

Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu
Katedra informačních technologií

Architektury mikroprocesorů
Bakalářská práce

Autor: Igor Milenkovič
Studijní obor: Aplikovaná informatika

Vedoucí práce: prof. RNDr. Mikulecký Peter, PhD.

Hradec Králové

Duben 2020

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a s použitím uvedené literatury.

V Hradci Králové dne 29.4.2020

Igor Milenkovič

Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. RNDr. Peterovi Mikuleckému, PhD. za metodické vedení práce a cenné rady, které mi pomohly tuto práci zkompletovat.

Anotace

Práce se zabývá popisem dvou největších společností pro výrobu procesorů – Intel a AMD. Cílem bakalářské práce je popsat, analyzovat a porovnat nejdůležitější rysy vývoje procesorových řad obou hlavních producentů mikroprocesorů, a to v období od nástupu vícejádrových procesorů.

Poznatky o zásadních vývojových stupních procesorů a o jejich charakteristikách jsou přehledně utříděné, se zdůrazněním důležitých inovací na každém stupni vývoje. Každá architektura byla porovnávaná předcházející architekturou. Každá architektura přinesla něco nového a v průběhu vývoje mikroprocesorů se technologie stále zlepšuje. Hlavním cílem této bakalářské práce je poskytnout čtenáři přehled toho nejdůležitějšího, co se ve vývoji architektur mikroprocesorů obou hlavních výrobců stalo.

Annotation

Title: Microprocessor Architectures

This thesis deals with the description of the two largest companies for the production of processors - Intel and AMD. The aim of this bachelor thesis is to describe, analyse and compare their most important features of the development of both main producers of multi-core microprocessors and to do so in the most transparent manner.

Knowledge about the basic development stages of processors and their characteristics are clearly sorted, with emphasis on important innovations at each stage of development. Each architecture was compared to its predecessor. Every architecture has brought something new, and as microprocessors develop, technology continues to improve. The main goal of this thesis is to provide the reader with an overview of the most important things that have happened in the development of microprocessor architectures of both major manufacturers.

Obsah

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Úvod | 1 |
| 2 | Úvod do mikroprocesorů | 2 |
| 3 | Historie procesorů | 4 |
| 3.1 | První mikroprocesor | 4 |
| 4 | Parametry procesorů | 5 |
| 5 | Rozdělení procesorů | 7 |
| 6 | Společnost Intel | 9 |
| 6.1 | První vícejádrové procesory společnosti Intel – Pentium D | 11 |
| 7 | Společnost AMD | 14 |
| 7.1 | První vícejádrový procesor společnosti AMD | 15 |
| 8 | Architektura Intel Core | 17 |
| 8.1 | Obecný přístup a filozofie designu | 17 |
| 8.2 | První procesory založené na mikroarchitektuře Core | 19 |
| 8.3 | Čtyřjádrový procesor Intelu, model Core 2 Quad - Kentsfield | 21 |
| 8.4 | První 45nm procesem vyráběné procesory firmy Intel | 22 |
| 9 | Mikroarchitektura Nehalem | 24 |
| 9.1 | Intel Core i3 | 25 |
| 9.2 | Intel Core i5 | 26 |
| 9.3 | Intel Core i7 | 27 |
| 9.4 | Značení procesorů – co znamenají písmenka a čísla za názvem procesoru Intel Core? | 29 |
| 10 | Mikroarchitektura Sandy Bridge – architektura druhé generace | 32 |
| 11 | Mikroarchitektura Ivy Bridge – 3. generace | 35 |
| 12 | Mikroarchitektura Haswell | 36 |
| 13 | Broadwell Mikroarchitektura | 40 |

| | | |
|------|--|----|
| 14 | Mikroarchitektura Skylake – 6. generace..... | 41 |
| 14.1 | Procesory Intel Skylake-X..... | 42 |
| 15 | Sedmá generace Intel Core procesoru oznámila rozchod s tick-tock modelem 44 | |
| 16 | Osmá generace procesorů Intel Coffee Lake..... | 47 |
| 16.1 | První i9 procesor osvěženého Coffee Lake..... | 48 |
| 17 | Intel Cannon Lake a Ice Lake – 10nm éra..... | 50 |
| 18 | Mikroarchitektura AMD K10..... | 52 |
| 19 | Bulldozer Architektura..... | 55 |
| 19.1 | Druhá generace Bulldozeru..... | 56 |
| 19.2 | Třetí a čtvrtá generace Bulldozeru..... | 56 |
| 20 | Architektura Zen a procesory Ryzen..... | 57 |
| 20.1 | Označování procesorů AMD..... | 61 |
| 21 | AMD Zen+..... | 63 |
| 22 | Procesory postavené na 7nm architektuře Zen 2..... | 64 |
| 23 | Závěr..... | 66 |
| 24 | Seznam použité literatury..... | 67 |

Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obrázek 1 INTEL 8088 8bits CPU..... | 2 |
| Obrázek 2 Intel Core i7-975..... | 2 |
| Obrázek 3 Keramický procesor Intel C4004 | 4 |
| Obrázek 4 Grove, Noyce, a Moore z roku 1978 | 9 |
| Obrázek 5 Socket 775 T..... | 12 |
| Obrázek 6 Intel Pentium D 2.80 GHz..... | 12 |
| Obrázek 7 Příklad Macro Fusion technologie..... | 18 |
| Obrázek 8 Intel Advanced Digital Media Boost..... | 19 |
| Obrázek 9 Logo Intel Core z roku 2009..... | 25 |
| Obrázek 10 Platforma Intel Bloomfield | 28 |
| Obrázek 11 Značení procesorů Intel Core..... | 30 |
| Obrázek 12 Ukázka přípon desktopových a mobilních procesorů..... | 31 |
| Obrázek 13 Intel Tick-Tock Model..... | 32 |
| Obrázek 14 Mikroarchitektura Sandy Bridge..... | 33 |
| Obrázek 15 Porovnání patice LGA 1155 a LGA 1156 | 34 |
| Obrázek 16 Ivy Bridge, představující Tick v Intel strategii | 35 |
| Obrázek 17 Intel Haswell označen jako „tock“ | 36 |
| Obrázek 18 Nové a lepší grafické karty v čípech | 37 |
| Obrázek 19 Iris Pro 6200 ve Full HD..... | 40 |
| Obrázek 20 Tick/tock a uvedení nových architektur od Intelu..... | 41 |
| Obrázek 21 Core i9 řady Skylake-X | 42 |
| Obrázek 22 Přechod na PAO metodu..... | 44 |
| Obrázek 23 AMD Ryzen 2 vs Intel Coffee Lake..... | 48 |
| Obrázek 24 Procesory desáté generace Ice Lake | 51 |
| Obrázek 25 Označení procesorů Ice Lake | 51 |
| Obrázek 26 Srovnání architektury jádra | 53 |
| Obrázek 27 Bulldozer moduly | 55 |
| Obrázek 28 Logo pro mikroarchitekturu Zen..... | 57 |
| Obrázek 29 Rozdíl mezi architekturou Excavator a Zen | 58 |
| Obrázek 30 AMD zvýšil IPC až o 40% | 59 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 31 Baliček SenseMI | 60 |
| Obrázek 32 Návod ke čtení názvů nových procesorů..... | 62 |

Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 1 Významné parametry procesoru..... | 6 |
| Tabulka 2 Porovnání základních technických parametru prvních procesoru Intel Core | 20 |
| Tabulka 3 Intel Dual Core Conroe a Allendale..... | 21 |
| Tabulka 4 Intel Core 2 Quad | 22 |
| Tabulka 5 Intel Core i5 založený na architektuře Nehalem | 26 |
| Tabulka 6 Intel Core i7 Nehalem | 29 |
| Tabulka 7 Popis vybraných modelu postavený na Sandy Bridge architektuře | 33 |
| Tabulka 8 Specifikace procesorů rodiny Ivy Bridge | 35 |
| Tabulka 9 Specifikace procesorů mikroarchitektury Haswell..... | 39 |
| Tabulka 10 Procesory Intel Skylake-X z roku 2017 a 2019 | 43 |
| Tabulka 11 Technické údaje procesorů Kaby Lake..... | 46 |
| Tabulka 12 Nejvýznamnější procesory Coffee Lake Refresh generace | 49 |
| Tabulka 13 Technický parametry Ryzen procesorů první generace..... | 61 |
| Tabulka 14 Porovnání procesorů Zed a Zed+..... | 63 |
| Tabulka 15 Srovnání AMD Ryzen 3000 a Intel Core Coffee Lake | 65 |

1 Úvod

Osobní počítače se staly nedílnou součástí našeho života, ať už v zaměstnání, domácnosti či na úřadech, tak při sportovních, kulturních a jiných aktivitách. Uživatelé osobních počítačů proto kladou stále větší požadavky na kvalitu, výkon a cenu. Trendem současné doby je snaha o neustálé zdokonalování jednotlivých komponentů počítače. Výrobci v oblasti informačních technologií provádějí neustálý výzkum a vývoj nových produktů. Pořízení počítače se dnes děje dvěma způsoby. V prvním případě dojde k zakoupení již hotové sestavy bez možnosti radikálních zásahů do jejího složení. V druhém případě si uživatel sám zvolí vhodné komponenty a v podstatě si navrhne sestavu dle vlastních požadavků. V obou případech je potřebné vybrat dostatečně výkonný procesor který je považován za nejdůležitější součást počítače, bez níž by počítač nebyl schopen vykonat jakoukoliv matematickou či logickou operaci. Uživatel by si měl uvědomit, pro jaký účel mu bude procesor sloužit, a tím pádem při jeho výběru myslet do budoucna. Cena procesoru se totiž může pohybovat v řádech několika tisíc korun.

2 Úvod do mikroprocesorů

Mikroprocesor neboli centrální procesorová jednotka (zkratka CPU) je dobře známý “mozek počítače”, který je jeden z nejdůležitějších součástí počítače. Bez něj by počítač nebyl schopen vykonat jakoukoliv matematickou či logickou operaci. Všechny procesory jsou ve své podstatě kompatibilní, dosud žádný procesor nepřerušil kompatibilitu a pravděpodobně se to nestane ani v budoucnu. Následující generace budou obsahovat všechny funkce jako předchozí generace, akorát budou doplněné o další pokročilejší funkce. Kompatibilita mikroprocesoru znamená to, že stejný program, který byl napsán například pro procesor Intel 8088, který byl vyvinut v červnu roce 1979, a byl použit v prvním IBM PC, se dá spustit i na procesoru Intel Core i7 z roku 2019. Program sice poběží i na nejnovějším procesoru, nevyužije však žádné nové funkce, které výrobci neustále rozšiřují.



Obrázek 1 INTEL 8088 8bits CPU

Zdroj: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:I8088.jpg>



Obrázek 2 Intel Core i7-975

Zdroj: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Intel_core_i7-975_top_R7309725_wp.jpg

Základní vlastností mikroprocesoru je programovatelnost. Jeho hlavní úkolem je řídit a koordinovat celý počítačový systém. Mikroprocesor představuje příklad sekvenčního logického obvodu, který dokáže zpracovat sadu jednoduchých instrukcí/příkazu.

Název mikroprocesoru (zkráceně μ P či uP) je tvořen ze dvou částí:

- mikro – předpona označující miniaturizovanou součástku
- procesor – část která označuje postupně zpracování příkazu.

„Procesor funguje tak, že čte z paměti strojové instrukce a na jejich základě vykonává program. Jelikož by byl procesor vykonávající program zapsaný v některém z vyšších programovacích jazyků příliš složitý, má každý procesor svůj vlastní jazyk – tzv. strojový kód.“ (Dostál [1])

„Příkazy neboli instrukce, jímž je procesor ovládán jsou jednotlivé povely pro mikroprocesor, které vykonávají operace s daty nebo tokem programu.“ (Pražek [2]) Mezi hlavní součásti procesoru patří jedná nebo více aritmeticko-logických jednotek (ALU), které provádí s daty příslušné aritmetické a logické operace, registry a řadič, který řídí činnost procesoru. K své funkci potřebuje mikroprocesor operační paměť a sběrnice (skupina signálových vodičů). Zařízení, které v jednom integrovaném obvodu zahrnuje vše potřebné k tomu, aby mohl obsáhnout celou aplikaci, to znamená mikroprocesor, operační paměť a základní periferie pro komunikaci s okolím se nazývá mikrokontroler.

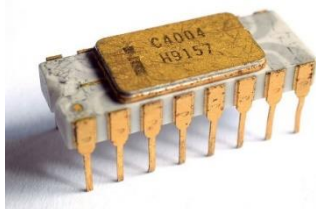
V dnešní době se mikroprocesory vyrábí v provedení více jader (multi core), a za pomoci více jader jsou procesory schopny dosáhnout vyšší výkon na základě paralelní provedení operací. Procesor je označován jako více jádrový právě tehdy když se v obvodu nachází více procesorových jednotek, které s hlavní procesorovou jednotkou spolupracují.

3 Historie procesorů

V průběhu vývoje mikroprocesorů výrobci postupně opouštěli staré technologie a přecházeli k novým. Hlavním takovým pokrokem byl přechod z křehkých, nespolehlivých spínacích prvků, jako jsou elektronky a elektromagnetická relé, na tranzistor. Pomocí tranzistorů byly stavěny komplexnější a spolehlivější procesory který dovolily také použít pro procesor vyšší operační rychlost, a to díky kratší přepínací době na rozdíl od relé. Historie prvních procesorů sahá do roku 1971. V té době se v procesoru nacházelo celkem 2300 tranzistorů, což je v porovnání s dnešním procesorem, který má přes 560 milionů tranzistorů, velký rozdíl.

3.1 První mikroprocesor

První komerčně dostupný mikroprocesor nesl název Intel 4004. Na trhu byl dostupný od 15. listopadu 1971 až do roku 1981. Robert Noyce a Gordon Moore v roce 1968 založili firmu Intel (Integrated Electronics), která představila první mikroprocesor označený 4004 jenž vznikl v rámci plnění zakázky pro japonského výrobce kalkulačků „Busicom Corp.“. Jednalo se o 4bitový procesor s maximální taktovací frekvencí 750 kHz. Byl sestaven z 2300 tranzistorů a pracoval rychlostí 60 000 operací za sekundu. Nejčastnější verze procesoru s názvem 4004 nese označení C před číslem, což označuje keramický procesor, který byl rozeznatelný díky zebra vzoru, to znamená bílá a šeda barva na zadní straně čipů. Obyčejná bílá keramika na procesoru se označovala také písmenkem C. D označovalo tmavě šedou keramiku a P procesor vyroben z plastu.



Obrázek 3 Keramický procesor Intel C4004

Zdroj: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Intel_C4004.jpg

4 Parametry procesorů

Rychlost procesoru – Rychlost procesoru, frekvence, neboli takt procesoru, je udáván hertzech, respektive v megahertzech [MHz] nebo gigahertzech [GHz]. Rychlost procesoru udává počet instrukcí, které procesor vydá za jednu sekundu. Čím vyšší je frekvence, tím větší je výkon procesoru.

Pokud je na základní desce nastavena vyšší frekvence, než pro kterou je procesor určen, je možné, že bude bezchybně pracovat i s touto vyšší frekvencí a bude tak poskytovat vyšší výkon. Každý procesor je vyráběn s jistou rezervou, tak aby na své frekvenci pracoval naprosto bezpečně. Při vyšší frekvenci je procesor také více tepelně zatížen, takže je nutné dbát i na jeho odpovídající chlazení.

Efektivita mikrokódu – „Efektivita, se kterou jsou napsány jednotlivé mikroprogramy provádějící jednotlivé instrukce procesoru. Je to počet kroků potřebných pro provedení jedné instrukce (např.: vynásobení dvou čísel).“ (Pelikán [4])

Šířka slova – Jak velké číslo dokáže procesor zpracovat během jedné operace. Podle šířky datové sběrnice se říká, že procesor je 8bitový, 16bitový, 32bitový, 64bitový.

TDP (Thermal Design Power) - tepelný výkon procesoru. Jednotkou je watt [W]. AMD udává TDP jako maximální dosažitelný tepelný výkon, INTEL jako typický, tedy dosažitelný při pracovní zátěži procesoru.

Počet fyzických jader uvnitř procesoru – více fyzických jader procesoru umožňuje paralelní zpracování instrukcí a dat během jednoho hodinového taktu.

Podle Pelikána [4] mezi základní parametry procesoru také patří:

Tabulka 1 Významné parametry procesoru

| Parametr | Popis |
|-------------------------------|---|
| Numerický koprocessor | Přítomnost (nepřítomnost) speciální jednotky pro přímé provádění výpočtů v pohyblivé desetinné čárce. |
| Počet instrukčních kanálů | Udává maximální počet instrukcí proveditelných v jednom taktu procesoru |
| Šířka přenosu dat | Maximální počet bitů, které je možné během jediné operace přenést z (do) čipu |
| Velikost adresovatelné paměti | Velikost paměti, kterou je procesor schopen adresovat (používat) |

Zdroj: <https://www.fi.muni.cz/usr/pelikan/ARCHIT/TEXTY/PROCESOR.HTML>

Velikost vyrovnávací paměti (cache paměť) – vyrovnávací paměť, která urychluje komunikaci procesoru s operační pamětí. Cache uchovává data a instrukce, které bude procesor s největší pravděpodobností požadovat.

5 Rozdělení procesorů

Každý mikroprocesor je vybaven pro praktické programování „přívětivější“ sadou instrukcí, ty jsou pak přeložené na mikroinstrukce, které zpracovává logický obvod procesoru. Procesory můžeme rozdělit podle velikostí právě těchto instrukčních sad:

- CISC (Complex Instruction Set Computer) - „Základní charakteristikou je poměrně rozsáhlá instrukční sada stroje a její komplexnost. Na každý obtížnější problém, jako je například násobení dvou čísel, existuje zvláštní instrukce. Dalšími specifiky jsou vysoký počet adresovacích módů a proměnná délka instrukcí. Zastánci ostatních architektur považují tuto vlastnost za hlavní nevýhodu celé architektury“ (Marchalín [6])
- RISC (Reduced Instruction Set Computer) - jedná se o procesor s redukovanou instrukční sadou. Procesor je vybaven pouze základními mikroinstrukcemi, které jsou jednodušší a často používané.

Šířka slova určuje, jaké největší číslo dokáže procesor zpracovat během jediné operace. Počet bitů je jeden ze základních ukazatelů procesoru a určuje kolikabitový daný procesor je. Procesor, který má šířku slova 8 bitů, dokáže v jediné instrukci manipulovat s číslem uloženým maximálně na 8 bitech, tzn. umí přímo počítat s čísly od 0 do 255, zatímco 16bitový počítá s čísly od 0 do 65535 (0 až $2^{16}-1$), atd.

Podle délky operandu v bitech rozdělujeme:

- 4-bitové a 8-bitové procesory určené pro velmi jednoduché aplikace (mikrovlknka)
- 16-bitové procesory který jsou určené pro středně složité aplikace (mobilní telefon)
- 32-bitové a 64-bitové procesory určené pro velmi složité aplikace (osobní počítač)

Z pohledu počtu jader rozdělujeme procesory na jednojádrové a vícejádrové. Jednojádrové obsahují pouze jedno jádro, ale z trhu již prakticky vymizely. Jejich

úlohu přebraly i v těch nejlevnějších sestavách dvoujádrové nebo dokonce i čtyřjádrové procesory. V čipu vícejádrového procesoru je integrováno více CPU, tedy jader, s jejichž pomocí lze na stejné ploše dosáhnout mnohem vyššího výpočetního výkonu.

Další dělení procesoru je dáno na základě výrobce. V současnosti na trhu pro osobní počítače dominují pouze dva výrobce, již zmíněni Intel a jeho konkurent AMD. Kromě tech dvou výrobců existuje spousta dalších jako jsou Motorola, NexGen, Texas Instruments, Zilog, VIA Technologies, Atmel atd. který jsou zaměřeni především na vytváření procesoru určených pro jiné aplikace než osobní počítače.

6 Společnost Intel

Intel, největší a nejvýznamnější výrobce mikroprocesorů na světě, je americká společnost se sídlem v kalifornském městě Santa Clara. Její počátek se datuje k 18. červenu roku 1968, a byla založena Robertem (Bob) Noycem a Gordonem Moorem – vědci kteří si do té doby získali v polovodičových technologiích značné renomé. V souvislosti se založením Intelu je také nutno dodat, že stejnou společnost, ve které pracovali zakladatelé Intelu, Fairchild Semiconductor, o rok později opustili další zaměstnanci. Ti založili v kalifornském Sunnyvale společnosti AMD (Advanced Micro Devices), která se stala hlavním konkurentem Intelu, viz. další kapitola.

