



Digitális Technika

(Informatika BSc, Üzemmmérnök BSc)

Bevezetés. Hol tart ma a digitális technológia?

Előadó: Dr. Vörösházi Zsolt
voroshazi.zsolt@virt.uni-pannon.hu

Oktatási cél:

- A **kombinációs (K.H)** és **sorrendi (S.H)** logikai hálózatok klasszikus tervezési, minimalizálási módszereinek, illetve megvalósításainak megismerése.
- A hallgatók alapos és széleskörű, mind elméleti, mind pedig gyakorlati tudást szerezhetnek az alapvető digitális/logikai építőelemek felépítésével, működésével, azok összefüggéseivel kapcsolatban. Az előadások segítik a későbbi Digitális Rendszerek és Számítógép Architektúrák c. tárgy során ismerttetendő komplexebb felépítésű architektúrák megértését.

Ajánlott irodalom

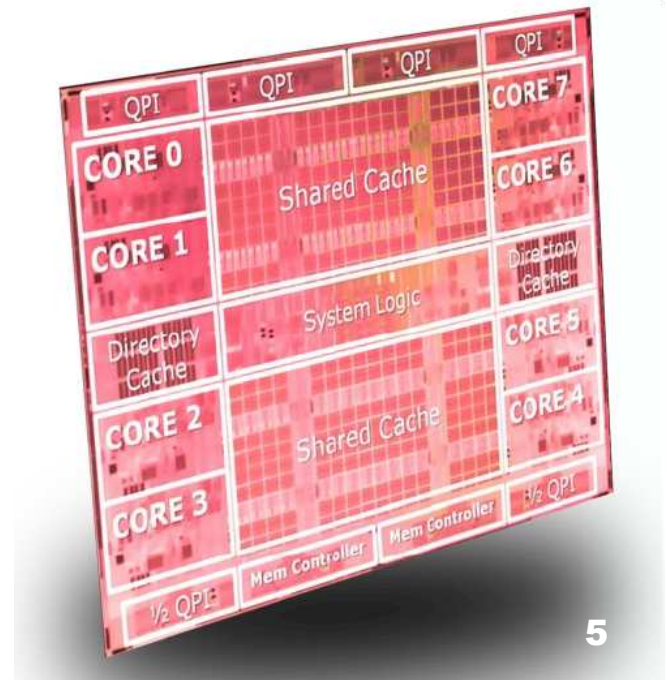
- Dr. Holczinger, Dr. Göllei. Dr. Vörösházi:
Digitális Technika I. (TAMOP 4.1.2A - 2012) :
[□ Digitalis technika I TAMOP v1.5](#)
- Dr. Holczinger, Dr. Göllei. Dr. Vörösházi:
Digitális Technika II. (TAMOP 4.1.2A - 2013) :
[□ Digitalis technika II TAMOP v1.3](#)



Hol tart ma az digitális technológia?

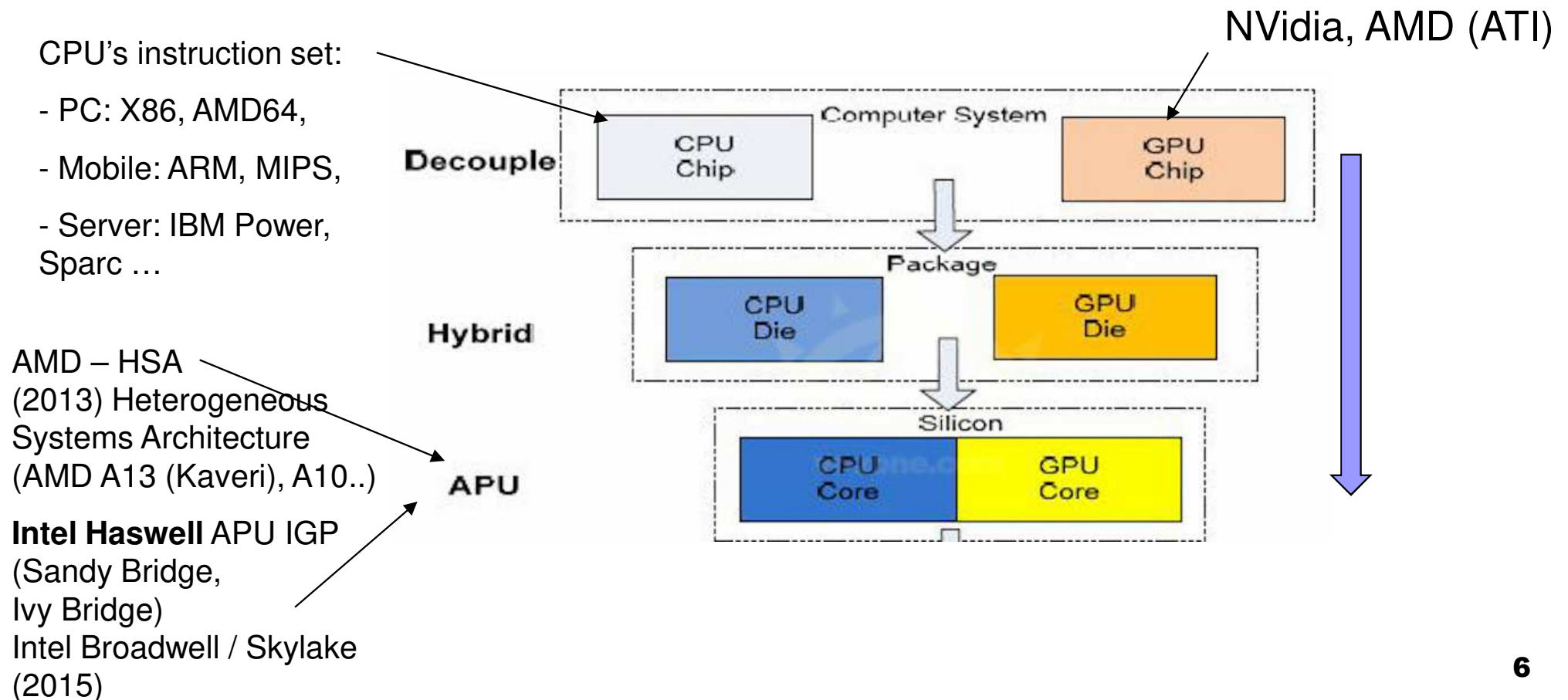
Mikro-minimalizálás elve:

- **Gordon Moore törvénye (1965):** rendkívüli jelentőséggel bír a memóriák és a félvezető áramkörök méretcsökkenése esetén.
 - Tanulmány: félvezető áramkörök fejlődése (prognózis)
 - A technológia fejlődésével minden 12 hónapban az 1 felületegységre (mm^2 Si) eső tranzisztorok száma közel megduplázódik (integritási sűrűség). Későbbi módosítása: 18 / 24 havonta történik a duplikáció!
 - Ezzel szemben az eszközök ára csökken, vagy stagnál.
- **Moore tv.: mára lelassult** (lásd Intel PAO), EUV litográfia drága
- Példa: szerver processzorok
 - 2010:
 - Itanium 9300 (Tukwila): 2 milliárd tranzisztor / chip (2010)
 - 4 mag / 8 szál, 1.73 GHz, L3: 24 MB, 185 W
 - 3D rétegszerkezet szilíciumon
 - Működő 14/20/22/28nm/... csíkszélességű tranzisztor (high K fém dielektrikum, Hafnium)
 - pl: Intel újgenerációs processzoraiban
 - Metal gate (a PolySi –ot váltja fel)
 - 2012 /2014:
 - Itanium-2 (Poulson / Kittson – 8 mag) 32nm /
 - 3.1 milliárd tranz.
 - 50 MB L3 Cache!, 12 utasítás/clock
 - 2015-17: Intel Xeon Phi, illetve Knights Landing, Hill, Mill (72 mag !)



