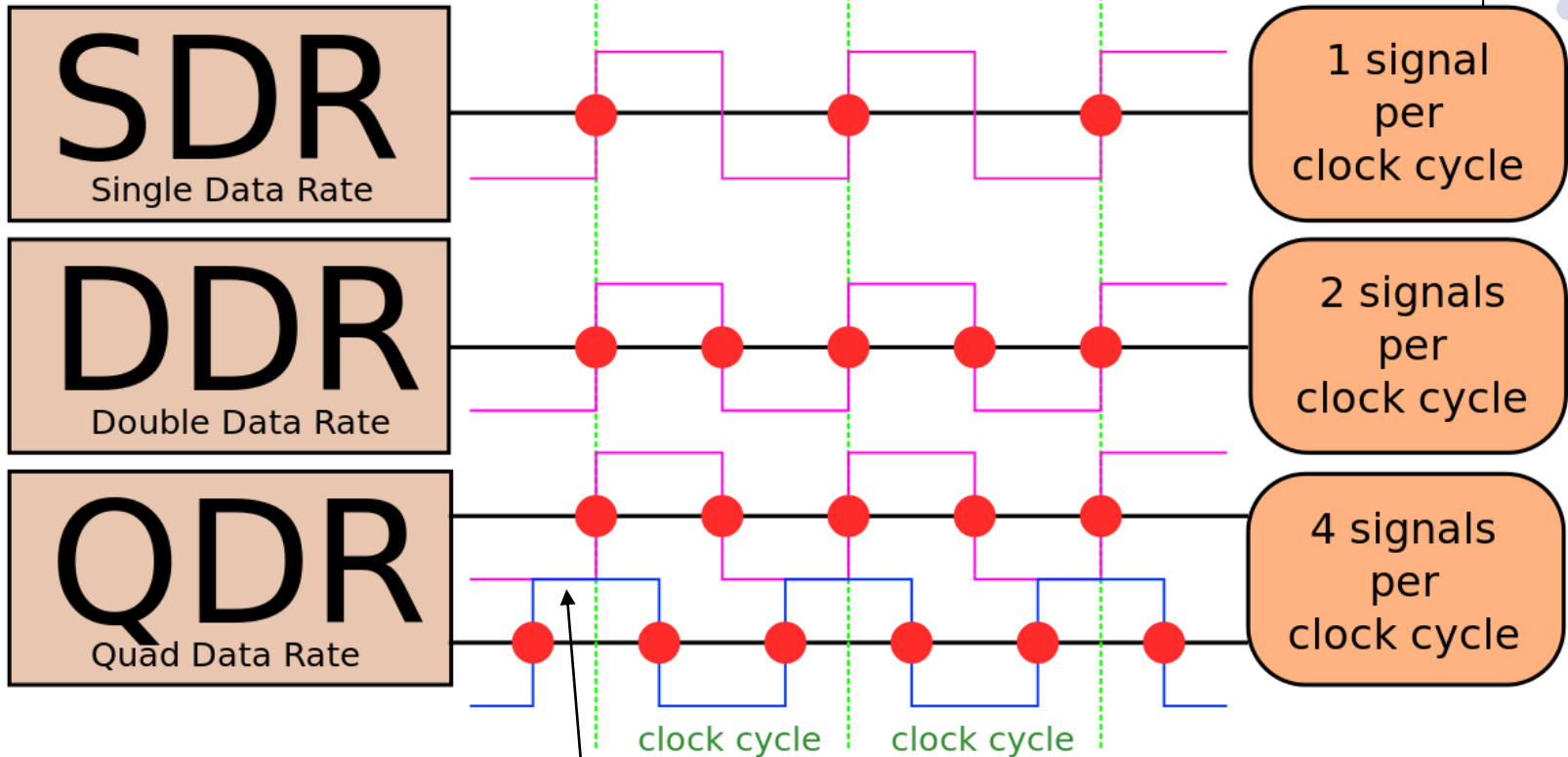
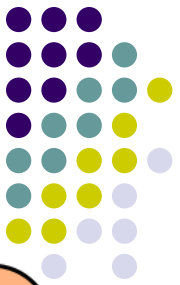
Platná data se přečtou při vzestupné
hraně hodinového signálu





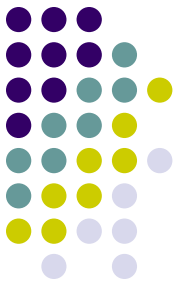
Platná data se přečtou při vzestupné i sestupné hraně hodinového signálu





Data se přenáší způsobem DDR po dvou linkách, na každé z nich se použijí jiné hodiny, jejichž tikání je o půl taktu posunuté