Celková počáteční investice Intelu činila 2,5 milionu dolarů směnitelných dluhopisů a 10 tisíc dolarů od Arthura Rocka, který byl na začátku jedním z hlavních investorů. Rock byl známý investováním do moderních technologií, a právě v mikroprocesorech vycítil značný potenciál a velkolepou budoucnost, což se mu v následujících letech více než vyplatilo. Třetí zaměstnanec Intelu byl Andrew Grove (původním jménem Andrász Gróf), původní chemický inženýr, který v roce 1987 převzal od Moora křeslo ředitele Intelu.



Obrázek 4 Grove, Noyce, a Moore z roku 1978

Zdroj:

<https://www.flickr.com/photos/intelfreepress/8267616249/in/photostream/lightbox/>

V roce 1969 japonská firma Busicom hledala výrobce schopného realizovat potřebných 12 typů specializovaných integrovaných obvodů pro kalkulačku pro složitější výpočty, a to byla příležitost pro Intel vytvořit první mikroprocesor Intel 4004, o kterém v textu už bylo řečeno. Od té doby až po dnešek jsme svědky neuvěřitelného pokroku společnosti Intel, která neustále rozvíjí výkonnější procesory. „V devadesátých letech měla společnost Intel 90% podíl na trhu počítačových čipu. Mohlo by vás napadnout, že taková firma využije svého téměř monopolního postavení ke stanovení vysokých cen – vždyť prakticky nemá žádnou konkurenci. Jenže v roce 1998 firma Intel přikročila k velmi výraznému snižování svých cen. Co jí k tomu přimělo? Firma National Semiconductor, která vyvinula nový počítačový mikroprocesor a chystala se jej uvést na trh. To odstartovalo proces snižování cen počítačů.“ (Holman [7]) Kromě snižování cen musel Intel opustit číselná označení procesorů, a to z důvodu který spočíval v soudním sporu s hlavním rivalem AMD. Nic z toho nemohlo zastavit rychlý vývoj cele společnosti, která víceméně neustále potvrzovala platnost Moorova zákona, který zněl: Počet tranzistorů, které mohou být umístěny na integrovaný obvod, se při zachování stejné ceny zhruba každých 18 měsíců zdvojnásobí [18].

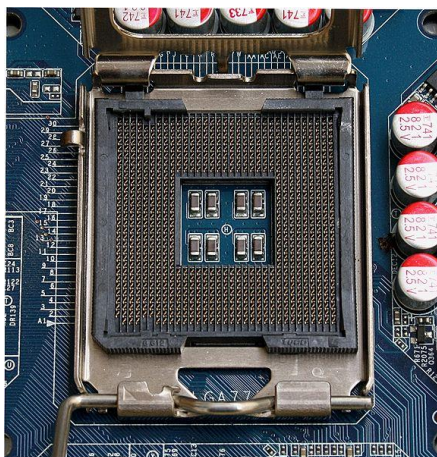
Hitem dvacátého prvního století se staly vícejádrové mikroprocesory i když Intel úspěšně implementuje technologie vícejádrových procesorů. Vedení se začíná soustřeďovat na širší oblast IT industrie, především na servery, superpočítače a HPC (High Performance Computing, česky: *vysoce výkonné výpočty*) segment vůbec. A to je jeden z důvodů proč Brian Krzanich redefinoval podstatu společnosti Intel. Protože zisk z osobních počítačů přestává být oním ekonomickým tahounem, na kterém společnost stála, Krzanich v roce 2016 uvádí že „Our strategy itself is about transforming Intel from a PC company to a company that powers the cloud and billions of smart, connected computing devices.“ (Krzanich [8]) kde vysvětluje jak by se v budoucnu měli zaměřovat spíše na cloud a miliardy chytrých propojených výpočetních zařízení. Momentálně Intel má přes 107 tisíc zaměstnanců a hlavním posláním nového generálního ředitele Roberta Swana bude nastavit firmu tak, aby byla schopná odolávat konkurentům, a to nejen na poli procesorů pro osobní počítače, ale také v oblasti serverů, SSD disků či grafických karet.

6.1 První vícejádrové procesory společnosti Intel – Pentium D

Intel svůj první dvoujádrový čip vypustil v květnu v roce 2005 pod názvem Pentium D, známý také jako "Smithfield". Dnes dostupné čtyři varianty Pentia D, 805, 820, 830 a 840. V té době byl navržený pro extrémně výkonné počítače s důrazem na vícevláknové zpracování a provozování mnoha aplikací současně. Tyto procesory byly vyrobeny pokročilou 90nm technologií, s pracovní frekvencí 2.66GHz u Pentium D 805, až 3.2GHz u procesoru označen indexem 840.

Pracovní neboli taktovací frekvence v práci už byla vysvětlena a o technologií výroby se dalo nejjednodušeji říct, že jde o vzdálenost mezi dvěma elementy na čipu, které tvoří jeho strukturu. Tato vzdálenost v případě nejmodernější výrobní technologie Intelu činí 14nm. Čím menší vzdálenost mezi elementy, tím lepší, protože se na stejné velikosti procesoru dá umístit větší počet tranzistorů. V tomto případě počet tranzistorů činil 230 milionů.

Mezipaměť první úrovně L1 byla 16 kB a 1 MB L2 pro každé z jader. Tepelný obal byl deklarován na úrovni 130 W, tj. na 95 W pro D 805 a D 820. Procesory s okolím komunikují prostřednictvím 800MHz systémové sběrnice. Skutečná frekvence je 200MHz, ale protože jsou data posílána čtyřikrát během jednoho cyklu, je efektivní frekvence systémové sběrnice 800MHz. Výjimkou je Pentium D 508, u něhož je frekvence systémové sběrnice 533MHz. Procesory jsou určeny pro patici Socket T (LGA775) a vyžadují základní desku s čipovou sadou i945 nebo i955, která debutuje s technologií Intel Active Management (IAMT), jež dovoluje užívat část jádra, i když procesor nedostává potřebné napětí. U Intel Pentium D 840, s pracovní frekvencí 3.2GHz, byla spotřeba přes 290 Wattů. Patice LGA775 se liší od starších patic kromě počtu pinů především tím, že procesor je vybaven pouze kontaktními ploškami. Odpružené piny nese základní deska. Kromě nižších výrobních nákladů procesorů, novější patice procesoru přináší snadnější manipulaci s nimi a vyšší spolehlivosti patice.



Obrázek 5 Socket 775 T

Zdroj: APPALOOSA. Wikimedia [online]. [cit. 29.8.2019]. Dostupný na WWW: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CPU_Socket_775_T.jpg



Obrázek 6 Intel Pentium D 2.80 GHz

Zdroj: http://brainstones.narod.ru/collection/intel_pentium_d.htm

Další dvoujádrový a zároveň poslední Intelův procesor z generace Pentium D byl Presler a je označen kódem výrobku 80553 [9]. Presler byl podporován stejnými chipsety jako Smithfield. Na rozdíl od svého předchůdce, který byl vyroben pokročilou 90nm technologií, byl tento procesor vyroben pomocí technologie 65nm. Hlavním rozdílem oproti Smithfieldu je především samotné uspořádání čipu. Zatímco Smithfield používal zdvojené jádro Prescott, Presler už využívá dvě nezávislá jádra. Komunikace se systémem probíhá skrz obousměrnou datovou sběrnici FSB (Front Side Bus). „CPU používá Front Side Bus k obousměrnému přenosu kódu a dat do jiných komponent, zejména do MCH (Memory Controller Hub – Severní můstek). [...] FSB je rozhraní, které CPU používá k přístupu k informacím mimo svůj vlastní balíček. [...] Jednou z operací, ke které dojde na FSB, je udržování

koherence obsahu mezipaměti CPU a systémové paměti. K těmto koherenčním operacím dochází automaticky, když se software spouští a data se přesouvají do paměti a z paměti pomocí procesoru nebo I/O zařízení“ (Todd Langley a Rob Kowalczyk [10]) Identickým způsobem komunikuje i procesor Smithfield. Presler byl propuštěn v prvním čtvrtletí 2006 s příslušnou taktovací frekvencí 2,8 GHz u modelu označeným indexem 915 až s 3,6 GHz u modelu 960. Presler zahrnuje i funkce virtualizace hardwaru Intel VT-x (dříve Vanderpool), které umožňují spustit celý virtuální počítač v okně a pomáhají urychlit virtuální stroje vytvořené v aplikacích VirtualBox, VMware, Hyper-V a dalších aplikacích. Na sdíleném virtualizovaném hardwaru může být množství pracovních zátěží lokalizováno při zachování plné izolace od sebe, volně migrovat napříč infrastrukturami a podle potřeby škálovat. „Virtuální funkce CPU umožňují věrné odebrání plné zdatnosti procesoru Intel® na virtuální stroj (VM). Veškerý software ve virtuálním počítači může běžet bez zásahu do výkonu nebo compatibility, jako by nativně běžel na vyhrazeném procesoru. Je možná živá migrace z jedné generace procesorů Intel® do druhé, stejně jako vnořená virtualizace.“ (Intel [11]) Od roku 2015 téměř všechny novější serverové, stolní a mobilní procesory Intel podporují VT-x, přičemž některé z procesorů Intel Atom jsou hlavní výjimkou [12]. U některých základních desek musí uživatelé povolit funkci Intel VT-x v nastavení BIOS, než ji mohou aplikace využít.

7 Společnost AMD

Největším konkurentem společnosti Intel je zejména společnost AMD. Advanced Micro Devices (zkráceně AMD) je americká hardwarová společnost založená 1. května 1969 v Kalifornii. AMD je globální dodavatel integrovaných obvodů pro osobní počítače a pro telekomunikaci. Oproti Intelu je AMD mnohem menší firmou, a to jak podle počtu zaměstnanců, tak i podle objemu prodeje. Společnost byla založena také bývalými pracovníky firmy Fairchild Semiconductor: Jerry Sanders III, Edwin Turney, John Carey, Sven Simonsen, Jack Gifford a třemi členy Gifford týmu Frank Botte, Jim Giles a Larry Stenger. Společnost AMD byla zainteresována ve výrobě procesorů x86 od raných dob PC, začátku 80. let. „Nejprve na základě licence Intelu vyráběla procesory 8086, 80286, 80386 a suplovala tak nedostačující výrobní kapacity Intelu. Díky tomu se ovšem firma stala velmi zkušeným výrobcem těchto procesorů.“ (Hófer [13])

V roce 1998, společnost AMD uzavřela partnerství se společností Motorola. Byl to velmi důležitý krok pro AMD, díky kterému se firma na dobu přibližně jednoho roku dostala před firmu Intel. V roce 1999 přišel na trh procesor AMD Athlon, který na stejné frekvenci jako Pentium III společnosti Intel dokázal být význačně rychlejší. AMD Athlon 1000 řady K75 byl prvním procesorem pro osobní počítače který dosáhl maximální frekvence 1GHz. Stinnou stránkou byl vysoký příkon a tepelné vyzařování, a proto vyžadoval o 50 W silnější zdroj oproti Pentium III. Po odchodu do důchodu zakladatele firmy Jerryho Sanderse, převzal firmu v roce 2002 Hector Ruiz.

V roce 2006 společnost AMD odkoupila jednu z největších výrobců grafických karet, firmu ATI Technologies. Odkoupení stálo AMD celkově 5,4 miliard USD, 4,3 miliard USD z pokladny a 8 miliónů svých akcií v hodnotě 1,1 miliardy USD. Tato částka byla velmi nadsazená a společnost AMD to velmi finančně zatížilo. Nedlouho za tím následuje, jak Stach [14] definuje „legendárně stupidní rozhodnutí“, odprodej mobilní grafické divize ATI do rukou Qualcommu. „V té době mělo ATI jednoznačný technologický náskok v této oblasti a bylo prakticky bez konkurence, čehož Qualcomm dokonale využil. Mobilní grafiky ATI Radeon se tak staly známými

ADRENO v ARM platformách, ano těmi, na kterých dnes Qualcomm vydělává miliardy dolarů. A vedení AMD mu tehdy mobilní divizi ATI prodalo za směšných 65 milionů dolarů. Kde by asi AMD bylo, pokud by k tomu odprodeji nedošlo, radši ani nespekulovat. Jedno z nejhorších manažerských rozhodnutí na technologickém poli všech dob. Bohužel u AMD zdaleka ne jedině.“ (Stach [14])

V roce 2014 se začaly díky novému vedení v čele s Lisou Su uvnitř firmy obracet věci k lepšímu. Znovu byl nastartován vývoj velkých procesorů a GPU který byl zpomalen, a to z důvodu strategie firmy dřívějších let která byla soustředěna na výkonově slabší produkty, konkrétně APU (z anglického Accelerated Processing Unit – integrované CPU a GPU v jednom čipu). V roce 2017 AMD představil svůj přelomový procesor Ryzen který vrátil společnost na pozici výrobce nejvýkonnějšího procesoru světa. Procesory Ryzen, které mají více procesorových jader, nabízejí vyšší výkon s více vlákny za stejnou cenu oproti procesorům Intel Core. Od té doby až po dnešek nám AMD pokazuje na to, jak jedna malá společnost, která má něco přes 10000 zaměstnanců, což je 10krát méně než Intel, může alespoň produktově konkurovat mnohem většímu celosvětovému gigantu.

7.1 První vícejádrový procesor společnosti AMD

Athlon 64 X2 je první vícejádrový procesor pro domácí využití od firmy AMD. AMD oficiálně začalo prodávat Athlon X2 na Computexu¹ 1. června 2005. AMD pro svůj dvoujádrový procesor vybralo jádro K8 známé z procesorů AMD Athlon 64. Athlon X2 reprezentoval ve vývoji procesorů AMD nový směr. Obsahuje dvě identická jádra (totožné s Athlony 64) která jsou spolu propojená interní sběrnici "Crossbar Switch". Díky této sběrnici je komunikace mezi jádry rychlá a efektivní – i když se oba procesory musí dělit o jeden přístup k paměti. První dvoujádrový procesor společnosti AMD byl vyráběn 90nm polovodičovým procesem a na ploše 200 mm² byl počet tranzistorů zdvojnásoben. Modely s 1 MB L2-Cache mají 232,2 milionů tranzistorů (jednojádrový Athlon 64 má pouze 114 milionů tranzistorů).

¹ Veletrh výpočetní techniky a spotřební elektroniky

Dvoujádrové procesory jsou dostupné v několika provedeních, které se liší především taktovací frekvencí a velikostí vyrovnávací paměti. Pracovní frekvence u těchto procesorů byla od 1.9GHz u Brisbane a až 3.2GHz u procesoru označeného Windsor. Všechny tyto procesory díky použité technologii nataženého křemíku mají možnost dosáhnout vyšších frekvencí a menší spotřeby. „Co se týče vyzářeného tepla, nové procesory AMD by v nejhorším případě (obě jádra vytížené na 100 %) měly vyzářit maximálně 110W tepla. To není špatný výsledek – podobné množství tepla vyzářil i předešlý "klasický" (tedy jednojádrový) hi-end procesor Athlon FX-55 (polovodičový proces 130nm). Druhé jádro zvedá tedy spotřebu o 20 až 30 W – na systém to neklade takové nároky, aby bylo nutné zásadně přepracovávat napájení ani chlazení.“ (Kowalek [15])

8 Architektura Intel Core

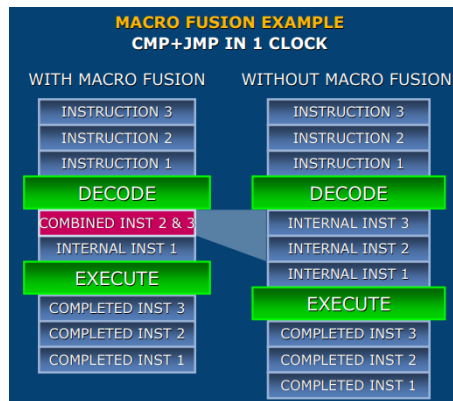
Společnost Intel poprvé představila mikroarchitekturu Intel Core v červenci roku 2006 a vymysleli ji zaměstnanci Intelu v Izraeli [19]. Mikroarchitektura Intel Core, občas nazývaná i jako NGMA² (zkratka pro „mikroarchitekturu nové generace“), představovala nový základ firmy Intel pro vícejádrové stolní, mobilní a serverové procesory. Přestože jí nahrazuje, není tato architektura založena na architektuře NetBurst.

8.1 Obecný přístup a filozofie designu

Architektura Core se oproti NetBurstu vrací k nižším taktům a lepšímu využití jednotlivých cyklů. Dekódování, provádění operací a mezipaměť jsou zde efektivnější, což snižuje spotřebu energie, a zároveň zvyšuje výkon. Intel tuto architekturu představuje jako architekturu, která rozšiřuje energeticky účinnou filosofii, poprvé dodanou v mobilní mikroarchitektuře procesoru Intel Pentium M a rozšiřuje ji o mnoho nových špičkových inovací v oblasti mikroarchitektury pro špičkový výkon, větší energetickou účinnost a více reagující multitasking. Mezi inovace mikroarchitektury Intel Core patří: Intel Wide Dynamic Execution, Intelligent Power Capability, Advanced Smart Cache, Smart Memory Access a Advanced Digital Media Boost [20].

Intel Wide Dynamic Execution je podstatě kombinace více technik mezi kterými je nejdůležitější zdůraznit Macro Fusion, která nám pomáhá sloučit několik instrukcí do jediné a takovým způsobem umožnit procesorům provádět paralelně více pokynů. Intel Wide Dynamic Execution umožňuje dodávat více instrukcí za hodinový cyklus, aby se zlepšil čas provádění a energetická účinnost.

² Next-generation microarchitecture



Obrázek 7 Příklad Macro Fusion technologie

Zdroj:

https://www.intel.com/pressroom/kits/core2duo/pdf/ICM_tech_overview.pdf

Intel také uvádí že každé výkonné jádro je o 33% širší než předchozí generace, což každému jádru umožňuje načíst, dekodovat a ustoupit až čtyři instrukce současně [21].

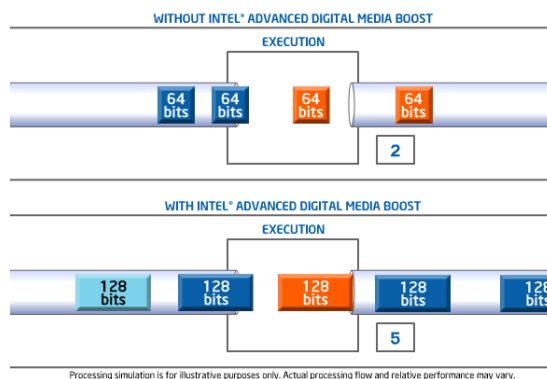
Intel Intelligent Power Capability je sada funkcí určených ke snížení spotřeby energie a požadavků na design. Tato funkce řídí spotřebu energie za běhu všech jader provádění procesoru [22]. K nízké spotřebě přispívá i samotný 65nm výrobní proces a svým způsobem i fakt, že architektura Core nebyla postavena na tak vysokých frekvencích, jako NetBurst Pentia D a Pentia 4. Výsledkem je energetická optimalizace, která umožňuje mikroarchitektuře Intel Core poskytovat energeticky účinnější výkon pro stolní počítače, mobilní počítače a servery.

„Intel Advanced Smart Cache je vícejádrové optimalizovaná mezipaměť, která zvyšuje výkon a efektivitu zvyšováním pravděpodobnosti, že každé prováděcí jádro dvoujádrového procesoru bude mít přístup k datům z výkonnějšího a efektivnějšího subsystému mezipamětí. Aby toho bylo dosaženo, sdílí Intel mezipaměť L2 mezi jádry... Se sdílenou mezipamětí L2 musí jsou data uložena pouze na jednom místě, ke kterému má přístup každé jádro. To lépe optimalizuje prostředky mezipamětí. Díky sdílené mezipaměti L2 mezi jednotlivými jádry umožňuje Intel Advanced Smart Cache každému jádru dynamicky využívat až 100 procent dostupné cache L2.“ (Wechsler [22])

Spolu se Smart Memory Access Intel přidal i funkci zvanou „Memory disambiguation“, která pomáhá zlepšit efektivitu procesoru tím, že umožňuje čipu inteligentně přeskupovat instrukce a zkrátit dobu provádění.

Pro urychlení výpočtu, kde se používají SSE³ instrukční sady Intel přinesl funkci Advanced Digital Media Boost. Tato funkce snižuje celkový počet instrukcí potřebných k provedení konkrétní programové úlohy a v důsledku toho mohou přispět k celkovému zvýšení výkonu. Uživatelé tím získávají zvýšený výkon v multimediálních aplikacích, jako jsou programy CAD, trojrozměrné i dvourozměrné modelování, editace videa, digitální hudba, digitální fotografie a hry.

Předchozí procesory Intel dokázaly zpracovat pouze polovinu 128bitové SSE instrukce za jeden hodinový takt, a to v podstatě znamenalo, že provedení jedné SSE instrukce trvalo dva hodinové takty. Intel Core zavedlo schopnost zpracovávat 128bitové SSE instrukce v jednom hodinovém taktu, to ve skutečnosti zdvojnásobilo propustnost SSE instrukce při stejné rychlosti.