CPU + GPU integráció = **APU**

- Fejlesztések fő iránya: APU (**A**ccelerator **P**rocessor **U**nit)



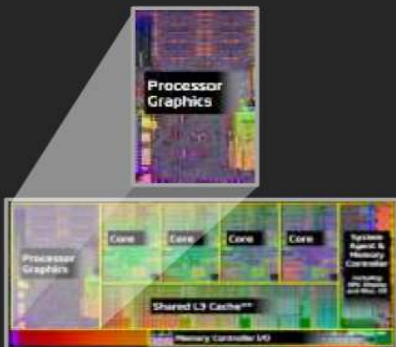
APU: GPU felülete (száma) fokozatosan nő

THE FUTURE BELONGS TO THE APU:
BETTER GRAPHICS, EFFICIENCY AND COMPUTE



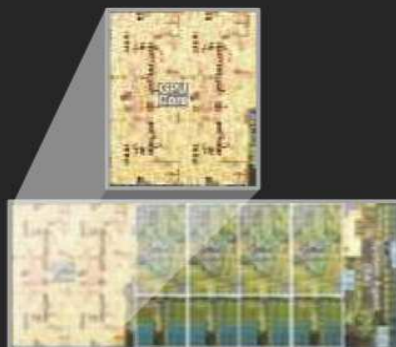
“SANDY BRIDGE”

17% GPU*



“IVY BRIDGE”

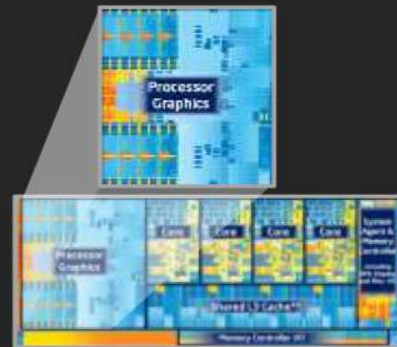
27% GPU*



“HASWELL”

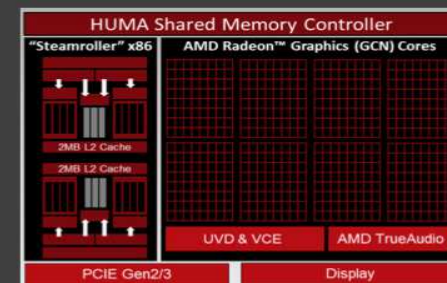
(Estimated)

31% GPU*

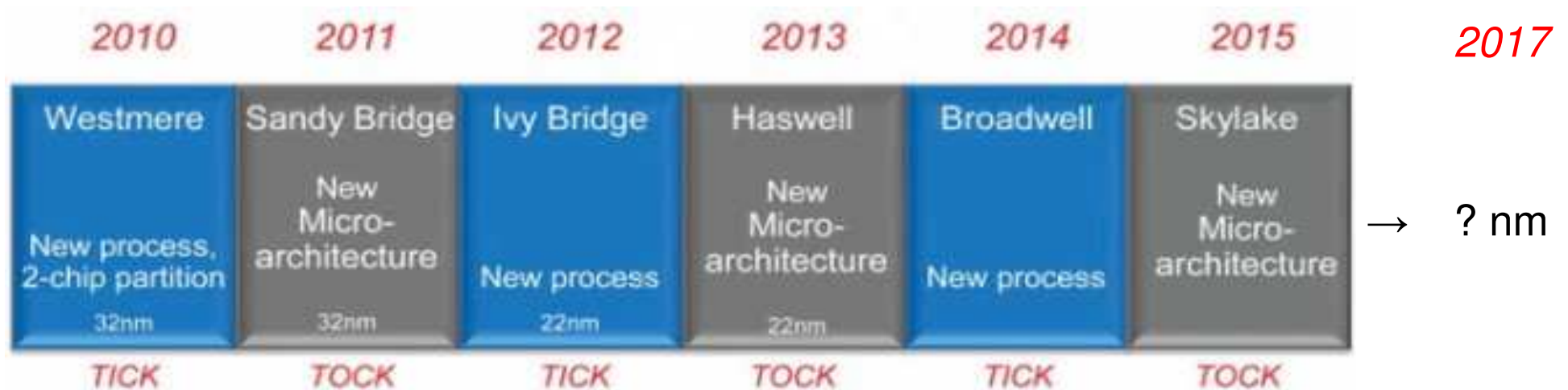


2014 AMD A-SERIES/
CODENAMED “KAVERI”

47% GPU



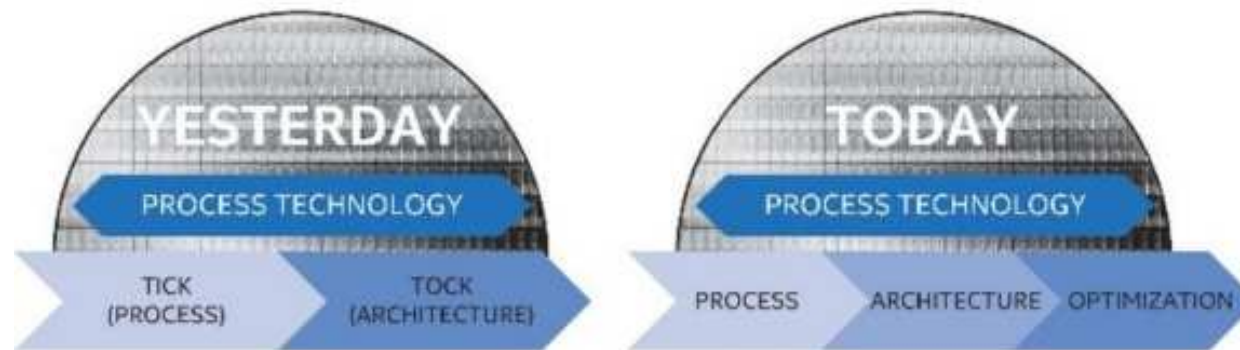
Intel „tikk-takk” stratégiája:



Megdőlt ez a „tikk-takk” stratégia (2016):

- 2 évente új gyártástechnológiára váltottak (ez jelenti a nagyobb problémát!) 22 → 14 → 10 nm.
- 2 évente új mikroarchitektúra jelent meg
- Intel Kaby Lake: 7. gen Intel Core architektúra (még az utolsó tock fázisban készült, 14nm)

Intel „PAO” stratégia:



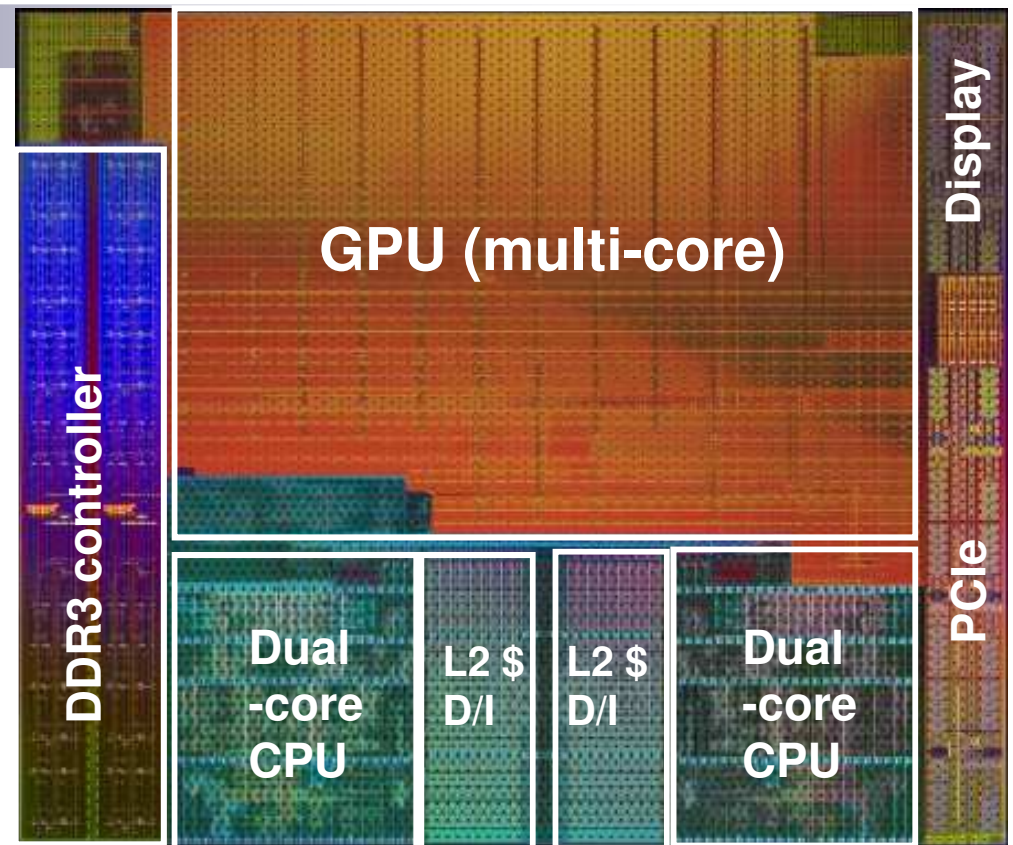
PAO – Process – Arcitecture – Optimization (2016-tól)

- 3 évente új gyártástechnológiára váltottak (ez jelenti a nagyobb problémát!) → 10 nm → ... ?
- 3 évente új mikroarchitektúra jelent meg
- 3 évente az architektúra optimalizálása
- Intel Kaby Lake: 7. gen. Intel Core architektúra (még az utolsó tock fázisban készült)

Intel vs. AMD CPU-k (APU-k)

*2015: [Intel Core M](#): Intel Broadwell lapka, 14nm, Tri-gate, 1.3 milliárd tranzisztor, 82mm²

Forrás: [PH](#)



Lapka kódneve	Gyártástechnológia	Magok száma	L2 + L3 mérete	Tranzisztorszám	Lapka területe
Kaveri	28 nm HKMG	4 (+ 8 CU IGP)	4 MB	2,41 milliárd	245 mm ²
Richland/Trinity	32 nm HKMG SOI	4 (+ IGP)	4 MB	1,303 milliárd	246 mm ²
Llano	32 nm HKMG SOI	4 (+ IGP)	4 MB	1,178 milliárd	228 mm ²
Vishera/Orochi	32 nm HKMG SOI	8 (4 modul)	16 MB	~1,2 milliárd	315 mm ²
Thuban	45 nm SOI	6	9 MB	904 millió	346 mm ²
Deneb	45 nm SOI	4	8 MB	758 millió	258 mm ²
* Haswell	22 nm Tri-Gate	4 (+ IGP)	9 MB	1,4 milliárd	177 mm ²
Ivy Bridge	22 nm Tri-Gate	4 (+ IGP)	9 MB	1,48 milliárd	160 mm ²
Sandy Bridge	32 nm HKMG	4 (+ IGP)	9 MB	995 millió	216 mm ²
Sandy Bridge-E	32 nm HKMG	6	16,5 MB	2,27 milliárd	435 mm ²
Gulftown	32 nm HKMG	6	13,5 MB	1,17 milliárd	240 mm ²
Lynnfield	45 nm HKMG	4	9 MB	774 millió	296 mm ²
Bloomfield	45 nm HKMG	4	9 MB	731 millió	263 mm ²

1. Roadmap projections for Semiconductor technology (prediction)

Year	Smallest feature [μm]	Dynamic Ram		Microprocessors			Wiring Levels / chip	I/O /chip
		Chip size [mm ²]	Billions of bits / chip	Chip size [mm ²]	Millions of transistors / cm ²	On-Chip Clock (MHz)		
1995	0.35	190	0,064	250	4	300	4-5	900
1998	0.25	280	0,256	300	7	450	5	1350
2001	0.18	420	1	360	13	600	5-6	2000
2004	0.13	640	4	430	25	800	6	2600
2007	0.09	960	16	520	50	1000	6-7	3600
2010	0.07	1400	64	620	90	1100	7-8	4800

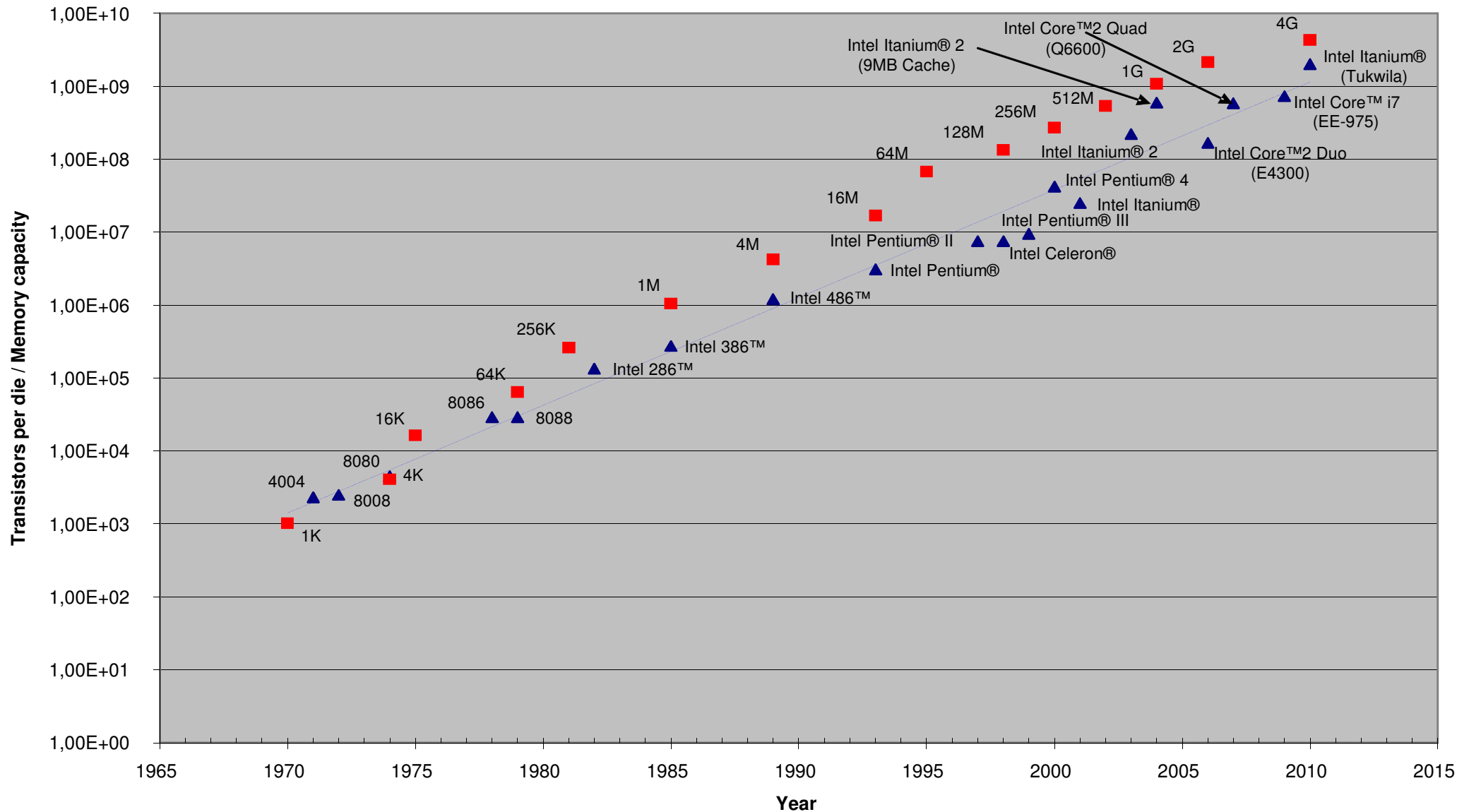
2. NOW and near future:

2004	0.09-0.13					3600	7	
end of 2005	0.065	110	70 Mbit		500	?	8	
2009*	0.03							

*EUV: extrem UV lithographical technique

Moore's law: Intel processor and memory roadmap

between '70 and 2010.



Megj: GPU – ATI Radeon 7980 (8.6 milliárd tr.) 28nm
 FPGA – Xilinx Virtex-7 2000T(6.8 milliárd tr.) 28nm

Szuperszámítógépek

■ Első szuperszámítógépek

- LARC: (Livermore – US) atom-kutatásokra (1960)
- IBM 7030 / Stretch (1961)
- **MA (2018. nov):** www.top500.org
 - 1.) **Summit - IBM Power System AC922:** Oak Ridge National Laboratory, **USA**
 - 2.4 millió ! processzor mag (IBM POWER9 22C 3.1 GHz,), 2800 TB memória, P: 9783 kW!!
 - **143.5 PetaFLOP/s teljesítmény !!!**
 - 2.) **Sierra - IBM Power System S922LC:** NVIDIA / Mellanox, Livermore, **USA**
 - 1.5 millió ! processzor mag (IBM POWER9 22C 3.1 GHz +), 1382 TB memória, P: 7438 kW!!
 - **94.46 PetaFLOP/s teljesítmény !!!**
 - 3.) **Sunway TaihuLight:** Sunway MPP, **Wuxi, China**
 - 10.6 millió ! processzor mag (SW26010 260C 1.45GHz), 1310 TB memória, P:15300 kW!!
 - **93 PetaFLOP/s teljesítmény !!!**
 - 4.) **Tianhe-2A (Milky-Way-2):** NUDT TH Cluster, **Guangzhou, China**
 - 4.9 millió ! processzor mag (Intel Xeon Phi ES-2692 12Cores 2.2 GHz), 2277 TB memória, P:17800 kW!!
 - **61.4 PetaFLOP/s**
 - ...
 - x.) **IBM Roadrunner BladeCenter QS22/LS21 Cluster, (LANL, Los Alamos., US)**
 - 129 600 processzor magos rendszer (PowerXCell 8i 3.2 GHz), 73 728 GB memória (N/A)
 - **1.105 millió GFLOPs teljesítmény! (elsőként ~ 1 PetaFLOPs sebességtartomány átlépése)**

■ További lehetőségek: FDE – parallelizmus

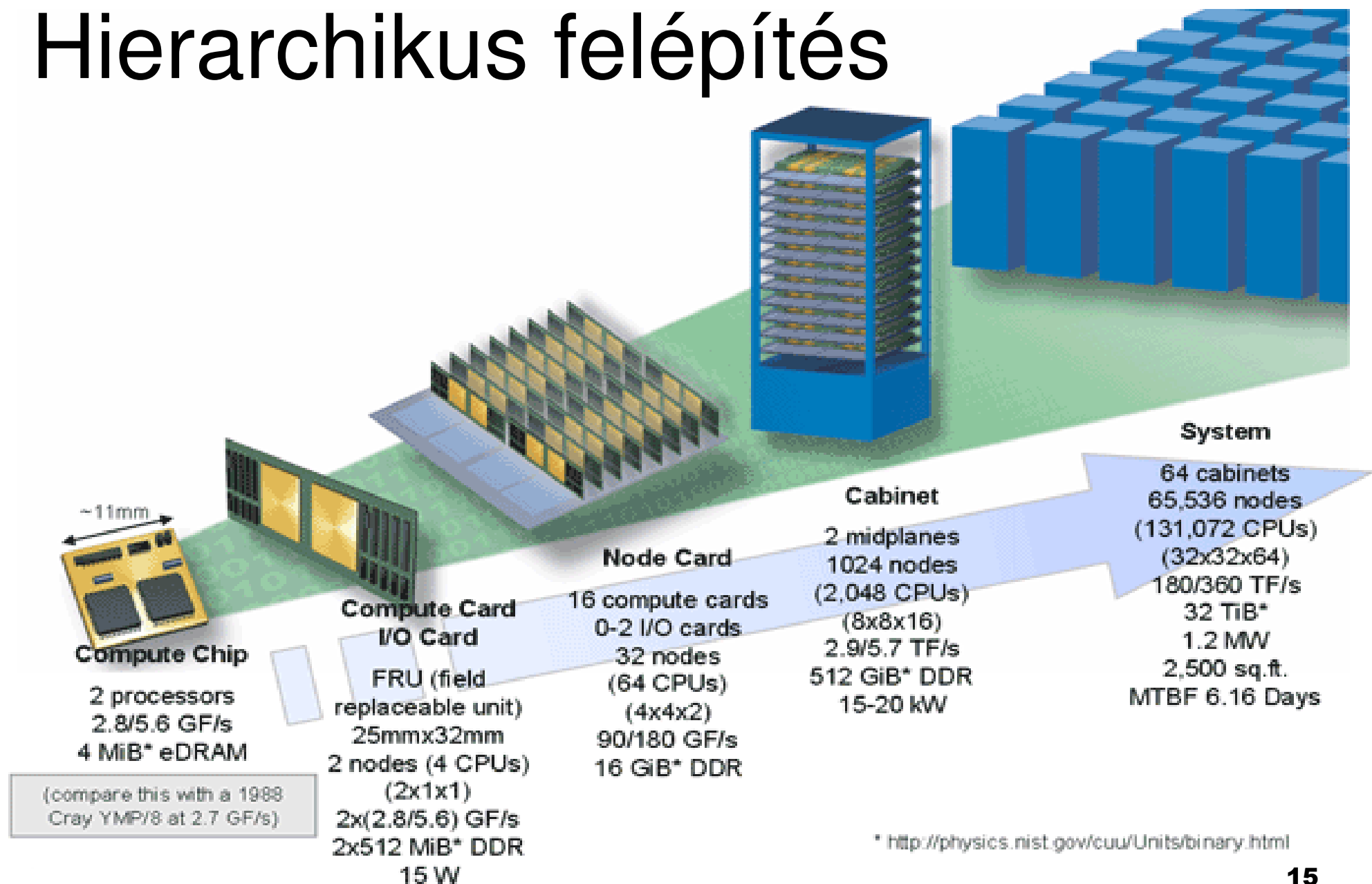
- átlapolat végrehajtás (látszólagos) – pipe-line, vagy IPL (utasítás szintű párhuzamosítás – pl. szuperskalár processzorok): párhuzamosítás egyetlen processzoron belül
- teljesen párhuzamos végrehajtás (több processzor) – pl. CELL BE
- heterogén több-magos (multi-core/many-core) rendszerek (pl. mai APU-k)