NetBurst



- Hloubka pipeliningu prodloužena do **dvaceti** úrovní, čímž se značně zvýšily frekvenční možnosti procesoru
- Dvacetistupňový pipelining je extrém, který se později ukázal jako slepá cesta
- Rozdělit provádění každé instrukce na 20 fází je již v podstatě nesmyslné a nepřináší to žádný efekt
- Rozdělit všechny instrukce na 20 jednoduchých stejně krátkých kroků je téměř nemožné. Některé instrukce mají v některých krocích „jalovou fázi“
- Myšlenka tedy byla takováto: Čím více stupňů má pipelining, tím vyšší může být taktovací frekvence procesoru, protože fáze, na které se rozdělilo provádění instrukce jsou extrémně krátké
- Jednotlivé fáze jsou velmi jednoduché, ale k vykonání jedné instrukce jich musí proběhnout 20
- Instrukce je hotová až ve dvacátém taktu, mezitím se musí rozpracovat 19 dalších instrukcí....
- ...a v tom je právě problém - mezi následujícími 19 instrukcemi může být velmi pravděpodobně podmíněný skok nebo dokonce dva podmíněné skoky a nastavit může i Load-use-delay.
- Navíc tři takové 20-stupňové pipeliningy jedou paralelně vedle sebe – procesor je **superskalární**
- Než jsou dokončeny naráz první tři instrukce, musí být rozpracováno 57 dalších instrukcí (3x19), aniž bychom dopředu věděli, jak se bude program větvit nebo cyklit

Pentium IV



- Některé verze umožňují **hyperthreading** - tzn. tvářit se jako dva procesory a zpracovávat **dvě vlákna** (dva nezávislé toky instrukcí)
- Různé komponenty v procesoru běží na různé pracovní frekvenci (je použito více různých vnitřních taktovacích frekvencí)
- **SSE2** rozšiřuje technologie MMX a SSE přidáním 144 nových instrukcí, včetně 128-bitových SIMD instrukcí s pohyblivou desetinnou čárkou o **dvojnásobné přesnosti**
- **Execution Trace Cache** - 12KB paměť cache, která uchovává předdekódované mikrooperace (opakovaně vykonávané části programu, přeložené do RISC mikrokódu) – někdy se také označuje jako L0 Cache

Problematika měření výkonu procesoru

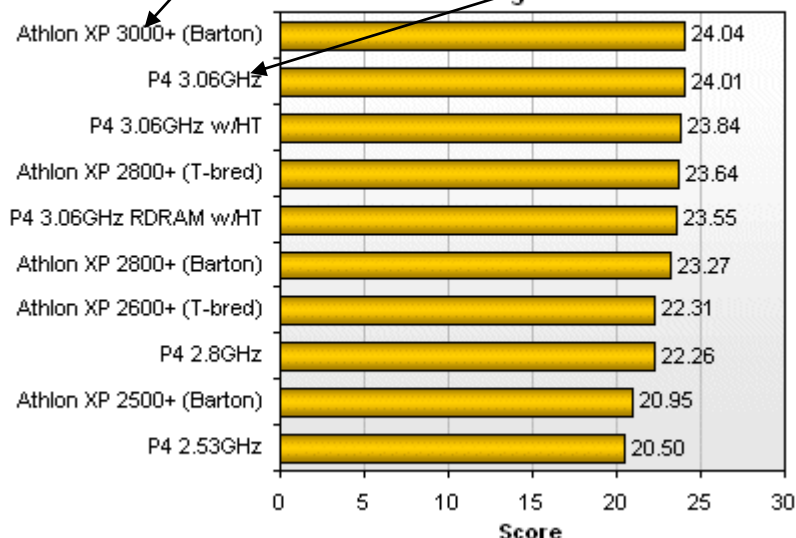


- S příchodem Pentia 4 se více než kdy před tím musel řešit problém vzájemného porovnávání výkonu procesorů
- Nejjednodušším (ale úplně špatným) měřítkem výkonnosti je počet instrukcí, které dokáže procesor vykonat za sekundu
- Možným měřítkem je také počet instrukcí vykonaných za jeden hodinový takt (známe-li pak frekvenci procesoru lze přepočítat na průměrný počet instrukcí na sekundu)
- U moderních procesorů je ale počet vykonaných instrukcí za takt obtížně měřitelný a velmi závislý na typu aplikace (a její optimalizaci) – v každém taktu se podaří dokončit jiný počet instrukcí naráz
- Nejsnáze udavatelným parametrem procesoru je **frekvence**, na které běží
- Zde Pentium 4 vedlo na celé čáře oproti konkurenci a dalo se provozovat na velmi vysokých frekvencích (díky extrémnímu pipeliningu)
- Obchodní strategie: *Hloupý zákazník si bude myslet, že čím vyšší číslo je u procesoru uvedeno, tím to bude lepší*
- **AMD** nebylo schopno soupeřit na poli **frekvence**, ale přesto vedlo ve **výpočetním výkonu**
- Proto se zavedlo tzv. **PR**-značení procesorů, které udávalo výkon srovnatelného procesoru Pentium 4
- **PR = performance rating**
- Například **Athlon XP 3000+** má frekvenci pouze **2160 MHz**, ale výkon na úrovni **Pentia 4** na frekvenci **3000 MHz**