Obrázek 8 Intel Advanced Digital Media Boost

Zdroj: https://www.theregister.co.uk/2006/08/30/intel_core2duo_glossary/

8.2 První procesory založené na mikroarchitektuře Core

První procesory nesou kódová označení Merom, Conroe a Woodcrest. Merom je určen pro notebooky, Conroe pro stolní počítače a Woodcrest pro servery a pracovní

³ Streaming SIMD Extensions – instrukční sada typu SIMD (jedna instrukce, více dat)

stanice a mají všechny stejnou architekturu. Technicky se liší pouze patičí, rychlosti sběrnice a spotřebou energie.

Tabulka 2 Porovnání základních technických parametru prvních procesoru Intel Core

| Označení | Patice | FSB ⁴ | TDP ⁵ | Hodinový takt |
|-----------|----------------------|----------------------|------------------|--------------------|
| Merom | Socket M Socket P | 533 MHz až 800 MHz | 5,5 W až 44 W | 1.6 GHz až 2.6 GHz |
| Conroe | LGA 775 | 800 MHz až 1333 MHz | 35 W až 65 W | 1.2 GHz to 3.0 GHz |
| Woodcrest | LGA 771 | 1066 MHz až 1333 MHz | 35 W až 80 W | 1.6 GHz až 3.0 GHz |

Zdroj: vlastní zpracování

První procesorová jádra Intel Core 2 Duo s označením Conroe byla zahájena 27. července 2006 ve Fragapalooze, každoroční herní události v Edmontonu v kanadském Albertě [23]. Tyto procesory byly vyrobeny na 300 mm destičkách a byly vyráběny moderním 65nm polovodičovým procesem. Všechny procesory Conroe jsou vyráběny s mezipamětí 4 MB L2.

Procesory E6300 s pracovní frekvencí 1.86GHz a E6400 s frekvencí 2.13GHz, oba s 1066 MHz FSB, byly vydány 27. července 2006. Po nich následovaly procesory Conroe E6320 a E6420 s frekvencí 1,86 a 2,13 GHz který byly spuštěny 22. dubna 2007. Společnost Intel vydala 22. července 2007 další čtyři procesory Core 2 Duo. Nové procesory nesou označení E6540, E6550, E6750 a E6850. Kromě těchto základních verzi procesorů, Intel zavedl 29. července 2006 Conroe XE, což bylo označení pro procesory s vyšším výkonem, než mají „běžné“ procesory. Core 2 Extreme X6800 má taktovací frekvenci 2,93 GHz a 1066 MHz FSB, tepelný výkon procesoru je 75 W, což je o 10 W víc než u běžných procesorů. V době uvedení na trh byla cena Intelu pro Core 2 Extreme X6800 za 999 dolarů v množství 1 000 procesorů [24]. Stejně tak stolní Core 2 Duo má k dispozici 4 MB sdílené mezipaměti

⁴ Front Side Bus – datová sběrnice

⁵ Thermal Design Power – tepelný výkon procesoru

L2. To znamená, že jediným zásadním rozdílem mezi běžnými Core 2 Duo a Core 2 Extreme je vyšší taktovací frekvence.

Tabulka 3 Intel Dual Core Conroe a Allendale

| Model | Frekvence | L2 Cache | FSB | Jádro | Patice | Výrobní technika | Cena |
|----------------------|-----------|----------|---------|-----------|--------|------------------|-------|
| Core 2 Extreme X6800 | 2.93Ghz | 4 MB | 1066Mhz | Conroe | LGA775 | 65nm | \$999 |
| Core 2 Duo E6700 | 2.67Ghz | | | Conroe | | | \$530 |
| Core 2 Duo E6600 | 2.40Ghz | | | Conroe | | | \$316 |
| Core 2 Duo E6400 | 2.13Ghz | 2 MB | | Allendale | | | \$224 |
| Core 2 Duo E6300 | 1.86Ghz | 2 MB | | Allendale | | | \$183 |

Zdroj: https://www.webcitation.org/64qRjcrjn?url=http://www.bit-tech.net/hardware/cpus/2006/07/14/intel_core_2_duo_processors/1

8.3 Čtyřjádrový procesor Intelu, model Core 2 Quad - Kentsfield

První čtyřjádrové procesory od společnosti Intel založeny na architektuře Core 2 byly vydány 2. listopadu 2006 a nesly označení Kentsfield a skládaly se ze dvou čipů Core 2 Duo v jednom procesoru. Kentsfield je procesor vyráběn 65 nanometrovým výrobním procesem. Kentsfield má dvě samostatné 4 MB L2 cache oblasti. Kromě běžných procesorů Intel poskytl i Kentsfield XE, které nesly modelové označení QX6700 s taktem 2,67GHz vydaný 2.listopadu 2006 s cenou 999 \$ [24], QX6800 s

taktem 2,93GHz vydaný 8. dubna 2007 s cenou 1199 \$. Po nich následovala verze QX6850 Core 2 Extreme s frekvencí 3,0GHz vydaný 22. července 2007, rychlejší 1333 MHz FSB a původně stal 999 amerických dolarů při koupi 1000 kusů [25].

Tabulka 4 Intel Core 2 Quad

| Model | Frekvence | L2 Cache | FSB | TDP | Jádro |
|--------|-----------|----------|---------|-------|---------------|
| Q6600 | 2.40GHz | 2 x 4 MB | 1066MHz | 95 W | Kentsfield |
| Q6700 | 2.67GHz | 2 x 4 MB | 1066MHz | 95 W | Kentsfield |
| QX6700 | 2.67GHz | 2 x 4 MB | 1066MHz | 130 W | Kentsfield XE |
| QX6800 | 2.93GHz | 2 x 4 MB | 1066MHz | 130 W | Kentsfield XE |
| QX6850 | 3.00GHz | 2 x 4 MB | 1333MHz | 130 W | Kentsfield XE |

Zdroj: vlastní zpracování

8.4 První 45nm procesem vyráběné procesory firmy Intel

V historii společnosti Intel se dalším významným milníkem stal 6. leden v roce 2008. Na trh byl oficiálně uveden první desktopový procesor vyrobený 45nm polovodičovým procesem. Nové čipy patří do po dlouhé době vyvíjené rodiny nazývané „Penryn“. Intel je první, kdo implementoval inovativní kombinaci nových materiálů, které výrazně snižují netěsnost tranzistoru a zvyšují výkon v procesní technologii 45nm. Společnost použila nový materiál s vlastností zvanou „high-k“ pro dielektrikum tranzistorových hradel a novou kombinaci kovových materiálů pro elektrodu tranzistorových hradel. Pro srovnání, deset let zpátky byly nejmodernější technologie 250nm. Podle Intelu „použitím prvku Hafnium, kovu, který významně snižuje elektrické úniky a poskytuje vysokou kapacitu nezbytnou pro dobrý výkon tranzistoru“ (Intel White Paper [20]) mohla tato společnost dále vyvíjet výkonnější procesory a zároveň snížit množství elektrického úniku z tranzistorů.

„Společnost Intel má více než 15 produktů založených na 45nm vývoji ve stolních, mobilních, pracovních stanicích a podnikových segmentech. S více než 400 miliony tranzistorů pro dvoujádrové procesory a více než 800 milionů u čtyřjádrových procesorů zahrnuje rodina procesorů Penryn 45nm nové funkce mikroarchitektury pro vyšší výkon a možnosti správy napájení, stejně jako vyšší rychlosti jádra a větší mezipaměti. Konstrukce rodiny Penryn také přináší přibližně 50 nových instrukcí

Intel SSE4, které rozšiřují možnosti a výkon pro média a vysoce výkonné počítačové aplikace.“ (Intel [26]) Vyšší hustota tranzistorů umožnila na současnou plochu čipu umístit mnohem více prvků, a i při zachování stejného počtu tranzistorů značně zmenšit celý čip.

Dalším významným vylepšením by měla být nová instrukční sada SSE4, která na rozdíl od SSE3, která měla 32 instrukcí, má 47 instrukcí. Patnáct nových instrukcí by mělo urychlit práci s videem, některé z nich mají výrazně pomáhat v HD rozlišení, zbývající instrukce by měly urychlovat operace s plovoucí desetinnou čárkou, grafické výpočty, vektorové počty, hry, multimédia, výpočty fyziky či různé kompresní algoritmy.

9 Mikroarchitektura Nehalem

Neutekl ani rok od zavedení mikroarchitektury Intel Core a jeho 45nm vylepšení a Intel už přišel na trh s novou architekturou Intel Nehalem. První procesor z této rodiny byl představen v listopadu 2008 a jednalo se o Core i7 [27]. Hlavními změnami jsou velká mezipaměť L2 sdílena mezi všemi čtyřmi nebo osmi jádry na čipu procesoru. Nová architektura Nehalem se snažila zlepšit komunikaci mezi jádrem vytvořením topologie point-to-point. Díky ní mohou mikroprocesorová jádra komunikovat přímo mezi sebou a mít přímější přístup k systémové paměti.

„Nehalem byl vskutku revoluční ve všech směrech. Jedno bylo a je jasné, Intel vzal ty nejlepší myšlenky svých vývojářů a spojil je s nejlepšími myšlenkami vývojářů AMD, které si ale vzal bez jejich svolení. Vznikla architektura jež provází desktop dodnes a každý rok je pouze vylepšovaná, nikoliv od základu překopaná... Hlavními novinkami Nehalemu byla integrace paměťového řadiče do procesoru, a to dokonce tříkanálového, zcela jiná komunikační sběrnice se systémem místo zastaralé a pomalé FSB, vylepšený Front-end, Hyper-Threading, nový Out-of-Order engine, větší a vylepšená cache, správa energie, turbo režimy atd. Intel tehdy hrál vabank a vše vsadil na jednu kartu (uvedl serverový čip do desktopu), jak se později ukázalo měl v ruce trumfy.“ (Obermaier [52])

„Přístup k architektuře Nehalem je modulárnější než architektura Core, což z něj dělá mnohem flexibilnější a přizpůsobitelnější aplikaci. Architektura se skutečně skládá pouze z několika základních stavebních bloků. Hlavními bloky jsou jádro mikroprocesoru (s vlastní mezipaměť L2), sdílená mezipaměť L3, řadič sběrnice QPI (Quick Path Interconnect), integrovaný řadič paměti (IMC) a grafické jádro. Díky této flexibilní architektuře lze bloky nakonfigurovat tak, aby vyhovovaly požadavkům trhu.“ (Rolf [28])

S vydáním mikroarchitektury Nehalem, Intel představil i tři základní varianty, Core i3, Core i5 a Core i7, který nenesou název na základě počtu jádra či jiných technických vlastností, ale na základě úrovně od nízkých (i3), přes střední rozsah (i5) po špičkový výkon (i7).

Inovace správy a řízení výkonu mikroarchitektury nové generace zahrnují: [30]

- Dynamicky řízená jádra, vlákna, mezipaměť, rozhraní a výkon
- Simultaneous Multi-Threading
- Inovativní rozšíření SSE4, které se zaměřují na zvýšení výkonu zpracování XML, řetězců a textů
- Víceúrovňová mezipaměť, včetně sdílené mezipaměti L3
- Dynamická správa napájení se zvýšeným výkonem



Obrázek 9 Logo Intel Core z roku 2009

Zdroj: https://logos.fandom.com/wiki/Intel_Core

9.1 Intel Core i3

Mikroprocesory Core i3 jsou považovány za výkonné procesory, ale obvykle leží na spodní straně stupnice a jedná se o nejlevnější řešení které by mělo poskytovat dostatečný výkon pro základní úkoly. Všechny Core i3 procesory až po Coffee Lake mají dvě jádra. Procesory i3 jsou navrženy tak, aby zasáhly nižší cenovou hladinu více, a nejde primárně o posun výkonu. Do které rodiny Intel Core procesor spadá, je založeno na řadě kritérií týkajících se jejich počtu jader, rychlosti hodin a velikosti mezipaměti. Velkou roli hraje také počet technologií, které Intel integruje a jedná z důležitějších technologií je Hyper-Threading. „S jejím využitím dokáže dvoujádrový procesor simulovat čtyři jádra, což může být užitečné při multitaskingu, práci s multimédií nebo například načítání nejrůznějších prvků na webu. Zatímco dvoujádrové Core i3 i Core i5 procesory tuto technologii podporují a dokážou další jádra simulovat, čtyřjádrové Core i5 už Hyper-Threading nemají. Zvládají čtyři fyzická jádra a simulace dalších už možná není.“ (Nawrat [31]) To je jeden z mnoha důvodů, proč jsou procesory Core i7 považovány za špičkové

procesory. Nejenže se chlubí nejvíce jádry, ale také podporují Hyper-Threading a jsou schopné poskytnout mnohem vyššího počtu vláken, než se původně zdálo.

9.2 Intel Core i5

Mikroprocesory Core i5 jsou procesory střední třídy s výkonem vyšším, než jaké nabízejí procesory Core i3, ale nižším než Core i7. Rodina byla představena v září 2009, a stejná generace, poháněná mikroarchitekturou Westmere a vyrobena za pomoci 32nm technologií byla vydána v roce 2010. Procesory Intel Core i5 bývají výkonnější než i3. Součástí toho je jak vyšší průměrná rychlost hodin, tak i větší počet jader a také větší cache paměť, která procesoru pomáhá rychleji zpracovávat opakující se příkazy. Více jader znamená, že tyto procesory dokážou zpracovat více vláken najednou a vyšší rychlost hodin znamená, že mohou efektivněji plnit úkoly. „Základním parametrem procesorů je takt. Ten byl kdysi měřítkem výkonu, ale s vícero jádry v procesoru a s různými technologiemi výroby i zpracování dat už je dnes tato hodnota vcelku málo relevantní. Core i5 i Core i7 navíc podporují technologii Turbo Boost, která umožňuje zvýšit výkon některých procesorových jader. Pokud spuštěná aplikace potřebuje více výkonu, ale neumí práci rozdělit mezi všechna jádra, Turbo Boost krátkodobě navýší takt a do určité míry situaci pomůže.“ (Nawrat [32])

Tabulka 5 Intel Core i5 založený na architektuře Nehalem

| Kódové označení | Název | Počet jader | L3 Cache | TDP | Frekvence udávaná v GHz | RCP ⁶ |
|-----------------|--------------|-------------|----------|---------|-------------------------|------------------|
| Lynnfield | Core i5-7xx | 4 | 8 MB | 95 W | 2.67 – 2.8 | \$193 - \$213 |
| Lynnfield | Core i5-750S | 4 | 8 MB | 82 W | 2.4 | \$279 |
| Clarkdale | Core i5-6xx | 2 | 4 MB | 73-87 W | 3.2 – 3.6 | \$177 - \$305 |

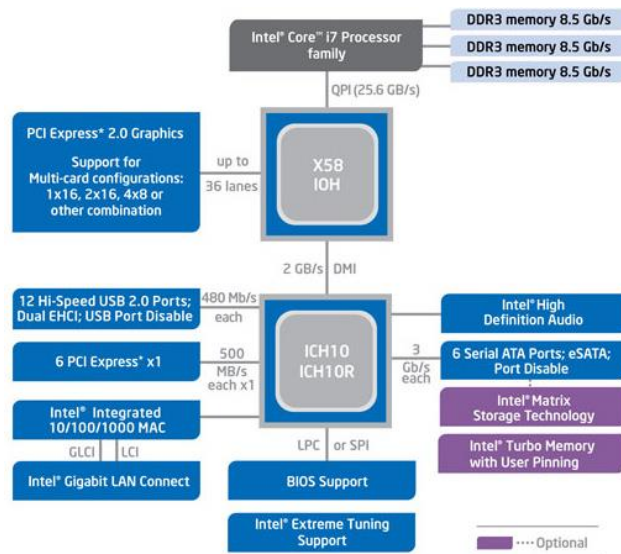
Zdroj: vlastní zpracování

⁶ Recommended Customer Price by Intel – Doporučená zákaznická cena

9.3 Intel Core i7

Značka Core i7 se zaměřuje na obchodní a špičkové spotřebitelské trhy pro stolní i přenosné počítače a je navržena tak, aby poskytovala vynikající výkon pro nejnáročnější úkoly. Vzhledem k tomu, že některé starší procesory i7 nemusejí předcházet výkonnějším novějším procesorům i5, nemělo by být toto označení vždy považováno za to nejlepší. Intel v roce 2010 vypustil první šesti jádrový procesor i7 založený na architektuře Nehalem, který nese kódové označení Gulftown. S Core i7 se můžeme setkat i ve speciální Extreme edition, který představuje rodinu špičkových mikroprocesorů nejvyšší kvality. Tyto procesory, mají větší šířku pásma a představují nejlepší výkon pro příslušnou implementaci mikroarchitektury.

Největší rozdíl mezi i5 a i7 je Hyper-Threading, což je technologie zvyšující výkon vícevláknových úloh. Hyper-Threading je technologie, která vytváří z jednoho fyzického jádra procesoru dva virtuální procesory [33]. To je neuvěřitelně užitečné pro multitasking nebo úkoly, jako je vykreslování videa nebo konverze. Všechny procesory i7 mají Hyper-Threading, takže čtyři jádrové procesory zvládnou osm vláken. Také několik procesorů z řad i5 a i3 má technologii Hyper-Threading, ale jsou omezeny na celkem 4 vlákna (buď čtyři reálná jádra, nebo dvě jádra Hyper-Threaded pro zpracování čtyř vláken).



Obrázek 10 Platforma Intel Bloomfield

Zdroj: <https://www.anandtech.com/show/2832>

Nehalem je navržen jako velice komplexní čip a Intel rovnou počítal s jeho nasazením pro všechny segmenty trhu, procesor je navržen jako škálovatelný, a lze ho ve všech směrech snadno rozšířit. „Škálovatelnost architektury Core i7 je prostě unikátní a lze díky ní použít stejnou architekturu procesoru pro stolní počítače, servery i notebooky. Díky novému rozdělení vyrovnávacích pamětí a zavedení sběrnice QPI lze nyní do jednoho procesorového pouzdra umístit dvě, čtyři nebo i osm fyzických jader. Vysoká rychlost QPI navíc umožňuje použití více procesorových patič typu 1366 na jedné základní desce, přičemž komunikace mezi jednotlivými procesory probíhá po samostatných QPI kanálech. Core i7 lze tedy použít i ve dvouprocesorových pracovních stanicích, které se tak budou po uvedení modelů Core i7 s osmi fyzickými jádry moci pochlubit až 32 virtuálními procesory.“ (Littschwager [34])

Tabulka 6 Intel Core i7 Nehalem

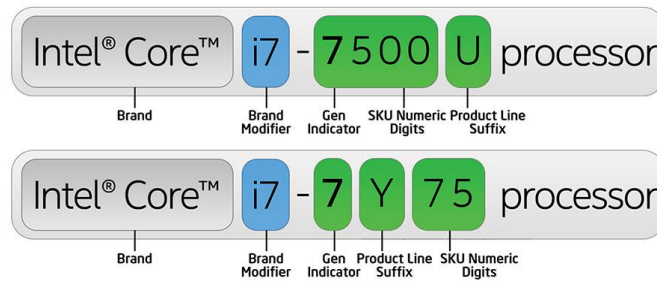
| Kódové označení | Název | Počet jader | L3 Cache | Proces vyrábění | TDP |
|------------------------|------------------------------------|--------------------|-----------------|------------------------|------------|
| Bloomfield | Core i7-9xx | 4 | 8 MB | 45nm | 130 W |
| Lynnfield | Core i7-8xx | 4 | 8 MB | 45nm | 95 W |
| Gulftown | Core i7-970 | 6 | 12 MB | 32nm | 130 W |
| Gulftown | Core i7-9xxX Extreme Edition | 6 | 12 MB | 32nm | 130 W |

Zdroj: vlastní zpracování

Cena těchto procesorů se pochybovala od \$284 za 1000 kusů za Core i7-860, který disponuje čtveřicí fyzických jader a každé z jader je taktováno na 2.66 GHz. Procesor je dále vybaven 8 MB vyrovnávací paměti třetí úrovně (L3 Cache) a každé z fyzických jader disponuje 256 kB vyrovnávací paměti úrovně druhé (L2 Cache). Na druhou stranu, nejdražším procesorem se stal bez překvapení Core i7-990X Extreme Edition, a jeho cena podle RCP vychází na \$1059. Jádro procesoru nese kódové označení Gulftown a je vyráběno 32nm výrobním procesem. Procesor disponuje šesticí fyzických jader a dvojnásobným počtem jader logických v důsledku technologie Hyper-Threading. Každé z jader je taktováno na 3.46 GHz a procesor je vybaven 12 MB vyrovnávací paměti třetí úrovně.