Szuperszámítógépek

■ Magyarország (ma már a TOP-500 listán kívül)

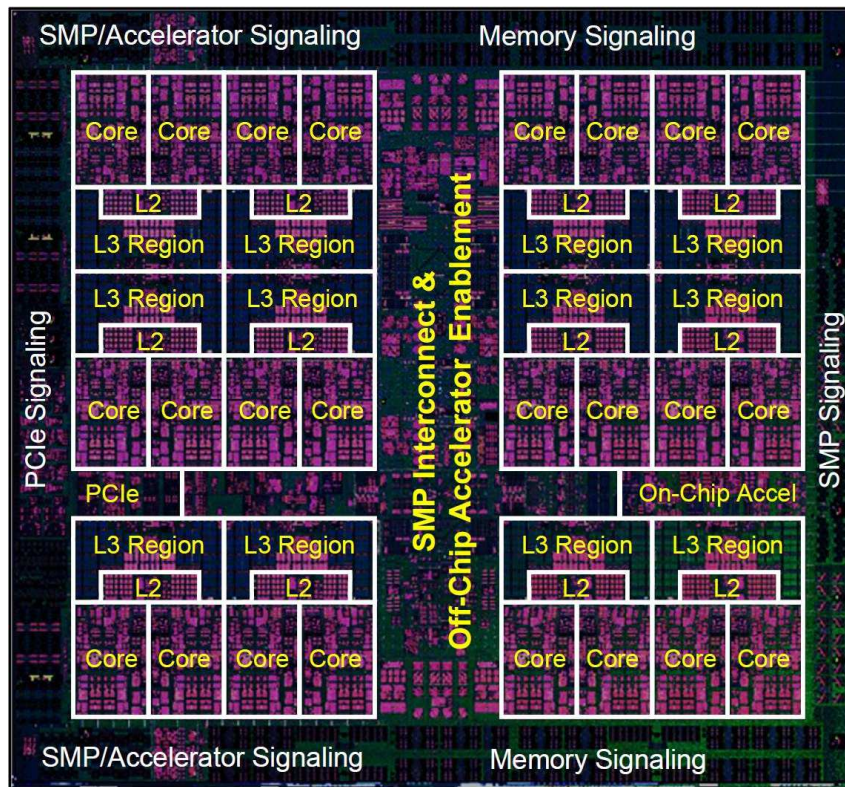
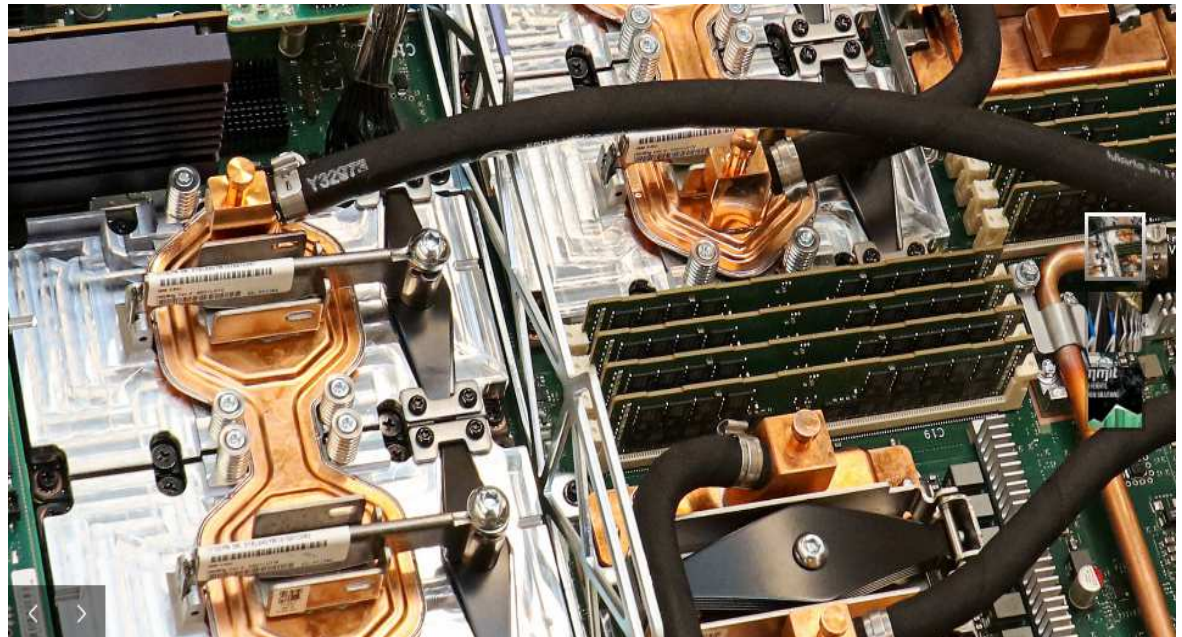
- # 500/307 (2014-ben a legjobb helyezése).
- Leó NIIFI-Debrecen - Cluster Platform SL250s Gen8, Intel Xeon E5-2650v2 8C 2.6GHz, Infiniband FDR, NVIDIA K20x/K40
- HPE rendszer
- 4890 mag
- 10 TB memória
- 253.6 TFLOPs teljesítmény
- 122 KW
- Weblap: <http://www.niif.hu>