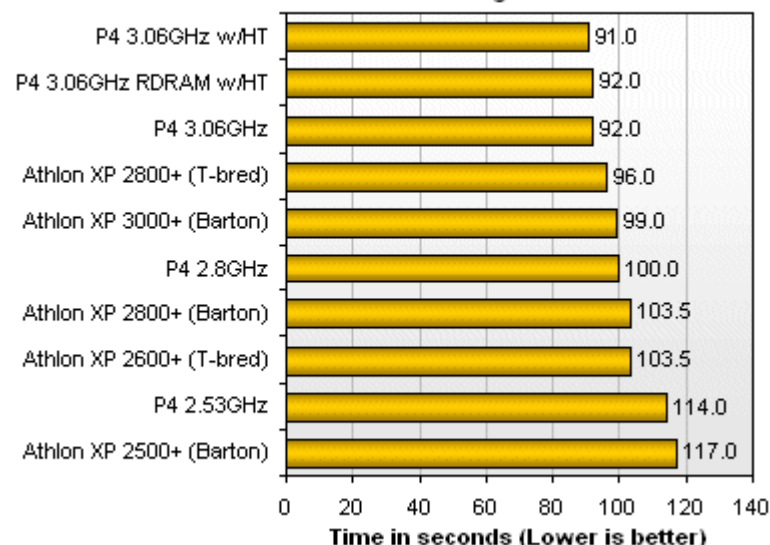
Athlon XP 3000+ má frekvenci jen 2,16 GHz