9.4 Značení procesorů – co znamenají písmenka a čísla za názvem procesoru Intel Core?

Jak už bylo řečeno s vydáním mikroarchitektury Nehalem, Intel představil i tři základní varianty, Core i3, Core i5 a Core i7, které nenesou název na základě počtu jader či jiných technických vlastností, ale na základě úrovní od nízkých, přes střední rozsah po špičkový výkon.



Obrázek 11 Značení procesorů Intel Core

Zdroj: <https://www.techarp.com/computer/intel-core-processor-number-guide/2/>

U procesorů Core se před pomlčkou vždy nachází označení výkonnostní řady i3, i5 nebo i7.

První číslo za tímto označením potom udává generaci procesoru a s tím související architekturu, a tudíž i použitou patici. Čím nižší číslo, tím starší generace. Každá generace má kromě čísla kódové jméno pro snadnější orientaci. Nehalem tak představuje 1. generaci, za ní následuje 2. generace označená jako Sandy Bridge, za ní je 3. generace Ivy Bridge atd.

Následující číslo za generačním číslem představuje výkon. Čím vyšší číslo, tím výkonnější je čip. Například procesor Intel Core i5-8400 bude méně výkonný než procesor Core i5-8600. Hned po něm následuje SKU⁷ číslo, dvojčíslí předkládající informaci o grafickém jádru. Dvě nuly značí základní grafický čip a zvyšující se čísla charakterizují grafické čipy vyšších řad.

Na konci modelového čísla se pomocí písmenných přípon popisují další vlastnosti procesoru. Toto číslo je podstatným označením procesorů a udává vlastnosti a rozdílné parametry, které mohou často znamenat značný rozdíl ve výkonu. Některé počítače mají čipy Intel bez písmen. To jsou standardní základní modely čipů, bez speciálních vlastností.

Čipy typu „K“ jsou obvykle nejrychlejší, s vyššími hodinovými rychlostmi než standardní čipy bez písmen v běžných čipech Intel. Znamená to také, že čip je

⁷ Stock Keeping Unit – číslo které výrobce používá k identifikaci svého produktu

„odemčený“. „Varianta základního procesoru s odemčeným násobičem. Díky němu je možné velmi jednoduché taktování, k čemuž je přizpůsobeno také TDP, v případě nejvyšší řady Kaby Lake je to 91 W oproti standardních 65 W.“ (Janů [35])

Přípona „T“ označuje, že čipy jsou navrženy tak, aby používaly méně energie a zároveň měly menší výkon než standardní čipy bez písmen. Dále pak přípona „U“ označuje, že čip je určen pro notebooky a mobilní zařízení, protože „U“ čipy jsou modely Intel s velmi nízkým výkonem. Y označuje extrémně nízký výkon, H označuje že se jedná o vysoce výkonnou grafiku, Q že jde o čtyřjádrový procesor. A stejným postupem lze kombinovat různé kódy, to znamená že HK na konci označení znamená, že se jedná o vysoce výkonnou grafiku s odemčeným násobičem. [36]

| Alpha Suffix | Description | Example |
|----------------|--------------------------------------|--|
| Desktop | | |
| K | Unlocked | 7th Gen Intel® Core™ i7-7700K processor |
| T | Power-optimized lifestyle | 7th Gen Intel® Core™ i7-7700T processor |
| Mobile | | |
| H | High performance graphics | 7th Gen Intel® Core™ i3-7100H processor |
| HK | High performance graphics, unlocked | 7th Gen Intel® Core™ i7-7820HK processor |
| HQ | High performance graphics, quad core | 7th Gen Intel® Core™ i7-7920HQ processor |
| Y | Extremely low power | 7th Gen Intel® Core™ i7-7Y75 processor |
| U | Ultra-low power | 7th Gen Intel® Core™ i7-7500U processor |

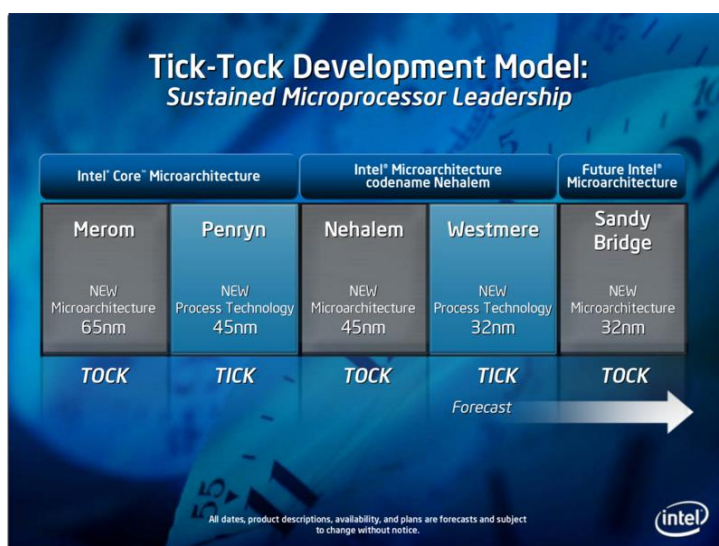
Obrázek 12 Ukázka přípon desktopových a mobilních procesorů

Zdroj: <https://www.uk.insight.com/en-gb/shop/intel/processors/processor-number>

10 Mikroarchitektura Sandy Bridge – architektura druhé generace

V rámci své strategie „tick-tock“, po „tick“ přechodu z Nehalem na Westmere, to znamená z výrobního procesu 45nm na 32nm, přichází i nová architektura, známa pod kódovým označením Sandy Bridge. „Ve filozofii Intelu postavené na milnících nazývaných „Tick–Tock“ je Tick vždy přechod na nový výrobní proces při zachování mikroarchitektury a Tock je naopak přechod na novou mikroarchitekturu na stávajícím výrobním procesu.“ (Wift, [41])

Nová architektura byla představena začátkem roku 2011, spolu s novou patičkou LGA 1155 [37]. Toto je druhá generace mikroarchitektury Core procesoru.

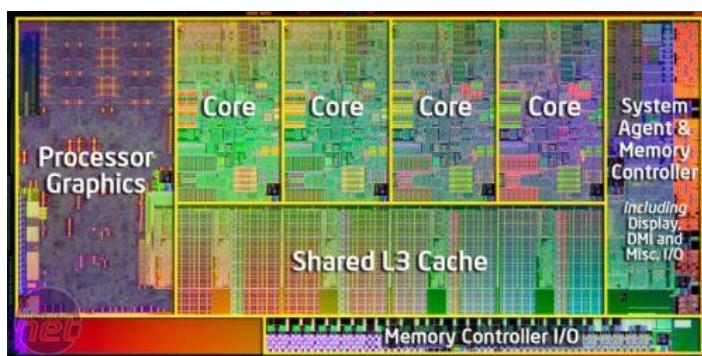


Obrázek 13 Intel Tick-Tock Model

Zdroj: <https://medium.com/@gitapal/intel-went-tick-tock-ios-goes-tick-tick-tock-66c2e91541fe>

Mikroarchitektura Sandy Bridge poprvé v oblasti desktopových čipů od Intelu přináší plnou integraci grafického čipu, který je tak nově na stejném kusu křemíku jako procesorová část. „Ta existuje ve dvou verzích HD Graphics 2000 a HD Graphics 3000. Výkonově jádro HD 3000 odpovídá přibližně výkonu Radeonu HD 5450. Samotné jádro má vlastní frekvenci i napájení, což umožňuje samostatný power management, včetně odpojení bez ohledu na to, jak se chovají ostatní části procesoru. I zde je k dispozici funkce Turbo, takže grafika může svůj výkon škálovat

ze základní frekvence přibližně na dvojnásobek. Grafická část má navíc přímý přístup do L3 cache a může sama alokovat potřebné prostředky a řídit i výběr samotných dat, což přispívá k nárůstu výkonu.“ (Krutý [38]) Čipy Sandy Bridge jsou ve skutečnosti CPU i GPU sloučeny do jednoho čipu a tato změna představuje významný posun na trhu.



Obrázek 14 Mikroarchitektura Sandy Bridge

Zdroj: <https://www.geeks3d.com/20110103/intel-sandy-bridge-processors-cpugpu-launched/>

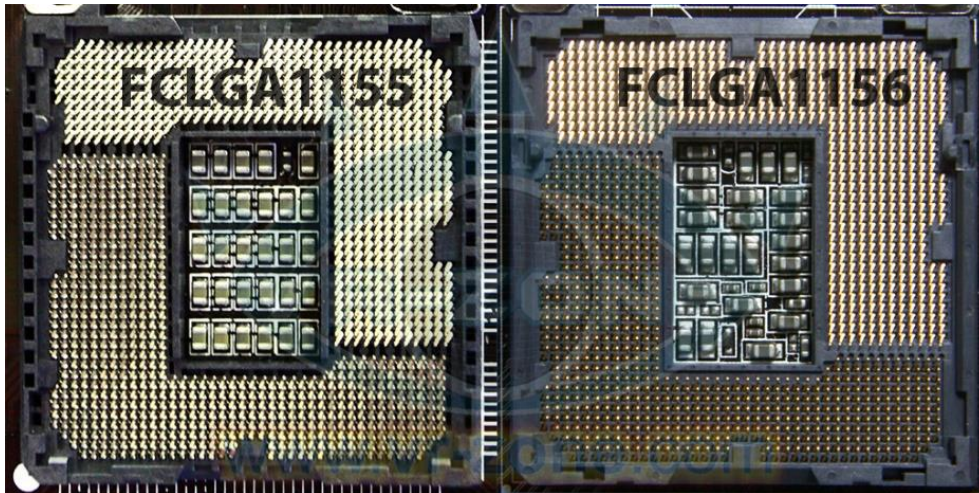
Novější čipy zvýšily účinnost tím, že mají více fyzických a virtuálních jader, stejně jako více práce v každém hodinovém cyklu. Intel také zavedl i Intel Turbo Boost Technology 2.0 [39], která by měla zrychlovat výkon procesoru a grafiky, a to tím že se zvyšuje frekvence tam kde je to nejvíce potřeba, a to do té doby, než se čip dostane na kritickou úroveň TDP.

Tabulka 7 Popis vybraných modelu postavený na Sandy Bridge architektuře

| Název | Počet jader | Frekvence | TDP | L3 Cache | GPU |
|---------------|-------------|-----------|-------|----------|---------|
| Core i3-2120 | 2 | 3.3 GHz | 65 W | 3 MB | HD 2000 |
| Core i5-2400 | 4 | 3.10 GHz | 95 W | 6 MB | HD 2000 |
| Core i5-2500K | 4 | 3.3 GHz | 95 W | 6 MB | HD 3000 |
| Core i7-2700K | 4 | 3.5 GHz | 95 W | 8 MB | HD 3000 |
| Core i7-3970X | 6 | 3.5 GHz | 150 W | 15 MB | Není |

Zdroj: vlastní zpracování

Jak už bylo zmíněno, nové procesory jsou určeny do nové patice LGA 1155, která sice vypadá do jisté míry stejně jako LGA 1156, ale není kompatibilní. To právě z toho důvodu že jsou posunuty klíčové zářezy. Na obrázku číslo 18, v levém a pravém horním rohu je k vidění jeden ztracený pin na socketu, který byl přesunut ze shora dolů.

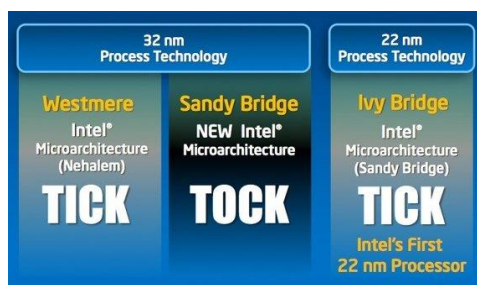


Obrázek 15 Porovnaní patice LGA 1155 a LGA 1156

Zdroj: <https://vrzone.com/articles/lga1155-vs-lga1156-sockets-compared/9234.html>

11 Mikroarchitektura Ivy Bridge – 3. generace

Ivy Bridge je kódové označení pro třetí generaci procesorů Intel Core a na trhu nahradily starší, 32nm procesory Sandy Bridge. Od svého předchůdce zůstává ve své velké části nezměněna, což je v souladu se strategií „tick-tock“. Ivy Bridge je technicky Tick, ovšem spolu s vylepšeními, které tato generace procesorů obsahuje.



Obrázek 16 Ivy Bridge, představující Tick v Intel strategii

Zdroj: https://regmedia.co.uk/2012/05/03/intel_25.jpg

Hlavní novinkou se stál nový 22nm výrobní proces. Druhou zásadní změnou je grafika. Procesory rodiny Ivy Bridge, přinášejí ještě rychlejší grafiku HD 4000 a HD 2500. Ivy Bridge dnes obsahuje 24 procesorů pro stolní počítače ze kterých bude představeno pouze pár nejzajímavějších, jak cenově, tak i parametrově.

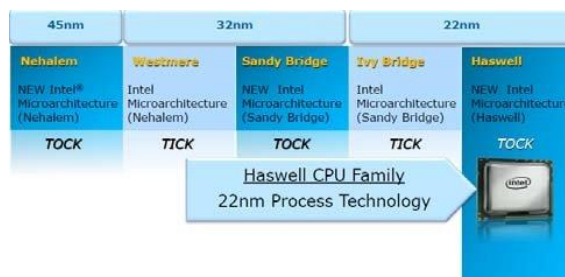
Tabulka 8 Specifikace procesorů rodiny Ivy Bridge

| Název | Core i3- | Core i5- | Core i5- | Core i7- | Core i7- | Core i7- |
|----------------|----------|----------|----------|------------------|----------|----------|
| | 3225 | 3470 | 3570K | 3770 | 3770K | 4960X |
| RCP cena | \$134 | \$184 | \$235 | \$272 - \$305 | \$342 | \$1059 |
| Počet jader | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 6 |
| Základní takt | 3.30 GHz | 3.20 GHz | 3.40 GHz | 3.40 GHz | 3.50 GHz | 3.60 GHz |
| Max. Frekvence | N/A | 3.60 GHz | 3.80 GHz | 3.90 GHz | 3.90 GHz | 4.00 GHz |
| L3 Cache | 3 MB | 6 MB | 6 MB | 8 MB | 8 MB | 15 MB |
| GPU | HD 4000 | HD 2500 | HD 4000 | HD 4000 | HD 4000 | N/A |
| TDP | 55 W | 77 W | 77 W | 77 W | 77 W | 130 W |

Zdroj: vlastní zpracování

12 Mikroarchitektura Haswell

Intel 4. června v roce 2013, na Computexu Taipei 2013, uvedl na trh nové procesory založené na architektuře Haswell [42]. Je to čtvrtá generace procesorů Core a od třetí generace přebírá výrobní proces od 22nm včetně 3D tranzistorů, které byly Intelu poprvé použity u předchozí generace procesorů Ivy Bridge. Intel se stále držel režimu „tick-tock“ a proto Haswell bývá označen jako „tock“ a přináší opět novou architekturu.



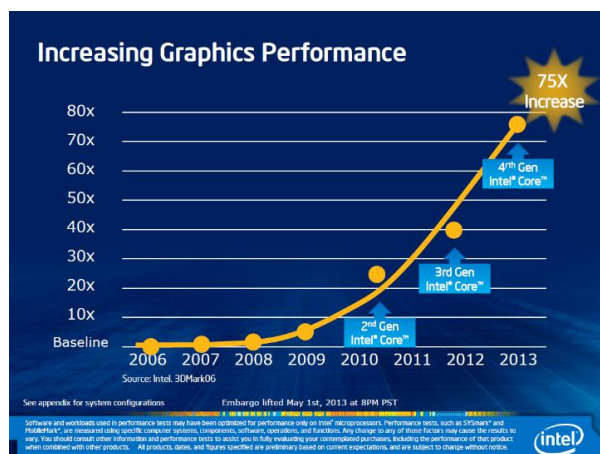
Obrázek 17 Intel Haswell označen jako „tock“

Zdroj: https://www.researchgate.net/figure/Intel-Tick-Tock-Haswell-is-a-Tock-fig2_276280055

Haswell představuje už třetí generaci do které Intel dává integrované grafiky přímo do procesoru, a tato architektura přináší širokou řadu změn i právě tam.

Zatímco u všech procesorů řady Sandy Bridge či Ivy Bridge jsme měli Intel HD Graphics 4000 nebo menší čísla, u Haswellu se setkáme s HD Graphics 4400, 4600 a 5000 a pak zcela novou řadu Iris s modely Iris 5100 a Iris Pro 5200.

„Jednou z velmi specifických věcí, kterou Intel udělal, aby posílil svůj grafický výkon na dražších konfiguracích nazvaných „Iris Pro“, bylo přidání eDRAM. Přidání diskrétní grafické paměti opravdu pomáhá s výkonem, protože používáte vyhrazenou, ne sdílenou paměť, která zlepšuje latenci a šířku pásma. To nyní umožňuje společnosti Intel přístup na střední grafický trh“ (Moorhead [42])



Obrázek 18 Nové a lepší grafické karty v čípech

Zdroj:

https://www.notebookcheck.net/fileadmin/Notebooks/News/Intel/Haswell_Grafi_knews_Mai2013/HW2.png

Iris modelu zahrnovala o řadu lepší integrovanou grafiku než Intel HD 5000 či HD 4000. Od HD 5000 se Iris 5100 liší vyšším TDP a vyšší frekvencí, a Iris Pro má ještě 128 MB vlastní paměti eDRAM na široké sběrnici.

Procesor dostal nové instrukční sady jako AVX2 nebo FMA3 a celkově byla jádra posílena. „Šířka všech tří datových cest mezi mezipamětí L1 a registry procesorů byla zdvojnásobena z 16 B na 32 B. To znamená, že dvě zálohy Advanced Vector Extensions (AVX) a jedno úložiště AVX (velikost 32 B) mohou nyní odejít do důchodu v jednom hodinovém cyklu na rozdíl od dvou hodinových cyklů požadovaných u předchozích architektur. Datová cesta mezi cache L1 a L2 byla rozšířena z 32 B na 64 B... Při použití AVX na Sandy Bridge a Ivy Bridge stačily dvě AGU⁸, protože každé načtení nebo uložení vyžadovalo dokončení dvou cyklů, takže není nutné počítat tři nové adresy v každém cyklu, ale pouze každý druhý cyklus. U Haswell se to změnilo, protože potenciálně mohou maximálně tři operace načítání / skladování nyní odejít do důchodu v jednom cyklu, což vyžaduje třetí AGU“ (Hofmann a spol. [43])

Další nová sada instrukcí přidaná do mikroarchitektury Haswell se nazývá TSX nebo Transactional Synchronization eXtensions a používá se k řešení problémů se

⁸ Address Generation Unit

synchronizací dat, když stejná data mohou být použita různými procesy, které jsou spuštěny současně [44]. Stručně řečeno, TSX umožňuje programátorům psát paralelní kód, který se zaměřuje na použití synchronizace pro správnost, zatímco hardware optimalizuje provádění z hlediska výkonu a souběžnosti. Tyto instrukce mají ovšem užití hlavně v serverovém nasazení, takže běžný uživatel jejich deaktivaci prakticky nepocítí. To, co ale běžný uživatel určitě pocítí je úspora energie, jeden z hlavních taháků procesorů Haswell. „Tato energetická účinnost je výsledkem snahy společnosti Intel o optimalizaci spotřeby energie všech komponent na základní desce. Intel také vybavil architekturu Haswell s větším výkonem a nižšími režimy napájení. Procesory založené na Haswell mohou také přepínat režimy napájení o 25 % rychleji než Ivy Bridge. S Haswell Intel snížil spotřebu energie čipu na 10 W, ze 17 W používaných Ivy Bridge.“ (Tarush a Agrawal [45])

Intel také uvedl nízkoenergetické procesory určené pro konvertibilní nebo „hybridní“ ultrabook⁹ označené příponou „Y“.