Szuperszámítógépek – Hierarchikus felépítés



* <http://physics.nist.gov/cuu/Units/binary.html>

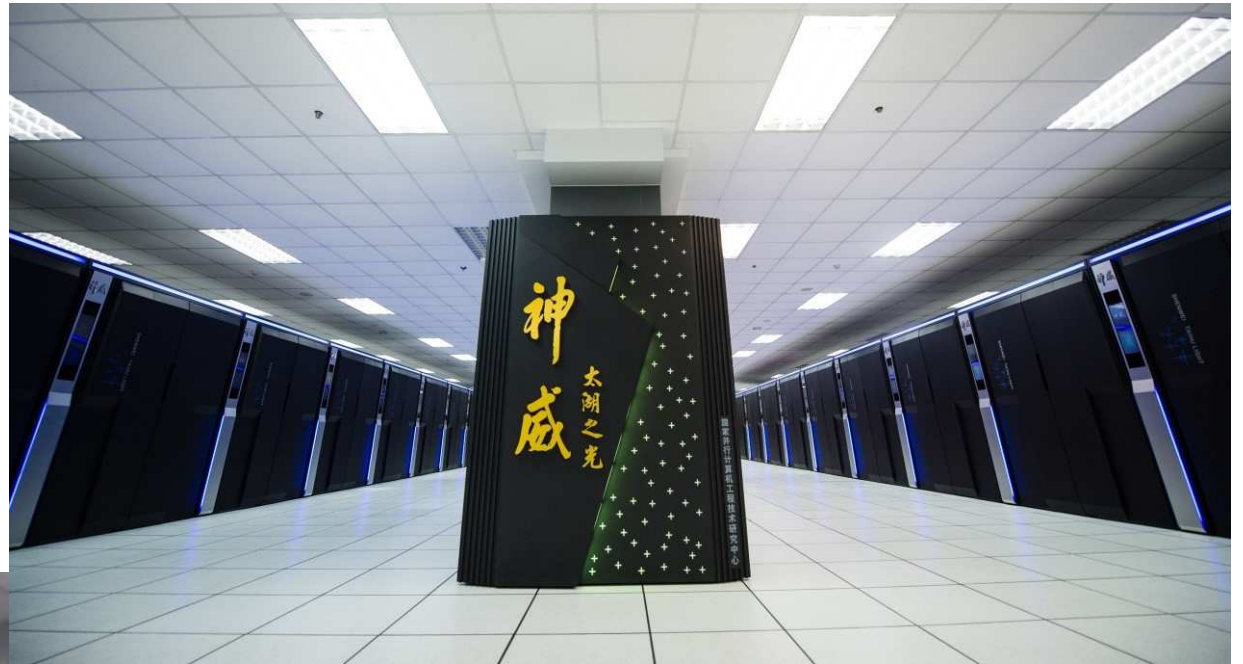
#1 Summit



#2 Sierra



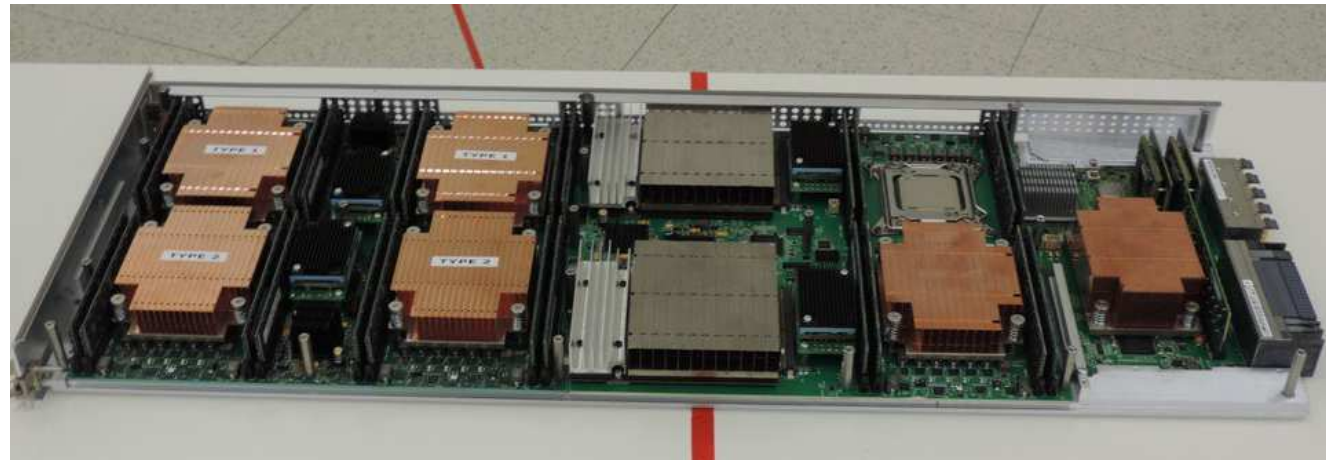
#3 Sunway



#4 Tianhe-v2A (Milky way)



5 Piz Daint, ETH Zürich



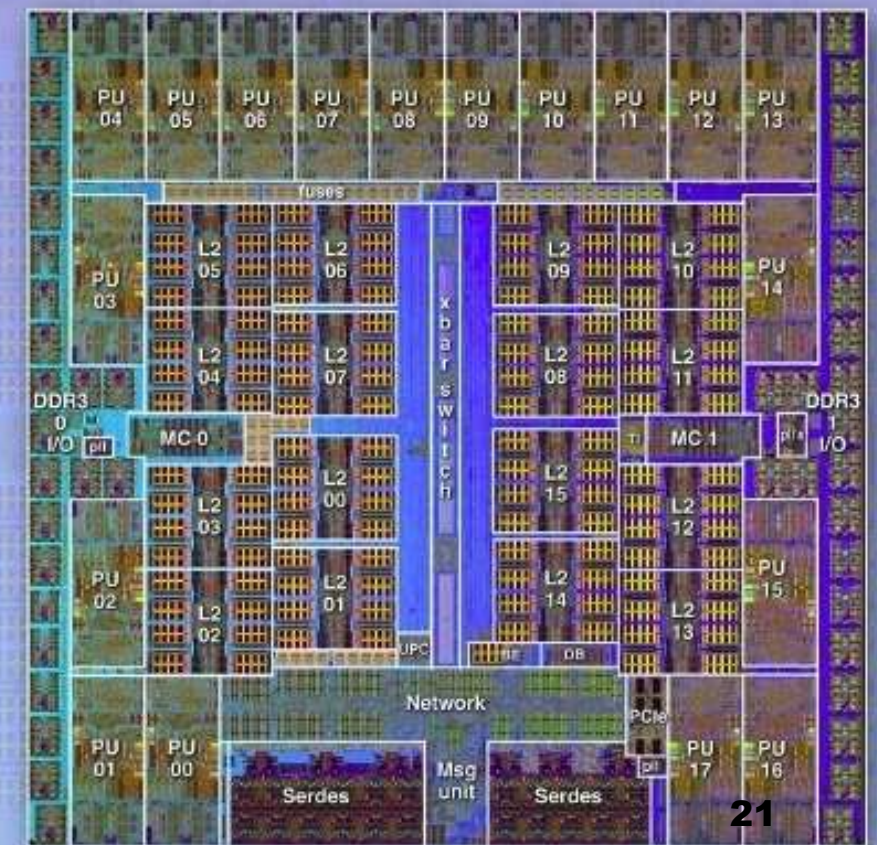
#10 Sequoia – IBM BlueGene/Q, Power BQC 16C



IBM BlueGene/Q
processzor
(16 + 2 mag)

Blue Gene/Q chip:

- IBM's 45 nm,
- peak performance of 204.8 GFLOPS,
- @1.6 GHz,
- 55 W,
- 19×19 mm (359.5 mm²),
- 1.47 milliárd tranzisztor.