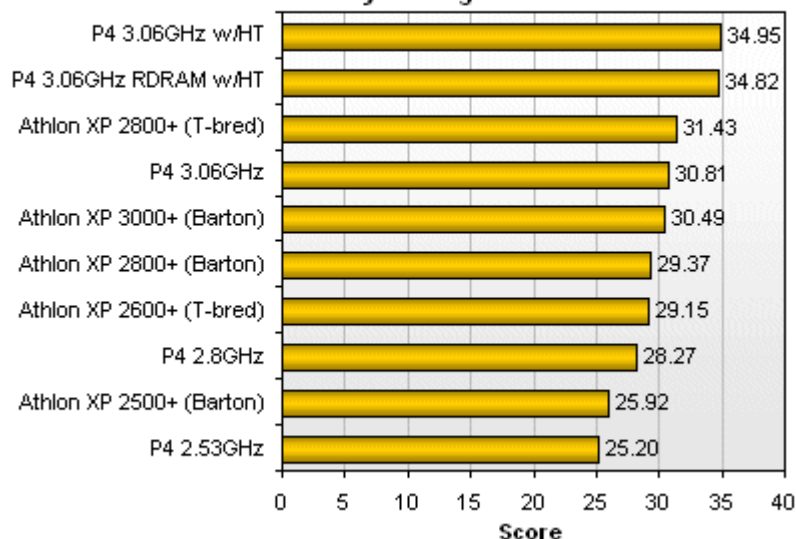
**Cinebench 2000
Cinema 4D shading**



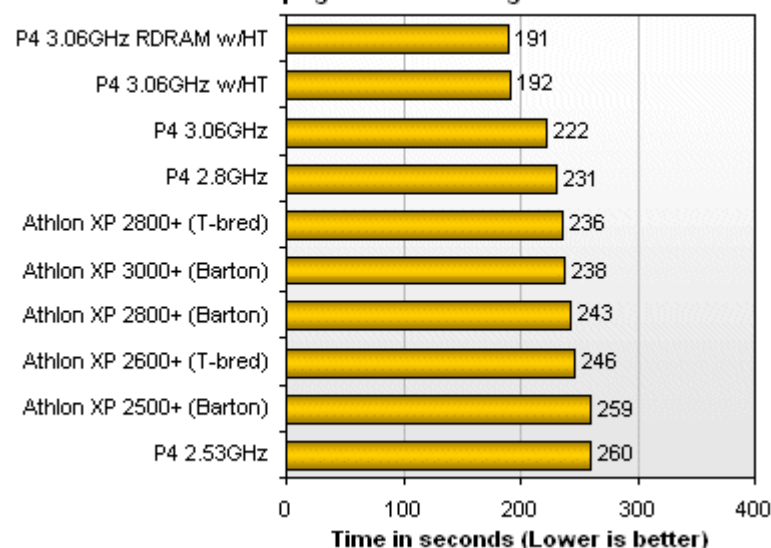
LAME MP3 encoding



**Cinebench 2000
Ray tracing**



Xmpeg DivX encoding

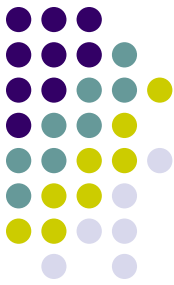




Pentium 4 - historie

- První generace byla vyráběna **180nm** technologií a používala jádro **Willamette**
- Hlavní nevýhodou CPU s tímto jádrem byla integrace **pouze 256 kB L2 cache**
- Intel pro tyto procesory vyvinul nový typ velmi rychlých pamětí **RIMM RDRAM** a domníval se tedy, že velká cache nebude dále nutná
- Později se tento krok ukázal chybným, kvůli **vysoké ceně pamětí RIMM RDRAM**
- **Druhá, nejdůležitější generace**, byla vyráběna **130nm** technologií a používala jádro **Northwood**
- Velikost **L2 cache** byla zdvojnásobena na **512kB**
- **Třetí generace** procesorů P4 je vyráběna **90nm** technologií, používá jádro **Prescott** a 800MHz FSB
- Velikost L2 cache je 1024kB, ale je výrazně pomalejší
- Výkon těchto procesorů může být proto někdy nižší než u frekvenčně shodných starších typů, postavených na jádru **Northwood** – v každém benchmarku to bude vycházet jinak

Pentium IV



- Varianty **Celeron** Jsou určeny hlavně tam, kde není potřeba vysoký výkon a kde je kladen důraz na poměr výpočetní výkon / cena
- Vznikají jako druhotný produkt plnokrevných Pentií a to tak, že je na čtvrtinu snížena velikost L2 cache a použita FSB pracující na frekvenci o jeden vývojový stupeň Pentia IV níže
- **Celerony D** s 256kB L2 a 533MHz FSB jsou odvozeniny jádra **Prescott**
- U těchto procesorů je někdy uváděno, že pipelining je 31-stupňový nebo dokonce 40-stupňový, ale jde spíš o čarování s čísly a pojmy (co ještě lze započítat jako fáze provádění instrukce a co ne a jaký časový interval lze považovat za jednu fázi, když hodiny v různých místech procesorů tikají různě)
- Z dnešního pohledu je celá architektura NetBurst omyl a byla nahrazena architekturou Intel Core
- Pentium 4 s jádrem Prescott a Celeron D je někdy řazeno mezi nejhorší procesory všech dob
 - <https://www.extremetech.com/computing/274650-the-worst-cpus-ever-made>
 - <https://forums.tomshardware.com/threads/top-5-worst-cpus-ever-in-my-opinion.3352254>



Hyperthreading

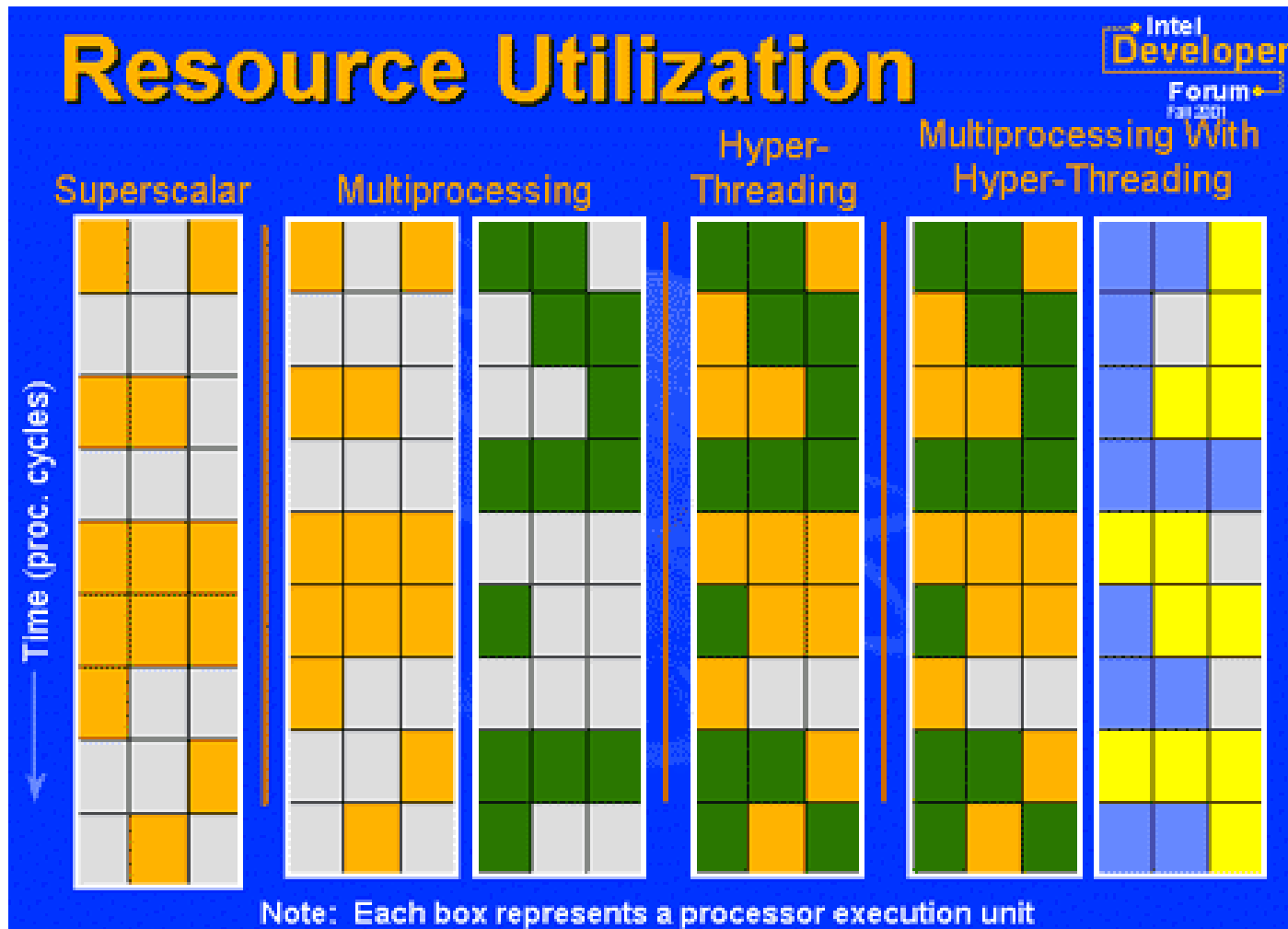
- Superskalární mikroprocesory mohou díky dynamické paralelizaci dokončit více instrukcí za jeden takt (...ale nemusí se podařit vždy)
- Mají více jednotek ALU a FPU
- Mezi instrukcemi jsou **datové závislosti** a tok instrukcí není dostatečně „**pestrý**“, aby šel rozložit rovnoměrně do všech jednotek (aby se v každém taktu našla trojice instrukcí, které lze vykonat současně)
- Efektivitu superskalárního procesoru může podstatně zvýšit tzv. hyperthreading
- **Hyperthreading = Jeden procesor zpracovává dvě vlákna** současně - chová se **skoro** jako dva procesory
- **thread** = vlákno, nit (posloupnost instrukcí)