⁹ Ultrabook je označení skupiny notebooků, plnicích specifikace stanovené společností Intel

Znovu bude představeno pouze par nejzajímavějších procesorů této architektury, jak cenově, tak i parametrově:

Tabulka 9 Specifikace procesorů mikroarchitektury Haswell

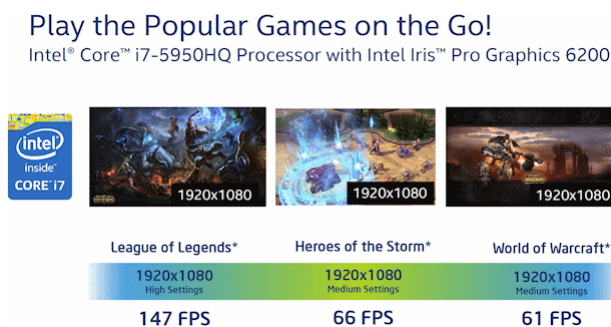
| Název | Core i3-4330 | Core i5-4570 | Core i5-4670 | Core i5-4670R | Core i7-4770 | Core i7-5960X |
|-----------------------|--------------|--------------|--------------|------------------------|--------------|---------------|
| RCP cena | \$138 | \$192 | \$224 | \$276 | \$312 | \$999 |
| Počet jader | 2 | 4 | 4 | 4 | 4 | 8 |
| GPU | HD 4600 | HD 4600 | HD 4600 | Iris Pro 5200 | HD 4600 | N/A |
| Základní takt | 3.50 GHz | 3.20 GHz | 3.40 GHz | 3.00 GHz | 3.40 GHz | 3.00 GHz |
| Max. frekvence | N/A | 3.60 GHz | 3.80 GHz | 3.70 GHz | 3.80 GHz | 3.50 GHz |
| TDP | 54 W | 84 W | 84 W | 65 W | 84 W | 140 W |
| L3 Cache | 4 MB | 6 MB | 6 MB | 4 MB + 128 MB L4 Cache | 8 MB | 20 MB |

Zdroj: vlastní zpracování

Všechny běžné procesory z rodiny Core i7 jsou čtyřjádrové. Extrémní edice dosahují 6 až 8 jader, a jak to bylo i doteď, nemají GPU. Všechny procesory kromě 4770R obsahují grafiku HD 4200. Procesor 4770R, s příponou „R“ která ve čtvrté generaci označovala stolní procesor založený na balíčku BGA1364 (mobilní) s vysoce výkonnou grafikou, obsahuje Iris Pro 5200. Obsahuje již zmíněnou eDRAM a je tudíž větší. Proto je jako jediný desktopový procesor v BGA provedení určeném k pájení přímo na desku a podle Intelu je předurčen do All-in-one desktopů.

13 Broadwell Mikroarchitektura

Hodiny firmy Intel udělaly další „tick“ a společnost představila nové zlepšení architektury Haswell, která využívá 14nm výrobní technologii a za úkol má připravit základ pro následující čipy Skylake, od nichž se očekávají podstatné změny a vylepšení v architektuře, přesně podle známé strategie „tick-tock“. Pátá generace mikroprocesorů nese kódové označení Broadwell a je navržena tak, aby poskytovala výrazně vylepšenou grafiku a zvýšený výkon v menší tepelné obálce. Tato architektura se hlavně zaměřila na mobilní zařízení, tablety a na high-endové desktopové procesory. První desktopové procesory vyšly 2. června 2015 [46]. Intel oznámil dva nové čipy pro desktopové běžné uživatele, Core i7-5775C a Core i5-5675C. Představené byly i čtyři nové procesory pro nadšence pod názvem Core i7-6xxxX. Desktopové procesory zahrnují nové grafické jádro Intel Iris Pro 6200 se 128 MB vlastní paměti eDRAM, s TDP 65 W a pracují na taktu 3,1 GHz / 3,2 GHz s možnou akcelerací až na 3,6 GHz / 3,7 GHz. Pár benchmarků zveřejnil sám Intel a server Notebookcheck.net zveřejnil že „Iris Pro Graphics 6200 se v závislosti na benchmarku chová podobně jako vyhrazená GeForce GT 750M nebo GeForce 940M. Mnoho her z roku 2014 a 2015 lze plynule hrát v rozlišení WXGA (1366 x 768) a nastavení středních detailů. Velmi náročné hry jako The Witcher 3 však vyžadují nižší rozlišení.“ (Hinum [47]) Na Iris Pro 6200 byly i ve Full HD dobře hratelné nejpopulárnější hry, kterými například je „League of Legends“, „Heroes of the Storm“ a „World of Warcraft“.



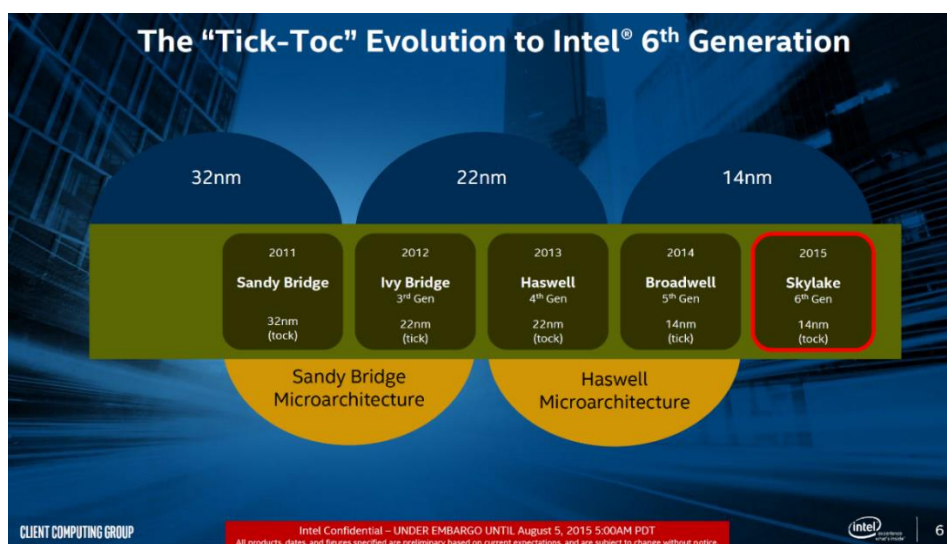
Obrázek 19 Iris Pro 6200 ve Full HD

Zdroj:

https://techreport.com/r.x/2015_6_2_Intels_Broadwell_goes_broad_with_new_desktop_mobile_server_variants/perf-slide2.gif

14 Mikroarchitektura Skylake – 6. generace

Procesory Intel Core šesté generace jsou postaveny na nové mikroarchitektuře Skylake a jsou vyráběny 14nm výrobním procesem. Nová generace procesorů se chlubí vyšším výkonem a nižšími energetickými nároky. Procesory Skylake sdílejí svoji mikroarchitekturu s Kaby Lake, Coffe Lake, Cannon Lake, Whisky Lake a Comet Lake procesory. Skylake architektura se řadí jako poslední architektura, která dosahuje na podporu Microsoftem pro verze starší než Windows 10. To znamená že od architektury Kaby Lake procesory podporují pouze Windows 10. Nová architektura včetně nových procesorů byla představena v srpnu v roce 2015 na veletrhu Gamescom v Německu [58]. Intel uvedl dva výkonné high-endové Skylake-K procesory. Modely nesou označení Core i5-6600K a Core i7-6700K, oba jsou čtyřjádrové procesory, a především jsou určeny pro hráče a náročnější uživatele. Procesor střední třídy běží na základní frekvenci 3,5 GHz, přičemž procesor i7 pracuje na standardní frekvenci 4 GHz, s turboboostem je však schopen se potencionálně dostat až na 4,2 GHz. Oba procesory disponují stejnou integrovanou grafikou Intel HD 530. Oba mají TDP nastavení na 91 W a určeny jsou pro socket LGA 1151. Cena těchto procesorů se pochybuje kolem 242 amerických dolarů, tj. \$339 u i7-6700K.



Obrázek 20 Tick/toc a uvedení nových architektur od Intelu

Zdroj: <https://www.zive.cz/clanky/intel-uvadi-dva-vykonne-14nm-procesory-skylake/sc-3-a-179236/default.aspx>

Kromě těchto procesorů se Intel zaměřil na všechny segmenty, a proto jsou procesory dostupné v pěti variantách: Skylake-Y, Skylake-U, Skylake-H, Skylake-S a Skylake-X. Řady Y, U a H jsou určeny především pro přenosná zařízení, jako jsou notebooky, tablety a tenké ultrabooky, které jsou určeny pro integraci do zařízení přímo samotnými výrobci. Procesory s koncovkami S a X jsou s odemknutým násobičem, a lze je přetaktovat. Řada S je určena pro patice LGA 1151, a řada X či XE je určena pro LGA 2066.

„Novinkou šesté generace procesorů Skylake je funkce Speed Shift, která umožňuje mnohem rychleji a tedy i efektivněji přepínat mezi jednotlivými napájecími stavy procesoru. Změny se týkají nejen frekvence, ale i vypínání jednotlivých částí čipu, které zrovna nejsou používány... Speed Shift je navíc velmi úzce spojený se samotným operačním systémem, dokonce až tak, že některé funkce jsou zatím k dispozici u Windows 10, ale nikoli u Windows 8 a starších. Zatímco dříve trvala komunikace o využití čipu a tedy reakce na změnu frekvence a spotřeby 30 ms, nově je to pouze jedna milisekunda.“ (Javůrek [59])

14.1 Procesory Intel Skylake-X

Na veletrhu Computex, v roce 2017, Intel představil svou novou řadu procesorů Core X-Series a to včetně nejvýkonnějšího 18jádrového procesorů Core i9 [60].



Obrázek 21 Core i9 řady Skylake-X

Zdroj: <https://www.cnews.cz/intel-procesory-skylake-x-core-i9-x299-slevy-pres-50procent/galerie-176608-1/>

Jak ale uvádí Obermaier [61], je to zbytečně předražený procesor a pro mnoho z nás zbytečný produkt který se nedá celou svojí snahou použít. Nejlevnější procesor sedmé generace Skylake-X 2017 stojí 383 amerických dolarů podle databáze Ark, a deváté generace z roku 2019 až o 200 dolarů více. Devátá generace z nabídky odstranila šesti jádrový procesor a mírně zvýšila frekvenci všech procesorů. Skylake-X z roků 2017 se může pochvátit svým 10 jádrovým modelem i9-7900X. Základní takt tohoto modelu je 3,3 GHz a umí všechna jádra přetaktovat na 4,3 GHz a jedno jádro za pomoci Turbo Boost Max 3.0 zvládne potencionálně přetaktovat až na 4,5 GHz.

V následující tabulce jsou uvedené parametry procesorů Skylake-X:

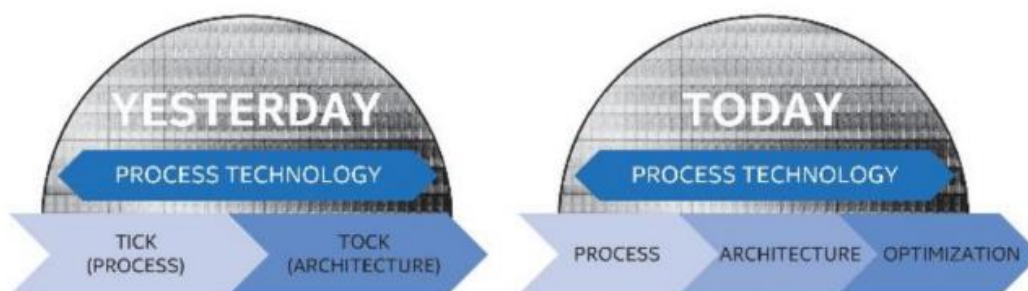
Tabulka 10 Procesory Intel Skylake-X z roku 2017 a 2019

| Název | Core i7-7800X | Core i9-7900X | Core i9-7980XE | Core i7-9800X | Core i9-9900X |
|---------------------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|
| Počet jader | 6 | 10 | 18 | 8 | 10 |
| Základní frekvence | 3.50 GHz | 3.30 GHz | 2.60 GHz | 3.80 GHz | 3.50 GHz |
| L3 cache | 8.25 MB | 13.75 MB | 24.75 MB | 16.5 MB | 19.25 MB |
| TDP | 130 W | 140 W | 165 W | 165 W | 165 W |
| RCP | \$383 | \$989 | \$1999 | \$599 | \$999 |

Zdroj: vlastní zpracování

15 Sedmá generace Intel Core procesoru oznámila rozchod s tick-tock modelem

Kaby Lake je třetí generací procesorů Intel postavenou na 14nm výrobním procesu. Od svého předchůdce dědí stejnou architekturu jader, a proto se očekávalo, že Intel brzy opustí několikaletý model tick-tock. První naznak, že by Intel mohl upustit od své staré známe strategie bylo uvedení Haswell-refresh na trh a generací Kaby Lake. V porovnání vůči Skylaku je Haswell-refresh spíše optimalizací, než rázným krokem vpřed. Starou metodu nahradil Intel novým modelem proces-architektura-optimalizace, kde je po vytvoření nové architektury tato nová architektura optimalizována. Je to v podstatě metoda „tick-tack-tock“, kdy po změnách „proces“ a „architektura“ nově přibývá „refresh“ [48].



Obrázek 22 Přejchod na PAO metodu

Zdroj: https://images.anandtech.com/doci/10610/Tech_575px.png

Tato architektura byla oznámena 30. srpna 2016, zároveň je nutné podotknout, že kdyby Intel neupustil od staré strategie, tak by byl bez nového procesoru téměř dva roky, což je pro Intel nepřijatelné. Společnost Intel také uvedla, že řada klíčových výhod pro Kaby Lake bude založena na optimalizovaném procesu 14nm, nazvaném 14nm+. „Tentokrát nejde jen o evoluční vychytávání much, došlo ke dvěma zásadním změnám ve struktuře FinFET výroby. Žebra (T_{fin}) jsou vyšší (než 42 nm u generací Broadwell / Skylake) a jsou od sebe vzdálena více (než 42 nm u generací Broadwell / Skylake). Větší vzdálenost je spojována s nižší dosažitelnou denzitou, vyšším potřebným napětím a zjednodušením výroby; v kombinaci s úpravou výšky byl ale negativní důsledek v podobě vyšší spotřeby eliminován (vyšší žebra, nižší proud). Vhodným vyvážením těchto specifik se Intelu podařilo dosáhnout situace,

kdy je celková spotřeba při konkrétním taktu nižší, jsou dosažitelné vyšší taktovací frekvence a patrně se sníží výrobní náklady (což ale minimálně zčásti vyruší nižší denzita, tzn. o něco vyšší plocha čipu oproti původní variantě procesu). Intelu 14nm+ výroba umožňuje dosáhnout vyššího výkonu (takty) pro desktopové čipy i nižší spotřeby pro mobilní čipy, takže ji i přes některé dílčí kroky zpět lze chápat jako pragmatický krok pro vyřešení současné situace.“ (Souček [49])

Tyto procesory, kromě nové výrobní technologie, přinesly i podporou 4K grafiky, která hraje klíčovou roli pro virtuální realitu. Další technologie Intel jsou také představeny, například technologie Thunderbolt™ 3 a nejnovější Intel® Solid-State Drive pro ještě větší zvýšení výkonu.

„Nativní podpora Thunderboltu 3 by měla vést k rychlému rozšíření výkonných portů USB 3.1 Type-C gen 2, tedy oboustranných malých portů s extrémně vysokými přenosovými rychlostmi (10 Gbit/s) a kompatibilitou s přenosem obrazu přes protokol DisplayPort. V podstatě každý notebook s tímto portem je dokovatelný, protože na to konečně stačí rychlosti jediné zdířky... Intel věnoval velkou pozornost hardwarové podpoře 4K video, konkrétně podpoře H.264, HEVC a VP9 a přidává nativní podporu HDCP 2.2 (High-bandwidth Digital Content Protection), tedy speciální DRM ochranu. Výsledkem by mělo být výrazné snížení procesoru během přehrávání takového obsahu – z 60% vytížení u Skylaku ke zhruba 5% vytížení u Kaby Lake procesorů. 4K video sice na displejích notebooků nepřehráváme příliš často, ale úspory energie by se měly projevit v podstatě u veškerého HD obsahu, tedy i při youtube během cesty vlakem.“ (Pavlis [50])

Kaby Lake je také první architekturou typu Core umožňující hyper-threading u procesorů s označením Pentium a přetaktování některých čipů s označením i3 [51]. Takto se Intel Core i3-7350K s odemčeným násobičem stal velmi atraktivním modelem u celé řady zákazníků.

Tabulka 11 Technické údaje procesorů Kaby Lake

| Název | Pentium G4620 | Core i3- 7350K | Core i5- 7400 | Core i5- 7600K | Core i7- 7700K |
|--------------------------------|------------------|-------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Počet jader | 2 | 2 | 4 | 4 | 4 |
| Taktovací frekvence | 3.70 GHz | 4.20 GHz | 3.00 GHz (3.50 GHz) | 3.80 GHz (4.20 GHz) | 4.20 GHz (4.50 GHz) |
| Mezipaměť | 3 MB | 4 MB | 6 MB | 6 MB | 8 MB |
| Grafická karta | HD 630 | HD 630 | HD 630 | HD 630 | HD 630 |
| TDP | 51 W | 60 W | 65 W | 91 W | 91 W |
| RCP cena | \$93 | \$179 | \$182 | \$243 | \$350 |

Zdroj: vlastní zpracování

16 Osmá generace procesorů Intel Coffee Lake

První čip této architektury přišel v roce 2017. První procesory musely přijít spěšně na trh, a to právě z důvodu probouzení společnosti AMD která v této době vydala konkurenceschopné procesory Ryzen. Ryzen 1000 nabídl 8jádrový procesor za stejnou cenu 4 jádrového procesoru Intel a 16 jádrový za cenu 8 jádrového Intelu.

Proti Kaby Lake je nový jen počet jader a drobné opravy, žádná změna architektury se neodehrála. V rámci série CoffeeLake společnost Intel přidala do modelové řady procesorů Core i3 poprvé pravá čtyřjádra, Core i5 jsou už šestijádrové a Core i7 dosahují s hyper-threadingem až 12 vláken. Tyto procesory byly stejně jako předchozí generace vyráběny 14nm výrobním procesem. „Rozdíl je ale v tom, že se jedná o vylepšený 14 nm++ FinFET proces s velkým počtem vylepšení, která umožňují dosažení vyššího výkonu při stejné spotřebě. Nárůst výkonu v prvních testech ukazuje, že se jedná přibližně o 15 – 30 % v jednom vlákne a přibližně 50 – 60 % v multivlákně oproti předchozí generaci.“ (Techmaster [54])

Intel toho ve své nové architektuře očividně moc nezměnil. Špatnou zprávou je i to, že nové procesory nejsou kompatibilní se stávajícími deskami. Intel totiž musel díky přepracované architektuře upravit i čipset, a proto procesory Coffee Lake bude možné používat pouze na nových deskách s čipsetem řady 300.

Na obrázku číslo 25 je k vidění rozdíl mezi zcela novou architekturou společnosti AMD, Ryzen 2000 Series a 8. generací Intel Core. Většinu trhu tvoří procesory z rodiny Intel Core i7, tj. i5, a Ryzen 7 tj. Ryzen 5. Jak vidíme, ceny jsou mezi konkurencí velice srovnatelné, přičemž Ryzen 7 nabízí 8 jádrový procesor a více mezipaměť za stejnou cenu za kterou Intel nabízí pouze 6 jader. Na druhou stranu, Intel oproti AMD drží vyšší výkonnost jádra, a to díky svým vyšším frekvencím.

Na obrázku číslo 23 je k vidění že, Ryzen 7 dosahuje maximálně 4,3 GHz u modelu 2700X, zatímco Intel u modelu i7-8700K dosahuje až o 400 MHz více.

| | AMD Ryzen 7 2700X | Intel Core i7-8700K | AMD Ryzen 7 2700 | Intel Core i7-8700 | AMD Ryzen 5 2600X | Intel Core i5-8600K | AMD Ryzen 5 2600 | Intel Core i5-8400 |
|-----------------------------|-------------------|---------------------|------------------|--------------------|-------------------|---------------------|------------------|--------------------|
| MSRP | 329 \$ | 359 \$ | 299 \$ | 303 \$ | 229 \$ | 257 \$ | 199 \$ | 182 \$ |
| Jádra / nitě | 8/16 | 6/12 | 8/16 | 6/12 | 6/12 | 6/6 | 6/12 | 6/6 |
| TDP | 105 W | 95 W | 65 W | 65 W | 95 W | 95 W | 65 W | 65 W |
| Základní frekvence (GHz) | 3.7 | 3.7 | 3.2 | 3.2 | 3.6 | 3.6 | 3.4 | 2.8 |
| Precision Boost Freq. (GHz) | 4.3 | 4.7 | 4.1 | 4.6 | 4.2 | 4.3 | 3.9 | 4.0 |
| Mezipaměť (L3) | 16 MB | 12 MB | 16 MB | 12 MB | 16 MB | 9 MB | 16 MB | 9 MB |

Obrázek 23 AMD Ryzen 2 vs Intel Coffee Lake

Zdroj: <https://www.tomshardware.com/reviews/intel-coffee-lake-ryzen-2,5615.html>

Protože se společnosti Intel i AMD zaměřují především na hry je velice důležité, že v tomto segmentu Intel právě díky vyšším frekvencím má lepší pozici na trhu. Procesory Intel vedou v titulech, které využívají zvýšenou frekvenci a instrukce za cyklus hodin, jako je například hra Grand Theft Auto 5. Nicméně, procesory od společnosti AMD jsou konkurenceschopné v herní titulech, díky efektivnosti využívat jejich další jádra

16.1 První i9 procesor osvěženého Coffee Lake

Architektura označená jako Coffee Lake Refresh přinesla řadu i9 procesorů, které nabízí 8 jader a 16 vláken. Obrovským pokrokem oproti základní Coffee Lake architektuře je schopnost těchto procesorů, pracovat na 5GHz frekvenci i při maximálním zatížení všech 8 jader. V tabulce 11 jsou popsány nové modely osvěžené architektury, včetně nejdůležitějších parametrů. Jak je vidět, Intel odstranil Hyper-threading technologii z řady procesorů i7, které mají 8 jader, a to znamená že mají i 8 vláken. Hlavní rozdíly mezi nejvýkonnějšími procesory z řady

i5, i7 a i9, je maximální turbo a mezipaměť. Všechny níže uvedené procesory disponují UHD 630 grafickou kartou.