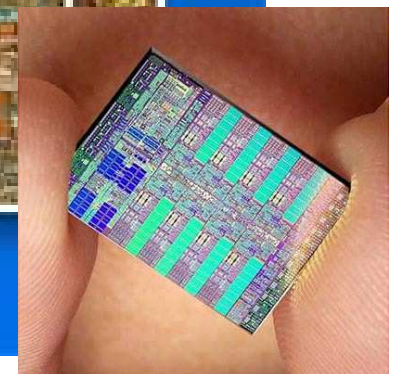
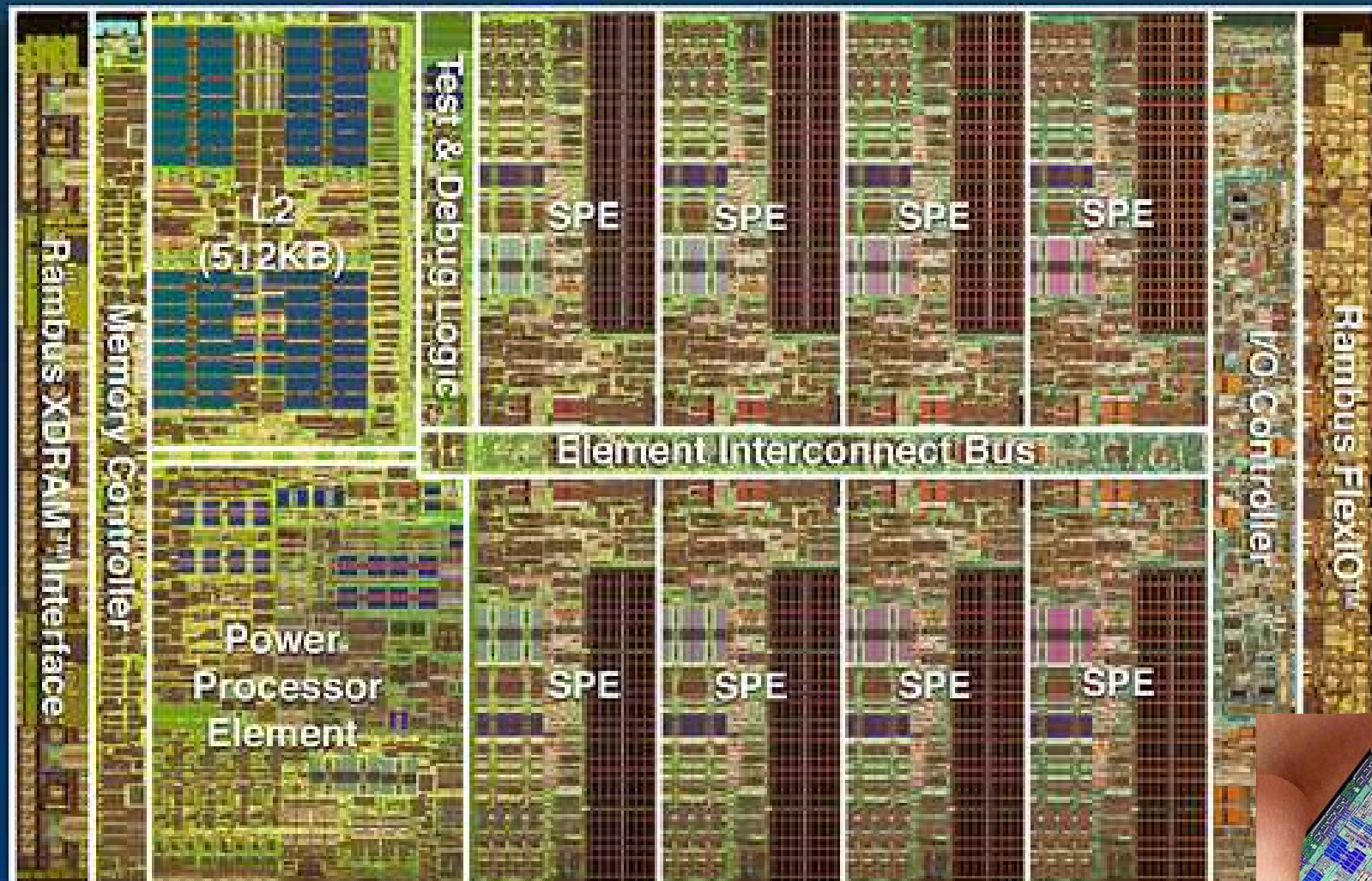