Hyperthreading



- U běžného počítače s jedním mikroprocesorem se v jednom okamžiku provádí vždy pouze jedno **vlákno** - jedna nit - **jeden souvislý tok instrukcí**
- **Superskalární** procesor se snaží o **dynamickou paralelizaci** a pokouší se tyto sekvenčně seřazené instrukce provádět pokud možno paralelně (po dvou, po třech, po čtyřech... naráz)
- Instrukce **jednoho vlákna** jsou na sobě **závislé**, existují mezi nimi datové závislosti – a to brání dokonalé paralelizaci
- Instrukce **dvou vláken** jsou ale vzájemně **nezávislé**, jde o dva oddělené instrukční toky, dva nezávislé „programy“
- Pokud budou do superskalárního mikroprocesoru vstupovat instrukce dvou vláken, bude možné snáze hledat instrukce, kterou jsou proveditelné paralelně
- Procesor **s hyperthreadingem** je schopen provádět dva procesy (vlákna, instrukční toky) naráz aniž by mezi těmito procesy musel střídavě v čase **přepínat** kontext (viz multitasking)

- Vývojáři si položili otázku: **Jak využít pokud možno všechny tři jednotky současně ?**
- Inženýři Intelu vyšli z předpokladu, že jeden procesor by mohl bez větších problémů zpracovávat dvě programová vlákna současně



prezentuje každý
u, každá barva
tou jednotku



Hyperthreading

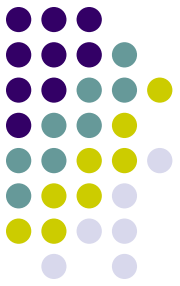
- Vlákna se nevytvoří sama – programátor musí rozdělit program na více souběžně vykonavatelných sledů instrukcí
- Existují výpočty, kdy je možné vytvořit takřka neomezeně na sobě **nezávislých vláken**
- Mezi takovéto výpočty se řadí především operace jako **komprimace** audia/video, luštění různých šifer hrubou silou, hledání výsledku zkoušením všech možných kombinací nebo jiné rozsáhlé výpočty, kde je možné problém rozložit na **nezávisle řešitelné podproblémy**
- Program rozložený na vlákna půjde mnohem lépe dynamicky paralelizovat – program vlastně rozkládáme na nezávislé části, ze kterých lze snadno brát paralelně proveditelné instrukce
- Bohužel ale také existují algoritmy, které nelze rozdělit na nezávislá paralelní vlákna (například program popisující cestu robota z bodu A do bodu B)