Tabulka 12 Nejvýznamnější procesory Coffee Lake Refresh generace

| Název | Core i3-9100 | Core i5-9600K | Core i7-9700K | Core i9-9900K |
|-----------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| Počet jader (vlákna) | 4 (4) | 6 (6) | 8 (8) | 8 (16) |
| Taktovací frekvence | 3.60 GHz | 3.70 GHz | 3.60 GHz | 3.60 GHz |
| Turbo | 4.20 GHz | 4.60 GHz | 4.90 GHz | 5.00 GHz |
| Mezipaměť | 6 MB | 9 MB | 12 MB | 16 MB |
| RCP | \$122 | \$262 | \$374 | \$488 |

Zdroj: vlastní zpracování

17 Intel Cannon Lake a Ice Lake – 10nm éra

Intel se dlouhou dobu trápil s přechodem z 14nm výrobní technologie na 10nm. Měl obrovské zpoždění s vypouštěním prvního 14nm procesoru, a proto musel vydat dvě mezilehlé generace procesorů Kaby Lake a Coffee Lake, které byly jen drobnými aktualizacemi, oproti pět let staré architektuře Skylake. Konečně začátkem roku 2018 Intel úspěšně uvedl na trh Cannon Lake, založen na 10nm výrobní technologii. Bohužel se tato architektura stala nejkratší existující architekturou, do které patří pouze jeden dvoujádrový procesor Intel Core i3-8121U, a proto se tato architektura považuje spíše za zkušební architekturu, při výrobě 10nm procesorů. Tento procesor nemá žádné grafické jádro a na to poukazují i informace z otevřené databáze Ark. Problém představuje i to, že uživatel za tuto cenu očekává přítomnost grafiky a i to, že v segmentu notebooků má integrovaná grafika přispět k delší výdrži baterie. Intel stále nemá žádný 10nm desktopový procesor, protože tato architektura zatím byla zaměřena pouze na notebooky a mobilní industrii. Intel uvádí že Sunny Cove, nové jádro desáté generace, zvyšuje IPC¹⁰ až o 18 % v porovnání s jádrem Skylake (1GHz Ice Lake tedy má mít výkon jako 1,18GHz Skylake) [56]. Intel ve své nejnovější architektuře kromě IPC zvýšil mezipaměť L1 z 32KB na nově 48KB a zdvojnásobil L2 cache z 256 KB na 512 KB. Ice Lake je konečně prvním 10nm procesorem, který se bude prodávat na trhu ve větším množství. Intel doteď představil 11 modelů, 3 procesory řady i3 a stejně tolik procesorů řady i7 a 5 procesorů řady i5. V nejnižší řadě jsou stále pouze 2 jádra se čtyřmi vlákny, střední a nejvyšší řada jsou se čtyřmi jádry a osmi vlákny. Nejvýkonnější procesor desáté generace by měl být Core i7-1068G7, který vyjde v první čtvrtině roku 2020 [57]. Tento procesor má nastaven TDP na 28 W, má vyšší turbo než ostatní procesory. Frekvence turba vychází až na 4,1 GHz. Kromě toho má vyšší základní frekvence a samozřejmě se očekává i vyšší cena, než je stanovená pro i7-1065G7 která vychází na 426 amerických dolarů.

¹⁰ Instructions Per Cycle

10TH GEN INTEL CORE "ICE LAKE" PROCESSORS

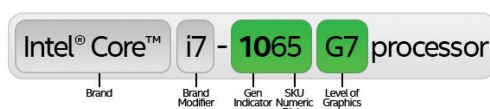
| | Processor Number | IA Cores/ Threads | Graphics (EUs) | Cache | Nominal TDP/ ConfigUP TDP | Base Freq (GHz) | Max Single Core Turbo (GHz) | Max All Core Turbo (GHz) | Graphics Max Freq (GHz) | Intel® DL Boost/ GNA |
|----------|------------------------|----------------------|-------------------|-------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| U-Series | Intel® Core™ i7-1068G7 | 4/8 | 64 | 8MB | 28W | 2.3 | 4.1 | 3.6 | 1.10 | ✓ |
| | Intel® Core™ i7-1065G7 | 4/8 | 64 | 8MB | 15W/25W | 1.3 | 3.9 | 3.5 | 1.10 | ✓ |
| | Intel® Core™ i5-1035G7 | 4/8 | 64 | 6MB | 15W/25W | 1.2 | 3.7 | 3.3 | 1.05 | ✓ |
| | Intel® Core™ i5-1035G4 | 4/8 | 48 | 6MB | 15W/25W | 1.1 | 3.7 | 3.3 | 1.05 | ✓ |
| | Intel® Core™ i5-1035G1 | 4/8 | 32 | 6MB | 15W/25W | 1.0 | 3.6 | 3.3 | 1.05 | ✓ |
| | Intel® Core™ i3-1005G1 | 2/4 | 32 | 4MB | 15W | 1.2 | 3.4 | 3.4 | 0.90 | ✓ |
| Y-Series | Intel® Core™ i7-1060G7 | 4/8 | 64 | 8MB | 9W/12W | 1.0 | 3.8 | 3.4 | 1.10 | ✓ |
| | Intel® Core™ i5-1030G7 | 4/8 | 64 | 6MB | 9W/12W | 0.8 | 3.5 | 3.2 | 1.05 | ✓ |
| | Intel® Core™ i5-1030G4 | 4/8 | 48 | 6MB | 9W/12W | 0.7 | 3.5 | 3.2 | 1.05 | ✓ |
| | Intel® Core™ i3-1000G4 | 2/4 | 48 | 4MB | 9W | 1.1 | 3.2 | 3.2 | 0.90 | ✓ |
| | Intel® Core™ i3-1000G1 | 2/4 | 32 | 4MB | 9W | 1.1 | 3.2 | 3.2 | 0.90 | ✓ |

All with integrated Intel® Wi-Fi 6 (Gig+) and Thunderbolt™ 3

Obrázek 24 Procesory desáté generace Ice Lake

Zdroj: <https://www.cnews.cz/wp-content/uploads/2019/08/Parametry-10nm-CPU-Intel-Ice-Lake.jpg>

Jak je k vidění na obrázku 25, Intel změnil klasické označení úsporných procesorů písmenem Y a U. Desítka na začátku ukazuje, že se jedná o desátou generaci a druhé dvě číslice označují jednotlivé modely, zatímco poslední číslice rovnou ukazuje i TDP procesoru. Tímto způsobem jsou 15 W procesory ukončeny pětikou, 9 W nulou, a 28 W model má na konci osmičku. Géčko na konci označuje integrovanou grafiku a číslo za písmenem označuje, jak moc je tato grafika výkonná. G1 označuje že jde o UHD grafiku, G4 obsahuje 48 EU¹¹ Iris Plus grafiku, a G7 obsahuje maximálních 64 EU. Frekvence těchto GPU se pochybuje od 0.9 do 1.1 GHz.



Obrázek 25 Označení procesorů Ice Lake

Zdroj: <https://www.intel.com/content/www/us/en/processors/processor-numbers.html>

¹¹ Execution unit – prováděcí jednotka

18 Mikroarchitektura AMD K10

Nová architektura AMD K10 je pokračováním předchozí 64bitové architektury s integrovaným paměťovým řadičem AMD K8. První zmínky o architektuře K10, respektive dříve pojmenované K8L, se objevují v médiích už koncem roku 2006. Nové jádro bylo oficiálně představeno v roce 2007 a byla nahrazeno bylo až v roce 2011. Prvními procesory této nové mikroarchitektury byly serverové čipy Opteron, třetí generace založené na jádru s kódovým označením Barcelona. Barcelona byl také jeden z největších komerčně uvedených čipů od AMD. Hlavním vylepšením mikroarchitektury K10 oproti K8 je to, že na předchozích procesorech založených na mikroarchitektuře K8, byl datový tok pouze 64 bitů. Nová architektura přináší 128bitové interní datové cesty. Toto vylepšení umožňuje procesoru zpracovávat úplnou SIMD (SSE) v jednom hodinovém cyklu, čímž se zkracuje doba potřebná k přechodu na další instrukci, což ovlivňuje zkrácení doby kódování a dekódování na polovinu. SSE (Streaming SIMD Extensions) instrukce slouží k zajištění zpracování více dat v jednom cyklu (SIMD – single instruction multiple data) a zrychlují především výpočty v plovoucí desetinné čárce. Při zpracovávání pomocí instrukcí SSE, tak dochází k celkovému zrychlení výpočtu [16].

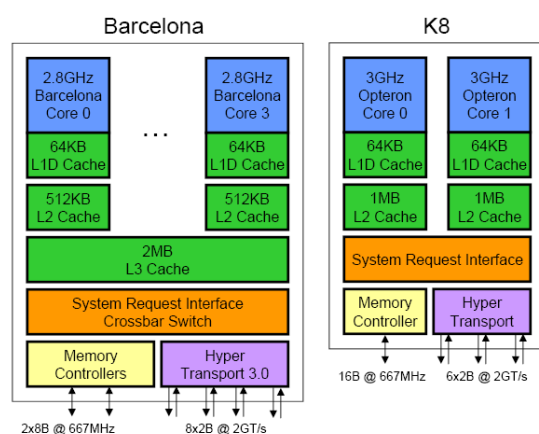
AMD tuto novou funkci nazval „AMD Wide Floating Point Accelerator“. Tuto funkci a samotné jádro Barcelona nejlépe popisuje Padua [17] ve své knížce Encyclopedia of Parallel Computing:

„Jeden pozoruhodný rys byl “široký plovoucí bodový akcelerátor,” který zdvojnásobil hrubé výpočetní datové cesty s pohyblivou desetinnou čárkou a jednotky s pohyblivou desetinnou čárkou ze 64 bitů na 128 bitů. Jádro Barcelona 2,5 GHz mělo špičkovou rychlost výpočtu 20 GFlops¹²; čtyřjádrová Barcelona by pak mohla dodat 80 GFlops ve špičce (dvakrát tolik jader, každé s dvojnásobným výkonem). Toto zdvojnásobení hrubé výpočetní šířky pásma každého jádra bylo doprovázeno zdvojnásobením šířky pásma načtení instrukcí (ze 16 bajtů / cyklus na 32 bajtů / cyklus) a zdvojnásobením šířky pásma mezipaměti dat (každé 128bitové zátěže lze obsluhovat každý hodinový cyklus), což umožňuje zbytku

¹² Zkratka pro počet operací v pohyblivé řádové čárce za sekundu – gigaFLOPS 10⁹

potrubí přivádět nové jednotky s pohyblivou řádovou čárkou s vyšší šířkou pásma. Zejména instrukce SSE obsahují jeden nebo více bajtů předpony, často používají předponu REX ke kódování dalších registrů a mohou být poměrně velké. Zvýšená šířka pásma načtení instrukcí byla proto důležitá pro udržení rovnováhy potrubí a schopnosti napájet vysoce výkonné širokoúhlé jednotky s pohyblivou řádovou čárkou. Barcelona představila nový „nevyrovnaný režim SSE“, který umožnil jediné instrukci SSE načíst a provést operaci SSE, aniž by bylo třeba se zabývat vyrovnáním. Dříve museli uživatelé používat dvě instrukce (nepřidělené zatížení následované provedením operace). Tento nový režim dále snížil tlak na dekodéry instrukcí a také snížil tlak v registru. Režim uvolnil chybný pokus o zjednodušení architektury penalizací nezařazených operací a později byl přijat jako standard x86. Mnoho důležitých algoritmů, jako je například dekomprese videa, může těžit z vektorových instrukcí, ale nemůže zaručit zarovnání ve zdrojových datech (například pokud jsou vstupní data komprimována).“ (Padua [17])

Barcelona zahrnovala i vylepšený prediktor větve, pomocí většího počtu bitů pro globální historii ke zlepšení přesnosti a také zdvojnásobení velikosti zpětného zásobníku. Pro zlepšení PUSH/POP pokynů byl přidán „optimalizátor zásobníku postranního pásma“. Na velikosti 233mm² se vešlo 463 milionů tranzistorů, které byly použity k implementaci čtyř jader (každé s 512KB vyrovnávací paměti druhé úrovně) a sdílené 2 MB L3 cache v procesu AMD 65nm. Obrázek 7 porovnává jádro Barcelona s předchozí architekturou K8.



Obrázek 26 Srovnání architektury jádra

Zdroj: <https://www.realworldtech.com/barcelona/>

Celkově bylo jádro Barcelona komplexní, ale evoluční vylepšení oproti předchozímu designu. Barcelona zůstala kompatibilní s předchozími generacemi procesorů AMD Opteron a využila stabilní architekturu AMD Direct Connect a nákladově efektivní komoditní paměťovou jednotku DDR2.

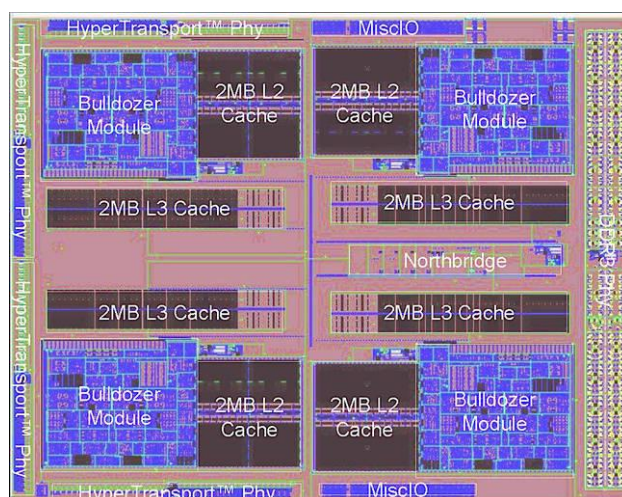
Po Barceloně následoval procesor AMD Opteron s kódovým označením Shangai, který byl vyráběn novou 45nm výrobní technologií a zahrnoval větší 6M sdílenou L3 cache. Mezi další zlepšení výkonu jádra patří rychlejší provozní frekvence a rychlejší DDR2 a HyperTransport. Shangai byl představen v listopadu 2008.

Po Shangaji následoval procesor AMD Opteron s kódovým označením Istanbul, který integroval šest jader do jediné matrice. Jádra uvnitř Istanbulu se neliší od jader nalezených v Shangaji. Istanbul zavádí pouze několik vylepšení jako je funkce HT Assist, která podstatně snížila přenos sond v systému.

Na konci března AMD představil novou řadu procesoru AMD Opteron 6100 Series, které nesou kódové označení Magny-Cours. Představeny byly osmi a dvanácti jádrové čipy. Nové 45nm čipy AMD jsou vybaveny dvanácti, tj. osmi jádry, šesti megabajty L2 cache u dvanácti jádrového procesoru a 8 MB u osmi jádrového. Oba procesory zahrnovali dvakrát po 6M sdílenou L3 cache paměť. Každý procesor je vybaven čtyřmi HyperTransport 3.1 linkami s maximální propustností 6400 MT/s (6.40 Giga Transakcí za vteřinu) a řadičem pro registrované DDR3 paměti. Každý HyperTransport link je tvořen dvěma point-to-point spojeními, z nichž každé komunikuje jedním směrem. Finální tečkou architektury K10 Opteronů se staly procesory řady 4000, které nesou název Lisbon a to s čtyři a šest jádry. Zároveň s nimi byl představen i nový socket C32.

19 Bulldozer Architektura

Bulldozer je kódové označení procesorových jader společnosti AMD, která nahradila architekturu K10. Architektura Bulldozer byla vydaná 12. října 2011. Je vyvinutá kompletně od začátku a z předchozí generace si půjčuje jen některé znaky [62]. V nové architektuře, se nenacházejí žádná samostatná jádra. Místo toho jsou jádra seřazena do tzv. modulů, obsahujících pokaždé samostatná jádra. Jestli modul Bulldozeru představuje jedno jádro se dvěma vlákny, nebo dvě jádra se sdílenou FPU je debata k polemizování, která se dokonce řešila i u soudu v Americe od roku 2015 až do konce roku 2019. AMD podle dohody s žalující stranou vyplatila celkem 12,1 milionu dolarů [63].



Obrázek 27 Bulldozer moduly

Zdroj: https://www.theregister.co.uk/2015/11/06/amd_sued_cores/

Jde v podstatě o stejný princip, na kterém je založen Hyper-threading u procesorů Intel. Rozdíl ale spočívá v tom, že dvě logická vlákna sdílí všechny prostředky fyzického jádra, a proto představoval to stejné, co i čtyřjádrový procesor Intel s HT technologií. A právě zklamání uživatelů, přineslo řadu špatných zpráv pro AMD, od opuštění velkého počtu vedoucích pracovníků, přes malý prodej procesorů až k soudu, jak už bylo zmíněno. A jediný rozdíl od Hyper-threadingu je to, že jednotlivé moduly nelze vypnout pro aplikace, které nemají měřítko nad čtyřmi jádry.

Nové procesory jsou vyráběny moderním 32nm výrobním postupem a díky tomu se podařilo zlepšit efektivitu zpracování, při současném zvýšení výkonu a snížení

tepelného vyzařování. Velikost mezipaměti je výrazně zvýšená oproti předchozí generaci nebo Sandy Bridge, ale zároveň je i mnohem pomalejší. Zpřístupnění cache L2 u Bulldozeru trvá dokonce i při 4,6 GHz, což je o 40 % rychlejší než Thuban, o 40 % déle což významně poškozuje výkon čipu [64]. A bylo jasně vidět že AMD na dokončení asi neměla peníze ani čas, a jádro šlo na trh uspěchané a nedodělané.

AMD představil celkem 14 procesorů v první fázi architektury Bulldozer.

19.1 Druhá generace Bulldozeru

AMD Piledriver je vyvinutá jako nástupce druhé generace, založené na Bulldozeru. O rok po uvedení prvních procesorů architektury Bulldozer, uvedl AMD mírně vylepšené nástupce. Hlavním cílem druhé generace bylo uklidnit trh a splnit očekávání. A tím se toto vydání liší oproti předchozí generaci, která se neobešla bez vlny emocí. Piledriver byl také poslední generací rodiny Bulldozer, která byla k dispozici pro soket AM3+. AMD.

S Piledriverem se podařilo o něco zvýšit efektivitu, zrychlit přenosy dat, doplnit nové instrukční sety a vyvážit frekvence a spotřebu. Piledriver sice pořád nemohl konkurovat procesorům z řady Intel Core i7, ale splnil očekávání a sliby, které výrobce začátkem roku dal. Díky novému jádru se dokonce AMD dostalo na 5 GHz, čímž Intelu ukázali, že mu následující roky budou schopni konkurovat.

19.2 Třetí a čtvrtá generace Bulldozeru

Obecně není modulární platforma AMD Bulldozer považována za tu nejpovedenější. První úpravy přinesla až 2. generace Piledriver. Stejně tak další úpravy přináší třetí generace pojmenovaná Steamroller. Parní válec neboli Steamroller představil nový výrobní proces 28nm. Až u čtvrté generace, která byla pojmenovaná jako Excavator, AMD výrazně snížil spotřebu při stávajícím výkonu. Zároveň byly představeny i procesory se stejnou spotřebou, ale vyšším výkonem. Obě generace vyházeli z konceptu Bulldozeru a proto, se od nich moc neočekávalo. Největší změnou oproti předchozí generaci, je zdvojení instrukčních dekodérů celočíselné části, která zdvojnásobila rychlost dekodování.

20 Architektura Zen a procesory Ryzen

Na začátku musím říct, že jde o architekturu, která AMD vrátila na trh a označila návrat ke klasické struktuře plnohodnotných jader CPU. To je nejzásadnějším počinem, s kterým firma přišla od příchodu Bulldozeru. AMD delší dobu nebyl schopen konkurovat Intelu a zachraňovala jej především grafická divize. Zatím co Intel představoval v režimu tick-tock jednu generaci za druhou, AMD se snažil vyladit problémy které vznikly při tvorbě Bulldozer architektury. Zen architektura je první zcela novou architekturou AMD od roku 2011, kdy vydala architekturu Bulldozer a představuje kompletní redesign procesoru AMD.

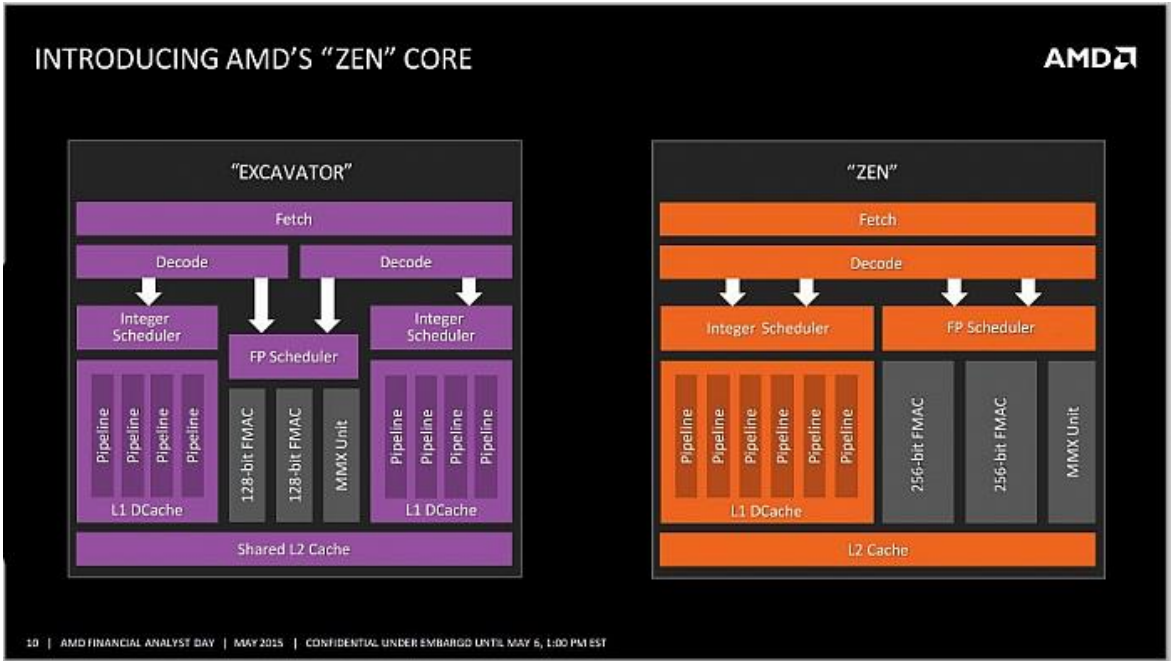


Obrázek 28 Logo pro mikroarchitekturu Zen

Zdroj:

https://www.notebookcheck.net/fileadmin/_processed_/csm_amd_zen_black_logo_210_9932_1992639d5c.png

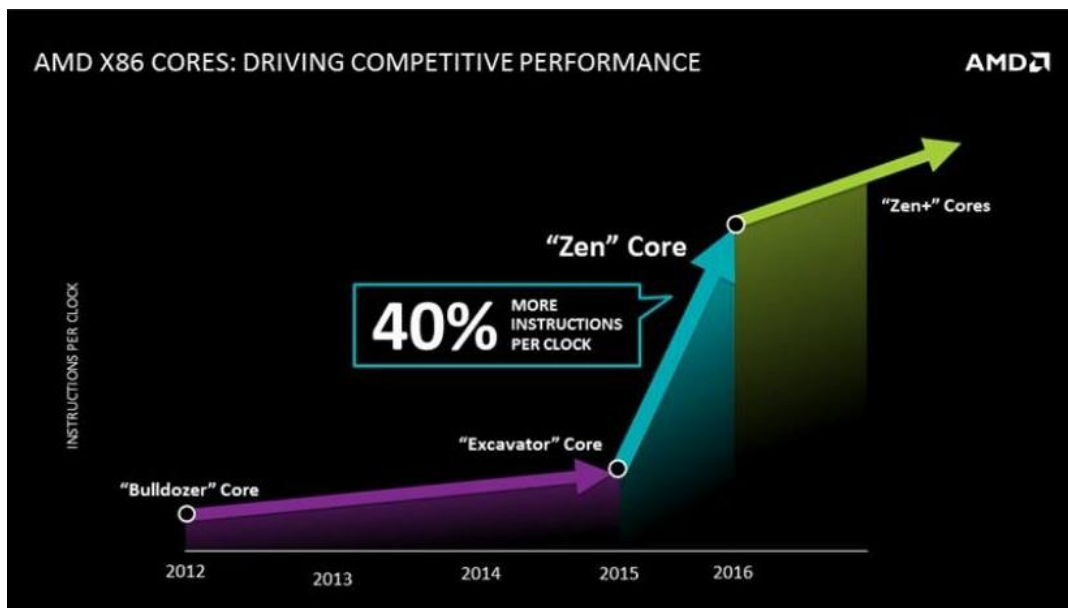
Nová architektura nevyhází z předchozí architektury Bulldozer a je postavená na novém 14nm výrobním procesu FinFET a při stejném výkonu má nižší spotřebu a zvládá více instrukcí za jednotku času [65].



Obrázek 29 Rozdíl mezi architekturou Excavator a Zen

Zdroj: <https://www.cnews.cz/z-amd-zrejme-unikly-detaily-jadra-zen-konec-modulu-vic-alu-ht-256bitove-simd/>

Společnost AMD začátkem roku 2017 vydala první Ryzen procesory postavené na nové architektuře které nesou název Ryzen 3, 5 a 7 a zároveň mají také kódové označení Summit Ridge. AMD se především zaměřil na zvýšení IPC a dokonce tvrdí, že výkon na jeden hodinový cyklus vzrostl oproti Excavatorům o 40 % [66].



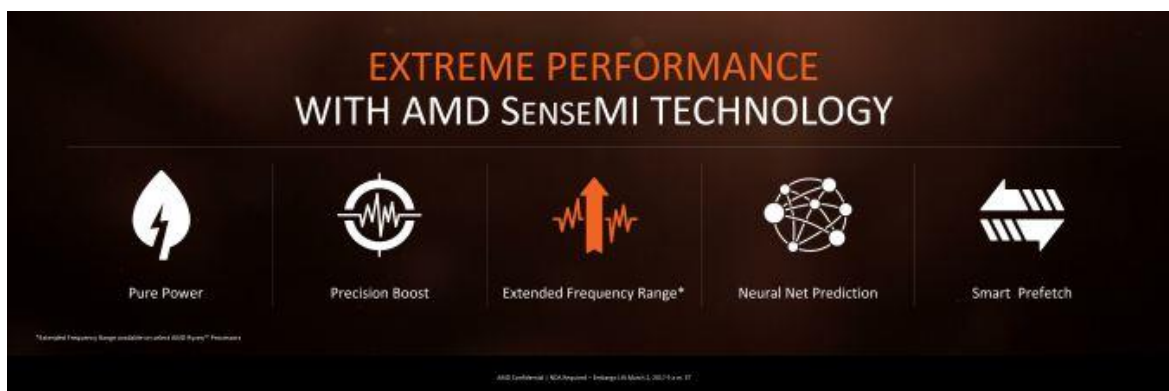
Obrázek 30 AMD zvýšil IPC až o 40%

Zdroj: <http://techfrag.com/2015/05/08/amd-zen-confirmed-for-2016-features-40-ipc-improvement-over-excavator/>

Kromě toho, že se výrazně zvýšil IPC, nové jádro je schopné zpracovávat dvě vlákna v jednom jádru. AMD tuto schopnost nazývá SMT (Simultaneous Multi-Threading), podobně jako u procesorů Intel s technologií Hyper-threading. „SMT využívá toho, že plně vytížené superskalární jádro nevyužívá téměř nikdy všech výpočetních kapacit, některé zůstávají volné. Tento nevyužitý výkon je možno částečně dostat zpět – často jde o desítky procent navíc – pokud čipu umožníte zpracovávat instrukce paralelně ze dvou vláken. Efektivní je to zejména širokých jádrech s potenciálně vysokým IPC, Zen se čtyřmi ALU a čtyřmi pipeline v FPU je tedy dobrým kandidátem.“ (Olšan [67])

Ryzen dále používá nový socket AM4 a díky novému socketu mohou používat paměti DDR4.

Společnost AMD představila SenseMI, což představuje soubor pěti dalších technologií, a to Extended Frequency Range (XFR), Precision Boost, Neural Net Prediction, Pure Power a Smart Prefetch [68].



Obrázek 31 Baliček SenseMI

Zdroj:

https://images.anandtech.com/doci/11170/AMD%20Ryzen%207%20Tech%20Day%20-%20Jim%20Anderson-20_575px.jpg

XFR je technologie, která má umožnit automatické přetaktování procesoru i nad rámec turbo frekvence a představuje praktickou nastavbu pro Precision Boost a jeho maximální takt.

Krátké vysvětlení technologie Pure Power je sledování funkcí procesoru pomocí vestavěných senzorů, které monitorují teplotu, rychlost a napětí a za pomoci těchto informací se může lépe volit optimální napětí a řídit spotřeba energie v reálném čase.

Nakonec budou představeny Neural Net Prediction a Smart Prefetch, což jsou technologie, které pomohou určit, předpovědět chování. Za pomoci těchto technologií se procesor může připravit i před tím, než samotná aplikace požádá za něčím, čím se minimalizuje zpoždění, a tedy i zvyšuje výkon procesoru.

Kromě základních verzí AMD vydal i 3 high-endové procesory nazvané Ryzen Threadripper, což se může přeložit jako trhač vláken. Tyto procesory jsou navrženy tak aby konkurovali procesorům Intel Core i9 eXtreme Edition. Tyto procesory mají až 16 jader a 32 vláken, základní frekvence dosahují od 3,4 GHz do 3,8 GHz tj. 4,0 za pomoci Precision Boost technologie. Cena trhačů vláken šla od \$549 po \$999.

Obyčejný Ryzen procesory mají od 4 po 6 až 8 jader. Paměť L1 sahá od 384 KB u Ryzen 3 po 768 KB u Ryzen 7. Podobně kapacita paměti L2 se pohybuje od 2 MB po 4 MB. Konečně paměť L3 je 8 MB u Ryzen 3 a 16 MB u Ryzen 5 a 7.

Tabulka 13 Technický parametry Ryzen procesorů první generace

| Model | Ryzen 3 | Ryzen 5 | Ryzen 7 | Ryzen 7 | Ryzen |
|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|-----------------------|
| | 1200 | 1600 | 1700 | 1700X | Threadripper 1900X |
| Počet jader | 4 | 6 | 8 | 8 | 8 |
| Základní frekvence | 3.1 GHz | 3.2 GHz | 3.0 GHz | 3.4 GHz | 3.8 GHz |
| Precision Boost | 3.4 GHz | 3.6 GHz | 3.7 GHz | 3.8 GHz | 4.0 GHz |
| L3 Cache | 8 MB | 16 MB | 16 MB | 16 MB | 16 MB |
| TDP | 65 W | 65 W | 65 W | 95 W | 180 W |
| RCP | \$109 | \$219 | \$329 | \$399 | \$549 |

Zdroj: vlastní zpracování

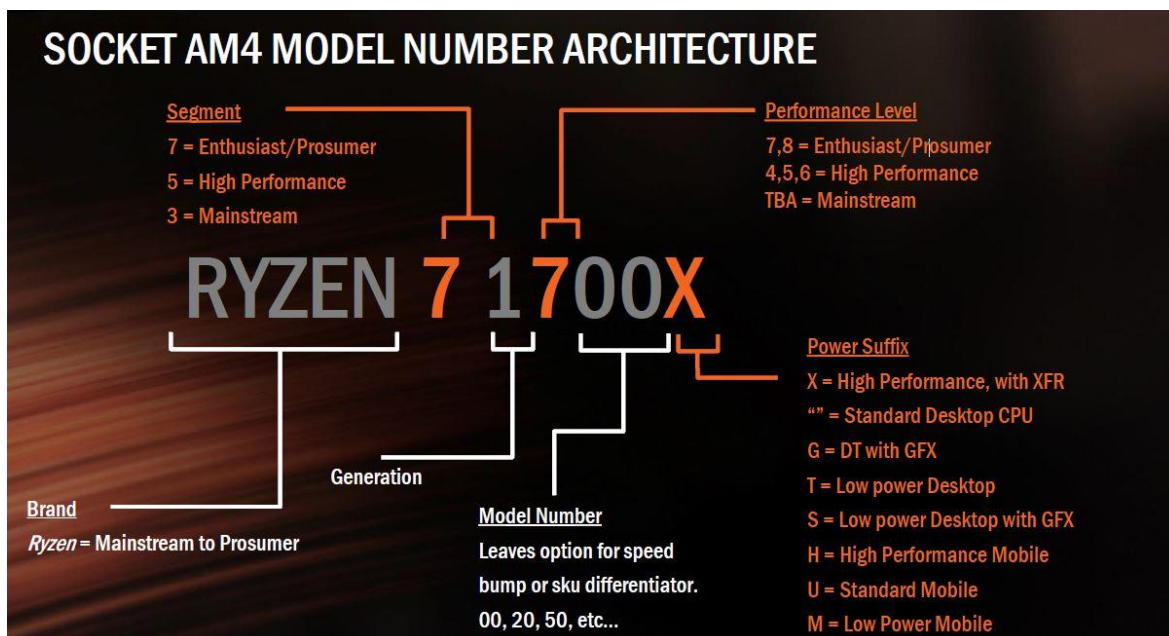
20.1 Označování procesorů AMD

Intel včetně nové architektury má konečně i srozumitelné názvy nových procesorů, které na první pohled dost připomíná označení procesorů Intel Core, zákazník se tak konečně může lépe orientovat v názvech.

Procesory Ryzen jsou stejné jako Intel Core rozděleny do tří základních skupin, Ryzen 3, 5 a 7 přičemž číslo za brendem označuje výkonnostní třídu. Číslo 7 označuje procesory, který jsou určeny pro nejnáročnější uživatele, řada 5 pro středně náročné a řada 3 pro základní modely.

Poté následují čtyři čísla označující model, přičemž první číslo označuje generaci. Druhá číslice čtyřčíslí odráží výkonnostní úroveň v rámci daného segmentu. Číslo 7 a 8 označují nejvyšší výkon, 4, 5 a 6 se používají pro střední výkon, a čím nižší číslo tím menší výkonnost procesoru. Třetí a čtvrtá místa čtyřčíslí jsou určena stejně jako u Intelu pro SKU rozlišení a pro rozlišení dalších modelů a půl generačních doplňků, a nejčastěji se zde budou vyskytovat dvě nuly. Za čtyřčíslím následuje, ale nemusí být písmenko. Písmenko na konci udává, o jaký procesory jde. Pokud žádné písmenko na konci označení není, jde o standardní desktopový model. Přípona X znamená že procesor má rozšířený frekvenční rozsah neboli extended frequency

range (XFR) a rovnou označuje nejvýkonnější procesor v rámci dané řady. Přípona T je určená pro úsporné desktopové procesory, G pro desktopové modely s integrovanou grafikou a S pro úsporné desktopové modely s aktivním grafickým jádrem.



Obrázek 32 Návod ke čtení názvů nových procesorů

Zdroj: <https://www.servethehome.com/wp-content/uploads/2017/03/AMD-Ryzen-Socket-AM4-Model-Numbers-800x432.jpg>

21 AMD Zen+

Společnost AMD představila v druhé polovině roku 2018 refresh stávající řady procesorů Ryzen. Vylepšené jádro je označené jako Zen+, které bylo vyráběno novým 12nm výrobním procesem. Díky novému výrobnímu procesu se AMD povedlo zvýšit i taktovací frekvence o 100-200 MHz. Podstatě jde jenom o mezigenerační přechod mezi Zen a Zen 2, která přinesla podporu nových instrukcí, zlepšení po stránce IPC a vylepšené řízení spotřeby. U nové architektury jednak byly snižené latence cache, jednak byly snižené latence paměťového řadiče a jednak byl přepracován boost na Precision Boost 2. Pro srovnání s procesory Ryzen první generace bude využita tabulka číslo 14. Všechny modely mají aktivní SMT, tudíž osmijádra zpracovávají 16 vláken a šestijádra 12 vláken.

Tabulka 14 Porovnání procesorů Zen a Zen+

| Model | Počet jader | Frekvence | Precision Boost | TDP | RCP |
|--------------------------|--------------------|------------------|------------------------|------------|------------|
| Ryzen 5 1600 | 6 | 3.2 | 3.6 | 65 W | \$219 |
| Ryzen 5 2600 | 6 | 3.4 | 3.9 | 65 W | \$199 |
| Ryzen 5 1600X | 6 | 3.6 | 4.0 | | \$249 |
| Ryzen 5 2600X | 6 | 3.6 | 4.2 | 95 W | \$221 |
| Ryzen 7 1700 | 8 | 3.0 | 3.7 | 65 W | \$329 |
| Ryzen 7 2700 | 8 | 3.2 | 4.1 | 65 W | \$299 |
| Ryzen 1700X | 8 | 3.4 | 3.8 | 95 W | \$399 |
| Ryzen 2700X | 8 | 3.7 | 4.3 | 105 W | \$329 |

Zdroj: vlastní zpracování

22 Procesory postavené na 7nm architektuře Zen 2

Mikroarchitektura Zen nepochybně vrátila AMD na trh procesorů a po zlepšení Zen+ společnost v roce 2019 představila i novou vylepšenou architekturu Zen 2. Ta je postavena na 7nm výrobním procesu, který s sebou přináší zvýšení výkonu, vyšší frekvence a vyšší počet zpracovaných instrukcí za cyklus. Zen 2 oproti předchozí generaci poskytuje o 15 procent více IPC [69]. Kromě zvýšení výkonu, AMD snížil ceny a udělal tak revoluční krok na trhu. Nové Zen 2 procesory Ryzen Serie 3000 se začínají prodávat za 199\$ a přináší 6 jader tj. 12 vláken, přičemž Intel za svůj šestijádrový procesor Core i5-9600K řady Coffee Lake požaduje o 30 % víc peněz. Nové Ryzen 3000 podporují takt paměti DDR4 3200 MHz, čím vlastně AMD zvýšil takt paměti o 267 MHz oproti generace 2000. Kromě velmi příjemné pořizovací ceně nejsou uživatelé nuceni upgradovat stávající základní desky, jelikož Ryzen 3000 je stále kompatibilní se socketem AM4.

Tato architektura je velice důležitá pro všechny uživatele, protože právě AMD Ryzen 3. generace navrácí trhu dávno ztracenou rovnováhu. V následující tabulce, která byla převzata z Alza.cz¹³ [70] je přehledně porovnán AMD Ryzen 3000 s nejbližší konkurencí z řad procesorů Intel.

Tabulka 15 Srovnání AMD Ryzen 3000 a Intel Core Coffee Lake

| | | | | | | | | |
|-----------------------------|--------------|----------------|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|---------------|
| Model | Ryzen 5 3600 | Intel i5-9600K | Ryzen 5 3600X | Intel i7-9700K | Ryzen 7 3700X | Intel i9-9900K | Ryzen 7 3800X | Ryzen 9 3900X |
| Počet jader a vláken | 6/12 | 6/6 | 6/12 | 8/8 | 8/16 | 8/16 | 8/16 | 12/24 |
| Základní frekvence | 3.6 GHz | 3.7 GHz | 3.8 GHz | 3.6 GHz | 3.6 GHz | 3.6 GHz | 3.9 GHz | 3.8 GHz |
| Boost frekvence | 4.2 GHz | 4.6 GHz | 4.4 GHz | 4.9 GHz | 4.4 GHz | 5.0 GHz | 4.5 GHz | 4.6 GHz |
| L3 Cache | 32 MB | 9 MB | 32 MB | 12 MB | 32 MB | 16 MB | 32 MB | 64 MB |
| TDP | 65 W | 95 W | 95 W | 105 W | 65 W | 105 W | 105 W | 105 W |
| Cena | 6 399 Kč* | 9 399 Kč* | 6 599 Kč* | 10 990 Kč* | 8 799 Kč* | 13 990 Kč* | 10 590 Kč* | 13 390 Kč* |

Zdroj: <https://www.alza.cz/amd-ryzen-3000-recenze-a-testy>

¹³ Internetový obchod působící v České republice

*Ceny platné k 7.7.2019

23 Závěr

Cílem mé bakalářské práce bylo popsat procesor jako takový, aby i začínající uživatel porozuměl dané problematice. Dalším cílem bylo zmapovat historii vzniku a vývoje procesorů až do současné doby, popsat výrobu a výrobce procesorů, jejich funkci a rozdělení. V první části bakalářské práce byla popsána historie mikroprocesorů, včetně prvního mikroprocesoru Intel 4004. Mezi nejznámější výrobce procesorů patří společnosti INTEL Corporation a AMD Inc. V práci byly vysvětleny začátky těchto společností i jejich pozice na trhu v současné době. Na tyto části byla bakalářská práce soustředěna v kapitolách 6 a 7.

Mikroprocesory se za posledních 40 let výrazně zlepšily. Velikost mikroprocesorů a náklady neustále klesají, a jeho výkon roste. To, co se nedávno zdálo jako nereálné se v dnešních dnech považuje za nezbytnost. S každou novou architekturou přichází i řada nových technologií, které zvyšují rychlost procesoru a uživateli nabízí více zábavy.