Hyperthreading x Multitasking



- Moderní operační systémy (Windows, Unix, Linux, Solaris...) jsou víceúlohové a umožňují **multitasking**
- Běží tedy **více programů** naráz – uživateli je vytvořena **iluze** současného běhu jejich rychlým přepínáním
- Na procesoru **bez hyperthreadingu** běží 1 milisekundu *PROGRAM1* a poté dochází k přepnutí na *PROGRAM2*, který poběží po dobu další 1 milisekundy
- Během milisekundy, kdy běžel *PROGRAM1* se stihlo zpracovat např. 1 000 000 instrukcí tohoto programu. Procesor by byl schopen vykonat za tuto časovou jednotku instrukcí ještě daleko více, ale **nepodařilo** se to, protože instrukce *PROGRAMU1* jsou mezi sebou datově **závislé** a **nelze** je libovolně **paralelně sdružovat**
- Kdyby nedocházelo k přepínání mezi oběma programy každou milisekundu, ale instrukce obou programů vstupovaly do mikroprocesoru současně, mohl by být jeho výkon vyšší, protože instrukce *PROGRAMU1* je zpracovatelná **paralelně s libovolnou** instrukcí *PROGRAMU2* – jsou totiž **nezávislé**
- To je ovšem možné pouze pokud mikroprocesor přizpůsobíme pro přísun instrukcí patřících různým vláknům – zejména je nutné vyřešit, aby každé vlákno mělo svou vlastní sadu registrů a procesor musí umět pracovat se dvěma kódovými segmenty současně
- Na mikroprocesoru **s hyperthreadingem** není potřeba mezi *PROGRAMEM1* a *PROGRAMEM2* přepínat. Oba programy běží doopravdy současně
- Díky tomu, že do mikroprocesoru vstupují instrukce *PROGRAMU1* i *PROGRAMU2*, lze snadněji najít instrukce, které lze **sdružit k paralelnímu zpracování**. Mikroprocesor nyní vykoná např. 1500000 instrukcí za milisekundu (o 50 % procent víc, než když se programy střídaly a vždy běžel pouze jeden z nich)

Hyperthreading



- Operační systém zašle procesoru **dvě vlákna**, ty jsou dekodována a příslušné výpočetní jednotky obdrží instrukce (mikroOps)
- Také ale obdrží informaci o tom, ke **kterému vláknu** tyto instrukce patří
- Výpočetní jednotka podle této informace začne pracovat s jednou nebo druhou **sadou registrů**
- **Každému vláknu procesor předstírá jeho vlastní registry**
- Například v registru EAX vidí tedy každé vlákno jinou hodnotu



Nevýhoda hyperthreadingu

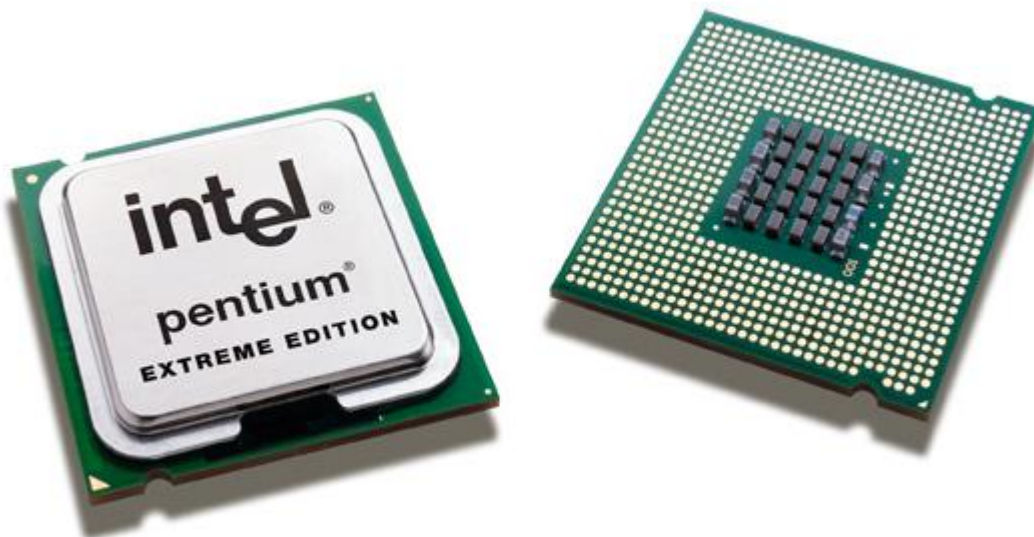
- V případě, kdy je procesoru s hyperthreadingem zadána úloha v podobě dvou vláken, kdy každé musí využívat **stejný sdílený prostředek** (např. stejný úsek paměti, stejný soubor, stejný výstup), dojde ke konfliktu
- Vlákna pak **nelze** provádět **paralelně**, ale musí se v čase střídat, což nejenom že výpočet vůbec nezrychlí, navíc to s sebou nese další režijní náklady v podobě obhospodařování dvou vláken a jejich střídání v čase
- Tedy ne vždy se vyplatí rozložit program na více vláken – nevyplatí se to, když obě vlákna musí „něco“ sdílet
- Vlákna by měla být zcela nezávislá a neměla by nic sdílet, jinak se navzájem blokují
- **Závěr: Do budoucna je nutné změnit techniku programování tak, aby nová generace softwaru využívala více vláken (velmi důležité pro následné vícejádrové procesory)**