Specifikace procesorů jednotlivých architektur je porovnávána většinou na konci kapitoly, do autorem zpracovaných tabulek. Data jsou získávána z otevřené databáze Arch a různých webových stránek zaměřených na IT.

Každá generace je značena pořadovým číslem a kódovým označením. V této práci bylo popsáno označení těch nejdůležitějších procesorů. Z označení procesoru lze pak jednoduše poznat, o jaký procesor jde, protože kódové označení modelů v sobě obsahuje všechny potřebné informace o procesoru a jeho parametrech.

Požadavky uživatele na procesor jsou neustále náročnější a otázkou je kam se výrobci posunou a jaká je možná budoucnost procesorů. V budoucnu určitě můžeme očekávat ještě menší velikost čipů, a ještě větší počet tranzistorů. Výrobci jsou soustředěni i na zakomponování dalších technologií a grafických karet do jednoho čipu. Inspiraci bychom možná měli hledat v přírodě. Vlákno, letadlo, auto, boty a mnohé výrobky, které běžně užíváme, vznikly na základě pozorování přírody a můžeme očekávat, že se něco podobného stane i s mikroprocesory. Protože příroda měla mnoho času si s tím poradit.

24 Seznam použité literatury

- [1] DOSTÁL, Jiří. Hardware moderního počítače. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2011. ISBN 978-80-244-2787-4.
- [2] PRAUZEK, Michal. Číslicová a mikroprocesorová technika, část druhá [online]. 2013, 117 [cit. 2019-08-16]. Dostupné z: https://homel.vsb.cz/~pra132/files/CMT_prauzek_final_1_2.pdf
- [4] PELIKÁN, Jaroslav. Procesor (mikroprocesor). Fakulta informatiky Masarykovy univerzity [online]. 1998 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <http://www.fi.muni.cz/usr/pelikan/ARCHIT/TEXTY/PROCESOR.HTML>
- [6] MARCHALÍN, Jiří. Historie procesorů od počátku až po současnost. Univerzita Karlova v Praze, Matematicko-fyzikální fakulta [online]. 2004 [cit. 2020-04-12]. Dostupné z: <http://www.gymklob.info/sites/default/files/story/2011/198/hist.pdf>
- [7] HOLMAN, Robert a Dana POSPÍCHALOVÁ. Úvod do ekonomie pro střední školy. 2. vyd. V Praze: C.H. Beck, 2012. Beckovy ekonomické učebnice. ISBN 978-80-7179-304-5.
- [8] KRZANICH, Brian. Our Strategy and The Future of Intel. Intel Newsroom [online]. April 26, 2016 [cit. 2019-08-19]. Dostupné z: <https://newsroom.intel.com/editorials/brian-krzanich-our-strategy-and-the-future-of-intel/>
- [9] INTEL Corporation. Product Change Notification 107779 – 00 [online]. Dostupné z: <https://qdms.intel.com/dm/i.aspx/B5883E95-206A-481F-8A33-A81B6E7F14D7/PCN107779-00.pdf>
- [10] LANGLEY, Todd a Rob KOWALCZYK. Introduction to Intel® Architecture: The Basics [online]. January 2009, 25 [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20110607114224/http://download.intel.com/design/intarch/papers/321087.pdf>

- [11] INTEL. Intel® Virtualization Technology (Intel® VT) [online]. [cit. 2020-03-08]. Dostupné z:
<https://www.intel.com/content/www/us/en/virtualization/virtualization-technology/intel-virtualization-technology.html>
- [12] INTEL, Automated Relational Knowledgebase. S Product Specifications [online]. Dostupné z:
https://ark.intel.com/content/www/us/en/ark/search/featurefilter.html?productType=873&2_VTX=True
- [13] HÓFER, Filip. Historie firmy AMD [online]. [cit. 2019-08-21]. Dostupné z:
<https://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2002/xhofer.htm>
- [14] STACH, Jan. AMD slaví 50.let (založena 1.5.1969): Jaké byly? Co se povedlo a nepovedlo a jaké vlastně je AMD?. DDworld [online]. 1. květen 2019 [cit. 2019-08-21]. Dostupné z: <http://www.ddworld.cz/aktuality/procesory-cpu/amd-slavi-50.let-zalozena-1.5.1969-jake-byly-co-se-povedlo-a-nepovedlo-a-jake-vlastne-je-amd.html>
- [15] KWOLEK, Jirka. Dvě hlavy víc ví: Athlon 64 X2 4800+. Pc tuning [online]. 4.7.2005 [cit. 2019-11-02]. Dostupné z:
<https://pctuning.tyden.cz/hardware/procesory-pameti/4619-dve-hlavy-vic-vi-athlon-64-x2-4800-plus>
- [16] DIEFENDORFF, Keith. MICROPROCESSOR REPORT The insiders' guide to microprocessor hardware: Pentium III = Pentium II + SSE: Internet SSE Architecture Boosts Multimedia Performance [online]. Dostupné z:
[http://docencia.ac.upc.edu/ETSETB/SEGP/processors/pentium3%20\(mpr\).pdf](http://docencia.ac.upc.edu/ETSETB/SEGP/processors/pentium3%20(mpr).pdf)
- [17] PADUA, David A. Encyclopedia of parallel computing. New York, NY: Springer, c2011. ISBN 978-0-387-09766-4.
- [18] Moore's Law. In: Investopedia [online]. Kenton, 2018. Dostupné z: <https://www.investopedia.com/terms/m/mooreslaw.asp>

- [19] How Israel saved Intel. The Seattle Times [online]. April 9, 2007. Dostupné z: <https://www.seattletimes.com/business/how-israel-saved-intel/>
- [20] INTEL. Introducing the 45nm Next-Generation Intel® Core™ Microarchitecture [online]. [cit. 2020-03-27]. Dostupné z: <https://www.intel.com/content/dam/doc/white-paper/45nm-next-generation-core-microarchitecture-white-paper.pdf>
- [21] DOWECK, Jack. Inside Intel® Core™ Microarchitecture and Smart Memory Access: An In-Depth Look at Intel Innovations for Accelerating Execution of Memory-Related Instructions [online]. Dostupné z: <https://signallake.com/innovation/IntelMemory.pdf>
- [22] WECHSLER, Ofri. Inside Intel® Core™ Microarchitecture: Setting New Standards for Energy-Efficient Performance [online]. [cit. 2020-03-29]. Dostupné z: <http://bnrg.eecs.berkeley.edu/~randy/Courses/CS294.F07/IntelNewArchitecture.pdf>
- [23] Core 2 Duo. EcuRed [online]. Dostupné z: <https://www.ecured.cu/Core 2 Duo>
- [24] INTEL. Intel® Processor Pricing: Effective December 24, 2006 [online]. Dostupné z: https://web.archive.org/web/20070410112411/http://www.intel.com/intel/finance/pricelist/processor_price_list.pdf
- [25] INTEL. Products formerly Kentsfield [online]. Dostupné z: <https://ark.intel.com/content/www/us/en/ark/products/codename/23489/kentsfield.html>
- [26] INTEL. Intel's Transistor Technology Breakthrough Represents Biggest Change to Computer Chips In 40 Years: Intel Producing First Processor Prototypes With New, Tiny 45 Nanometer Transistors, Accelerating Era of Multi-Core Computing [online]. [cir. 2020-04-02]. Dostupné z:

<https://www.intel.com/pressroom/archive/releases/2007/20070128comp.htm>

- [27] INTEL. Intel® Microarchitecture Codename Nehalem [online]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20100722163629/http://www.intel.com/technology/architecture-silicon/next-gen/>
- [28] ROLF, Trent. Cache Organization and Memory Management of the Intel Nehalem Computer Architecture [online]. In: . December, 2009 [cit. 2020-04-02]. Dostupné z: <http://gec.di.uminho.pt/Discip/MInf/cpd1011/PAC/material/nehalemPaper.pdf>
- [30] INTEL. First the Tick, Now the Tock: Next Generation Intel® Microarchitecture (Nehalem) [online]. Dostupné z: https://www.intel.com/pressroom/archive/reference/whitepaper_Nehalem.pdf
- [31] NAWRAT, Ondřej. Jaký je rozdíl mezi Core i3 a Core i5? [online]. 10.2.2016 [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: <https://www.technimax.cz/blog/zajimavosti/aktual-jaky-je-rozdil-mezi-core-i3-a-core-i5>
- [32] NAWRAT, Ondřej. Jaký je rozdíl mezi Core i5 a Core i7? [online]. 12.3.2016 [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: <https://www.technimax.cz/blog/zajimavosti/jaky-je-rozdil-mezi-core-i5-a-core-i7>
- [33] INTEL. Intel® Hyper-Threading Technology [online]. Dostupné z: <https://www.intel.com/content/www/us/en/architecture-and-technology/hyper-threading/hyper-threading-technology.html>
- [34] LITTSCHWAGER, Thomas. Core i7: Nový úžasný procesor Intelu: ŠKÁLOVATELNOST: CPU PRO VŠECHNY APLIKACE. CHIP [online]. 04/2009

- [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.chip.cz/casopis-chip/earchiv/vydani/r-2009/chip-04-2009/corei7/>
- [35] JANŮ, Stanislav. Nevyznáte se ve značení procesorů Intelu? Tady máte tahák. Živě.cz [online]. 13.02.2017 [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.zive.cz/clanky/nevyznate-se-ve-znaceni-procesoru-intelu-tady-mate-tahak/sc-3-a-186152/default.aspx>
- [36] INTEL. About Intel® Processor Numbers. Intel.com [online]. Dostupné z: <https://www.intel.com/content/www/us/en/processors/processor-numbers.html>
- [37] HEXUS Staff. Intel Sandy Bridge. Hexus.net [online]. Dostupné z: <https://hexus.net/tech/tech-explained/cpu/29926-intel-sandy-bridge/>
- [38] KRUTÝ, Karel. Sandy Bridge – nová generace procesorů Intel Core. PCWorld [online]. 03.01.2011 [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://pcworld.cz/hardware/sandy-bridge-nova-generace-procesoru-intel-core-16647>
- [39] NAVEH, Alon, Doron RAJWAN, Avinash ANANTHAKRISHNAN a Eli WEISSMANN. Power management architecture of the 2nd generation Intel® Core™ microarchitecture, formerly codenamed Sandy Bridge [online prezentace]. 08/2011. Dostupné z: http://www.hotchips.org/wp-content/uploads/hc_archives/hc23/HC23.19.9-Desktop-CPU%2FHC23.19.921.SandyBridge_Power_10-Rotem-Intel.pdf
- [41] WIFT. Intel Ivy Bridge přichází: test Core i7-3770K. Diit.cz [online]. 23.04.2012 [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://diit.cz/clanek/test-intel-ivy-bridge-core-i7-3770k>
- [42] MOORHEAD, Patrick. Intel's Newest Core Processors: All About Graphics And Low Power. Forbes.com [online]. [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: <https://www.forbes.com/sites/patrickmoorhead/2013/06/04/intels->

[newest-core-processors-all-about-graphics-and-low-power/#39e120ca50a1](#)

- [43] HOFMANN J., Fey D., Eitzinger J., Hager G., Wellein G. (2016) Analysis of Intel's Haswell Microarchitecture Using the ECM Model and Microbenchmarks. In: Hannig F., Cardoso J.M.P., Pionteck T., Fey D., Schröder-Preikschat W., Teich J. (eds) Architecture of Computing Systems – ARCS 2016. ARCS 2016. Lecture Notes in Computer Science, vol 9637. Springer, Cham. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-30695-7_16
- [44] INTEL. Intel® Transactional Synchronization Extensions (Intel® TSX) Overview. Intel Developer Zone [online]. Dostupné z: <https://software.intel.com/en-us/cpp-compiler-developer-guide-and-reference-intel-transactional-synchronization-extensions-intel-tsx-overview>
- [45] Jain, Tarush & Agrawal, Tanmay. (2013). The Haswell Microarchitecture - 4th Generation Processor. International Journal of Computer Science and Information Technologies. 4(3). 477-480. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/276280055_The_Haswell_Microarchitecture_-_4th_Generation_Processor
- [46] MUJTABA, Hassan. Intel 14nm Broadwell Core i7-5775C and Core i5-5675C Officially Launching on 2nd June – First Benchmarks Revealed. Wccftech [online]. May 14, 2015. Dostupné z: <https://wccftech.com/intel-14nm-broadwell-core-i7-5775c-core-i5-5675c-officially-launching-2nd-june-benchmarks-revealed/>
- [47] HINUM, Klaus. Intel Iris Pro Graphics 6200. Notebookcheck [online]. 2016-01-26 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.notebookcheck.net/Intel-Iris-Pro-Graphics-6200.125593.0.html>

- [48] ALCORN, Paul. Intel Kaby Lake: 14nm+, Higher Clocks, New Media Engine. Tom'sHARDWARE [online]. August 30, 2016. Dostupné z: <https://www.tomshardware.com/reviews/intel-7th-gen-core-kaby-lake-preview,4728.html>
- [49] SOUČEK, Jiří. Intel odhalil architekturu Kaby Lake a mobilní procesory. Diit.cz [online]. 1. 9. 2016 [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: <https://diit.cz/clanek/intel-odhalil-mobilni-kaby-lake>
- [50] PAVLIS, Jakub. Intel Kaby Lake – 7.generace jen s mírnými vylepšeními a ztrátou rytmu. Notebook.cz [online]. 7. 9. 2016 [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: <https://notebook.cz/clanky/technologie/2016/intel-kaby-lake>
- [51] HRUSKA, Joel. With Kaby Lake, Intel finally brings Hyper-Threading to its Pentium-branded processors. ExtremeTech [online]. January 11, 2017. Dostupné z: <https://www.extremetech.com/computing/242498-kaby-lake-intel-finally-brings-hyper-threading-pentium-branded-processors>
- [52] OBERMAIER, Z. Nárůst výkonu CPU za posledních 11 let – AMD vs. Intel. Pctuning [online]. 18.11.2019 [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: <https://pctuning.tyden.cz/hardware/procesory-pameti/58601-narust-vykonu-cpu-za-poslednich-11-let-amd-vs-intel>
- [54] Techmaster. Nové procesory Coffee Lake – parametry, ceny a jak si vedou v testech: Desktopové procesory Coffee Lake. Techmaster [online]. 24. 10. 2017 [cit. 2020-04-11]. Dostupné z: <https://www.techmaster.cz/clanky/nove-procesory-coffee-lake-parametry-ceny-a-jak-si-vedou-v-testech>
- [56] OLŠAN, Jan. Intel uvádí procesory Ice Lake. Nevídané změny architektury, IPC vyšší o 18 %. Cnews.cz [online]. 29.5.2019. Dostupné z: <https://www.cnews.cz/intel-procesory-ice-lake-uvedeni-novinky-architektura-sunny-cove-ipc-vyssi-o-18-procent/>
- [57] CUTRESS, Ian. Intel: 28 W Ice Lake Core i7-1068G7 Coming Q1. AnandTech [online]. January 10, 2020. Dostupné z:

<https://www.anandtech.com/show/15302/intel-28-w-ice-lake-core-i71068g7-coming-q1>

- [58] Intel Newsroom. Chip Shot: Intel Unleashes Next-Gen Enthusiast Desktop PC Platform at Gamescom. [online]. August 5, 2015. Dostupné z: <https://newsroom.intel.com/chip-shots/chip-shot-intel-unleashes-next-gen-enthusiast-desktop-pc-platform-at-gamescom/#gs.3rvegq>
- [59] JAVŮREK, Karel. Detaily o architektuře Skylake od Intelu: Rychlá změny spotřeby a výkonu dle potřeby. Živě.cz [online]. [cit. 2020-04-13]. Dostupné z: <https://www.zive.cz/clanky/detaily-o-architektuře-skylake-od-intelu/sc-3-a-179382/default.aspx>
- [60] HANSON, Matt. Intel announces monster 18-core Skylake X Core i9 CPU. Techradar [online]. May 30, 2017. Dostupné z: <https://www.techradar.com/news/intel-announces-18-core-core-i9-cpu>
- [61] OBERMAIER, Z. Intel Core i7-9800X: Osm jader Skylake-X v testu: Staré procesory s novým názvem. Pctuning [online]. 17.1.2019. Dostupné z: <https://pctuning.tyden.cz/hardware/procesory-pameti/55735-intel-core-i7-9800x-osm-jader-skylake-x-v-testu>
- [62] LAL SHIMPI, Anand. The Bulldozer Review: AMD FX-8150 Tested [online]. October 12, 2011. Dostupné z: <https://www.anandtech.com/show/4955/the-bulldozer-review-amd-fx8150-tested>
- [63] SHILOV, Anton. AMD Bulldozer 'Core' Lawsuit: AMD Settles for \$12.1m, Payouts for Some. AnandTech [online]. August 28, 2019. Dostupné z: <https://www.anandtech.com/show/14804/amd-settlement>
- [64] HRUSKA, Joel. Analyzing Bulldozer: Why AMD's chip is so disappointing: Cache size (and latency) [online]. October 24, 2011. Dostupné z: <https://www.extremetech.com/computing/100583-analyzing-bulldozers-scaling-single-thread-performance/3>

- [65] JOHNSON, Renee. AMD gives us our first real moment of Zen. TheTechReport [online]. August 18, 2016. Dostupné z: <https://techreport.com/review/30540/amd-gives-us-our-first-real-moment-of-zen/>
- [66] MANSOOR, Saqib. AMD Zen Confirmed for 2016, Features 40% IPC Improvement Over Excavator. TheTechReport [online]. Dostupné z: <http://techfrag.com/2015/05/08/amd-zen-confirmed-for-2016-features-40-ipc-improvement-over-excavator/>
- [67] OLŠAN, Jan. Architektura jádra Zen podrobně: hledání rovnováhy a přiblížení Intelu. Cnews.cz [online]. [cit. 2020-04-14]. Dostupné z: <https://www.cnews.cz/architektura-jadra-zen-podrobne-hledani-rovnovahy-a-priblizeni-intelu/>
- [68] AMD. AMD SenseMI Technology. [online]. Dostupné z: <https://www.amd.com/en/technologies/sense-mi>
- [69] CUTRESS, Ian. AMD Zen 2 Microarchitecture Analysis: Ryzen 3000 and EPYC Rome. AnandTech [online]. June 10, 2019. Dostupné z: <https://www.anandtech.com/show/14525/amd-zen-2-microarchitecture-analysis-ryzen-3000-and-epyc-rome>
- [70] Alza recenze. AMD Ryzen 3000 (RECENZE): Testujeme Ryzen 3000. Alza.cz [online]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/amd-ryzen-3000-recenze-a-testy>

Podklad pro zadání BAKALÁŘSKÉ práce studenta

Jméno a příjmení: **Igor Milenković**
Osobní číslo: **I1700113**
Adresa: **Hrubínova 1450/17, Hradec Králové – Pražské Předměstí, 50002 Hradec Králové 2, Česká republika**
Téma práce: **Architektury mikroprocesorů**
Téma práce anglicky: **Microprocessor Architectures**
Vedoucí práce: **prof. RNDr. Peter Mikulecký, Ph.D.**
Katedra informačních technologií

Zásady pro vypracování:

Cíle závěrečné práce:

Popsat, analyzovat a porovnat nejdůležitější rysy vývoje procesorových řad obou hlavních producentů mikroprocesorů Intel a AMD, a to období od nástupu více-jádrových procesorů, případně období dle dohody se zadavatelem. Přehledným způsobem utřídit poznatky o zásadních vývojových stupních procesorů a o jejich charakteristikách, se zdůrazněním důležitých inovací na každém stupni vývoje. Hlavním cílem je poskytnout čtenáři přehled toho nejdůležitějšího, co se ve vývoji architektury mikroprocesorů obou hlavních výrobců stalo, a pokusit se charakterizovat i možné trendy vývoje.

Osnova:

1. Úvod
2. Mikroprocesory
3. Historie procesorů
4. Rozdělení a parametry procesorů
5. Společnost Intel
6. Společnost AMD
7. Vícejádrové procesory
8. Porovnání jednotlivých generací procesorů Intel a AMD
9. Závěr

Seznam doporučené literatury:

- PRAUZEK, Michal. Číslicová a mikroprocesorová technika
- DOSTÁL, Jiří. Hardware moderního počítače
- LIČEV, Lačezar. Procesory : Architektura, funkce, použití.
- VAJDA, András. Programming Many-Core Chips
- FOG, Agner. The microarchitecture of Intel, AMD and VIA CPUs
- RUIZ, Hector. Slingshot: AMD's Fight to Free an Industry from the Ruthless Grip of Intel
- SCHAUER, Bryan. Multicore Processors - A Necessity

Podpis studenta:

Datum:

Podpis vedoucího práce:

Datum:

© IS/STAG, Portál – Podklad kvalifikační práce , milenig1, 27. dubna 2020 15:06