Pentium XE 840



- Rok 2005 a Intel hlásá: „Dual Core Era Begins“ (éra dvou jader začíná)
- **Dvoujádrový** procesor se navenek tváří a chová jako **dva nezávislé procesory**
- Zjednodušeně se dá prohlásit, že **dvoujádrový** procesor na 3,2 GHz běží jako dva procesory, každý na 3,2 GHz
- frekvence procesoru udává jeho **rychlost**, nikoli však **výkonnost**. Tu tvoří mnoho dalších parametrů a faktorů
- Dvoujádrový procesor může (ale nemusí a obvykle nemá) mít výkon jako dva procesory.
- Aplikace (a operační systém) musí umět využít toho, že má skutečně dva procesory k dispozici.
- Pokud toho nevyužije, nárůst výkonu se nekoná a dokonce může výkon i klesnout.
- První dvoujádrové mikroprocesory se Intel pokouší stavět na bázi Pentia IV a architektury Netburst
- Koncepce Pentia 4 se ukázala jako **nevýhodná** pro konstrukci **vícejádrových** procesorů, protože je extrémně **energeticky náročná** a vznikají problémy s **odvodem tepla**

Pentium Extreme 840



- Jádro **Smithfield**, dvě jádra v jednom mikroprocesoru
- Architektura **Netburst**
- Frekvence **3,2 GHz**
- L1-Cache 2x16 kB, L2-Cache **2x1 MB**
- Rychlost vnější sběrnice **800 MHz**
- Technologie **90 nm**
- **230 milionů** tranzistorů
- Příkon **130 W**
- Napájení **1,25 V**
- **Hyperthreading** na každém z jader – celkem lze tedy zpracovávat **4 vlákna** současně



Pentium D

- Je posledním procesorem s architekturou **NetBurst**
 - Jde o nástupce **Pentia IV**
 - **Dvě jádra**
 - Podporuje hyperthreading (většina variant)
 - Frekvence stoupla na **3,5 GHz** při příkonu **140 W**
 - Lze přetaktovat nad **4 GHz**, ale **zahřívání** je extrémní
-
- Jádro se nazývá **Presler**
 - Technologie **65 nm**
 - **376 milionů** tranzistorů
 - L2-Cache **(2x)2 MB**
 - Vnější sběrnice **800 MHz**
-
- Vyrábí se i odlehčená verze **Celeron D** s L2-Cache s kapacitou pouze **512 kB** a frekvencí vnější sběrnice **533 MHz**

Poslední procesory Pentium



Procesor	Modely	Konec
Celeron D	350, 345, 310	září 2006
Pentium 4 XE	3,73 GHz	říjen 2006
Pentium D	940, 930, 840, 830	
Pentium XE	840	
Pentium 4	524	prosinec 2006
Pentium D	805	
Pentium XE	955, 965	leden 2007
Pentium 4	670, 660, 650	únor 2007
Celeron D	340, 330, 325, 320, 315	2007



Další vývoj procesorů Intel

- Při vývoji **Pentia 4** Intel prohlásil, že postupně očekává u architektury NetBurst zvyšování **frekvence** až na **10 GHz**
- Ve skutečnosti Pentium 4 dosáhlo frekvence **4 GHz**
- Intel nepočítal s extrémním vzrůstem **příkonu** a **zahřívání**, který se objevil u posledních čipů s 90nm technologií
- Vznikl velký problém s **chlazením** procesoru
- Problém zůstal zatím **nevyřešen** a tak Intel uznal nesmyslnost umělého zvyšování frekvence **mnohastupňovým pipeliningem** a musel se vydat jinudy
- V roce 2006 se přesunul k úsporné technologii **Pentia M**
- V březnu 2006 Intel ohlásil architekturu **Intel Core**, která věnuje větší pozornost spotřebě energie a výpočetnímu výkonu na jeden takt
- Tato architektura už kompletně nahradila Pentium 4 ve všech sférách
- Ve zpětném pohledu se Pentium 4 a jeho architektura NetBurst jeví jako slepá cesta a pokus o podvod se **zvyšováním frekvence bez efektu**



Stručná rekapitulace Pentii

- Intel používal označení **Pentium** pro své procesory v letech **1993 až 2006**
- V lednu roku 2006 padlo rozhodnutí **opustit** značku **Pentium** (ale později se k ní opět vrátil)
- procesor Pentium se měl původně jmenovat **i586**, ale čísla nelze registrovat jako ochrannou známku, takže nakonec Intel přišel se svým Pentiem
- První procesory Pentium měly frekvence **60 a 66 MHz** a obsahovaly 3,1 milionu tranzistorů

První Pentia obsahovala chybu, která způsobovala v jistých situacích špatné výsledky při výpočtech dělení s reálnými čísly. Z té doby také pochází vtip, že "Pentia jsou oproti 486 tak rychlá proto, že výsledky výpočtů odhadují, zatímco 486tka počítá". Firmu stála tato vadná série 450 milionů dolarů, když svým zákazníkům musela špatné kusy vyměnit

- Druhou generací nebylo **Pentium 2**, ale **Pentium Pro** z roku 1995 (150 až 200 MHz)
- V roce 1996 následuje **Pentium MMX**
- V roce 1997 přichází **Pentium II** a později jeho vylepšené verze (Deschutes, Xeon) a odlehčená verze (Celeron)
- **Pentium III** v roce 2000 překonává hranici **1 GHz**



Stručná rekapitulace Pentii

- V roce 2001 přichází architektura NetBurst, na které je postaveno **Pentium 4** a **Pentium D** (třetí generace Pentii, sedmá generace procesorů x86)
- Frekvence se zvyšovala z **1,4 GHz** na cca **4 GHz**
- Objevilo se zpracování více vláken současně - **hyperthreading**
- Po architektuře **NetBurst** přichází nová koncepce **Intel Core**
- Trend dále směřoval k vývoji **dvoujádrových procesorů**

Kontrolní otázky



- Který mikroprocesor firmy Intel jako první překonal frekvenci 1 GHz ? – **Pentium III Coppermine**
- Na jaké taktovací frekvenci pracovaly nejvýkonnější modely procesorů Pentium IV ? – **až 4 GHz**
- Jak dále vzrostla taktovací frekvence mikroprocesorů od Pentia IV do dnešní doby? – **prakticky zůstává stejná**
- V čem se liší Pentium II od Pentia Pro? – **je velmi podobné, ale má jinou sběrnici (SEC)**
- Proč je dvacetistupňový pipelining neefektivní? – **některé jednoduché instrukce je nutné rozkládat na zbytečně moc taktů, extrémní množství rozpracovaných instrukcí**
- **Navrhněte dvouvláknový algoritmus pro seřazení prvků pole – merge sort**
- Jak se lišily první modely Celeron od plnohodnotných mikroprocesorů? – **měly sníženou rychlost a velikost cache, nemá L2 cache, první u Pentia 2**
- Co znamená u mikroprocesoru AMD označení 2800+ ? – **performance rating, rychlost (frekvenci), který procesor má na úrovni konkurence**
- Proč může hyperthreading zvýšit efektivitu práce superskalárního mikroprocesoru? – **procesor může lépe hledat více instrukcí, které může provést současně**
- Proč je architektura Netburst nevhodná pro vícejádrové mikroprocesory? – **velmi velký pipelining a zbytečné navyšování frekvence**
- **Uveďte příklad algoritmů, které se dají snadno rozložit na nezávislá vlákna a pokuste se vysvětlit, jak se to provede – merge sort**
- U kterého mikroprocesoru se poprvé objevuje BTB a proč? – **Pentium 1, snaží se předpovídat další činnost programu za podmíněným skokem**
- U kterého mikroprocesoru bylo poprvé možné vykonat sčítání se saturací? – **Pentium MMX**
- U kterého mikroprocesoru se objevuje TLB a proč? – **80386, zrychluje přístup do posledních použitých stránek**
- U kterého mikroprocesoru se poprvé objevuje integrovaná cache paměť, k čemu slouží, jakou má kapacitu a jaký typ paměťové buňky? **80486, 8KB, SRAM**
- Který mikroprocesor je považován za pátou, který za šestou a který za sedmou generací procesorů řady x86 pro počítače PC? – **Pentium 1, Pentium Pro, Pentium 4**
- Vyjmenujte alespoň 5 dalších rozdílů mezi CISC a RISC filozofií fungování mikroprocesorů kromě šířky instrukční sady – **RISC podporuje pipelining, RISC je jednodušší, RISC mají méně tranzistorů, RISC se navrhuje menší dobu, RISC mají nižší cenu, RISC mají nižší spotřebu, RISC se méně zahřívají, RISC mají větší frekvenci**



- Která z uvedených tvrzení jsou pravdivá:
 - **Hyperthreading je možný pouze na superskalárních mikroprocesorech**
 - Hyperthreading je možný pouze na vícejádrových mikroprocesorech
 - Každý superskalární mikroprocesor umožňuje hyperthreading
 - **VLIW procesory jsou superskalární**
 - VLIW procesory provádějí dynamickou paralelizaci
 - **Superskalární procesory Pentium provádějí dynamickou paralelizaci**
 - **MMX instrukce je příkladem statické paralelizace**
 - SSE instrukce je příkladem dynamické paralelizace
 - **Nejdelší pipeline používá architektura Netburst**
 - Superskalární mikroprocesor v každém taktu dokončí více než jednu instrukci
 - **Superskalární mikroprocesor v některých taktech nedokončí ani jednu instrukci**
 - **Superskalární mikroprocesor s frekvencí 2 GHz může vykonat 3 miliardy operací za sekundu**
 - Superskalární mikroprocesor s frekvencí 3 GHz vykoná maximálně 3 miliardy operací za sekundu