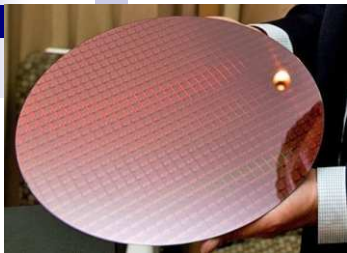
IBM Roadrunner supercomputer

1 PetaFlops (2009)

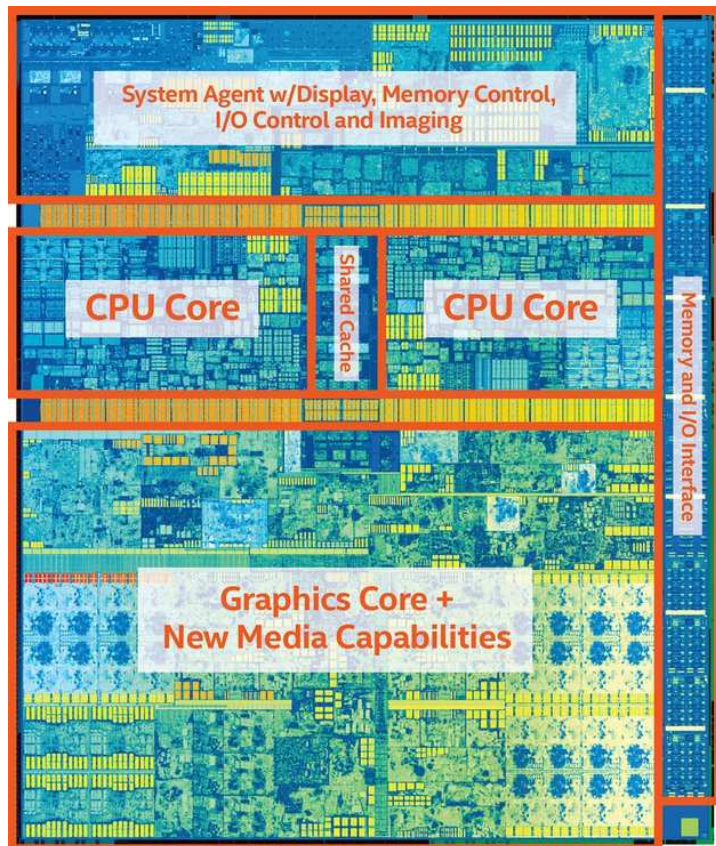


Cell Broadband Engine Processor

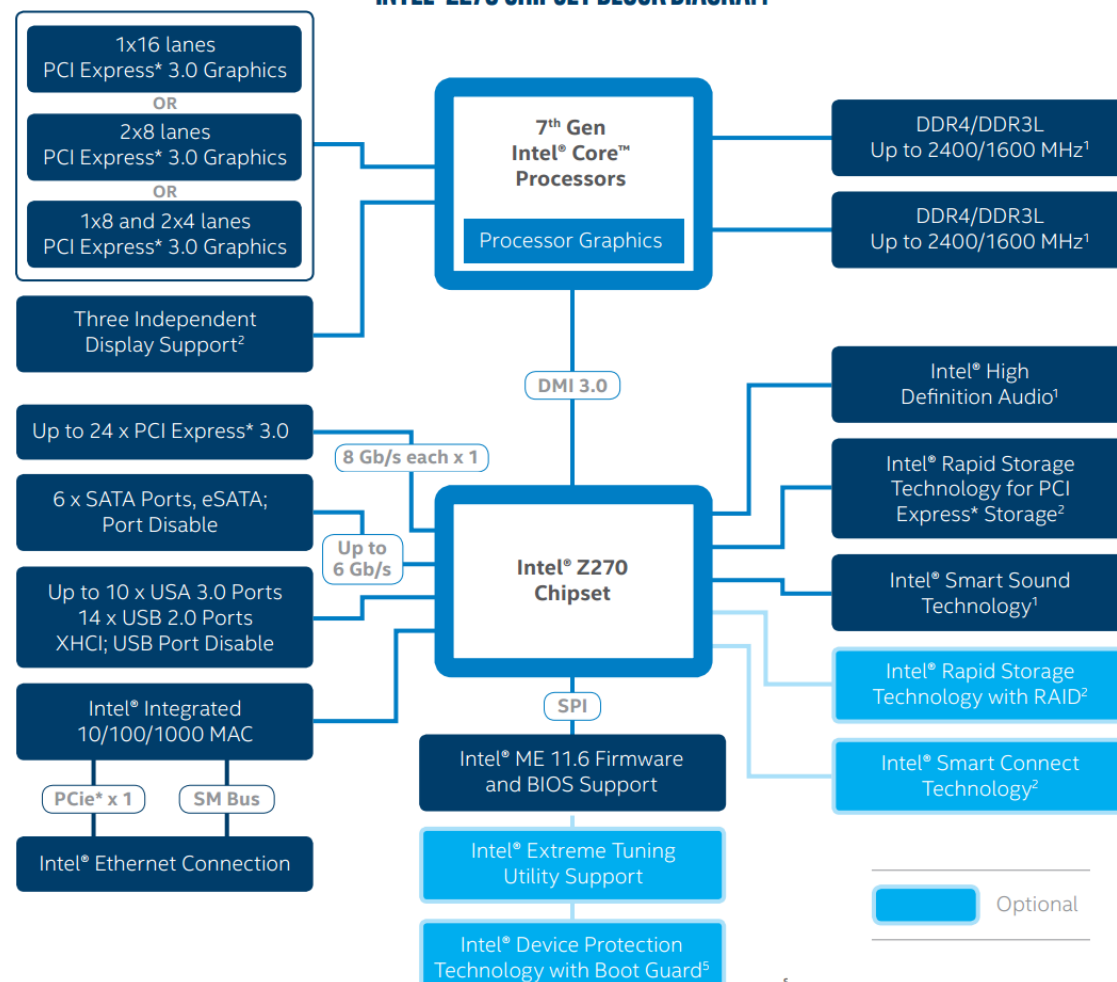




Intel „Lake” generációk



INTEL® Z270 CHIPSET BLOCK DIAGRAM

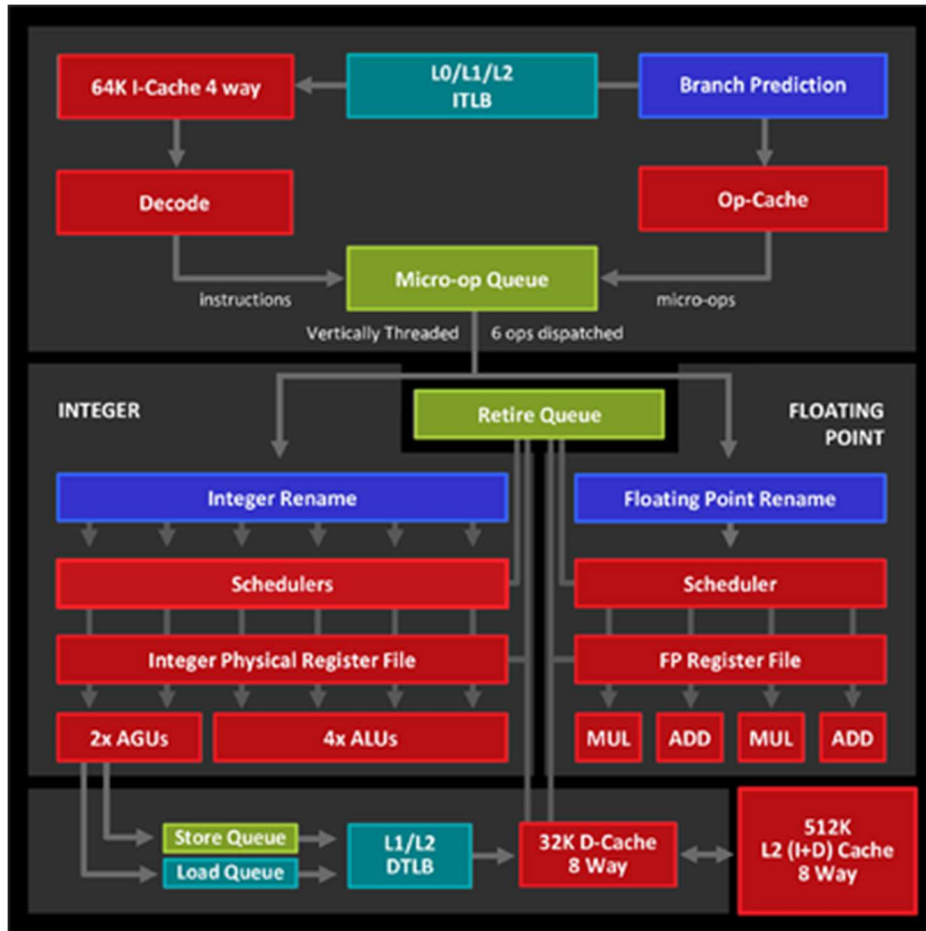


2017. január: **Intel Kaby Lake**, 7. generációs APU – teljes „brand” paletta (TIC-TOC stratégia: 2/4/8 mag, 14nm, 4+ GHz, 30-95 W, 1151 lábú tokozás)

2017. október: **Intel Coffee Lake**, 8. gen., PAO, 14nm, 4/6 mag, 65-95W, 4+ GHz

2018. nov. : **Intel Coffee Lake Refresh**, 9. gen. (14 nm, 8 mag, 3.6 GHz, 95W)

AMD Ryzen (Zen)

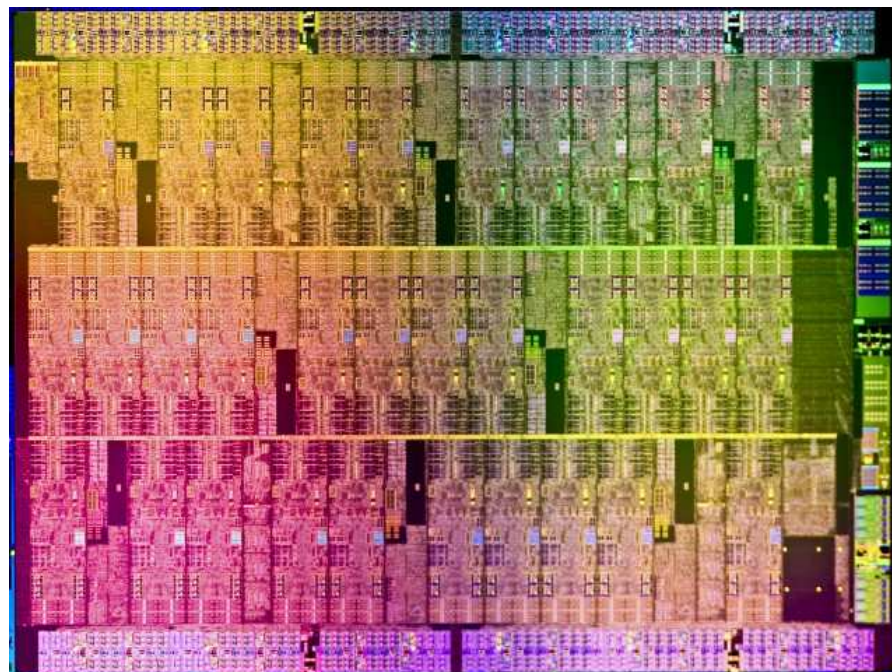


2017. febr.: AMD Ryzen 3/5/7, Zen architektúra, 4/6/8...16 mag – 8/12/16...32 szál, 14nm, 3-4.2 GHz, 5 milliárd tranzisztor, L3 \$: 8-16-32 MB, TDP: 65W – 100 W...180W, 1331 lábú tokozás), \$100-1000

2019. jan.: AMD Ryzen-2 (2600/2700X) architektúra.

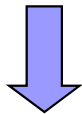
Many-integrated cores

- Intel Xeon Phi 3100/5110/7120 (Knights Corner, Hill, Mill ...)
 - 1-1.2 TFLOPs, 12 mag, 22 nm, max 320 GB/sec memória sávszélesség, 300 W, 2000-4000 \$
 - Tianhe-2 (2013) Top 1.
- Intel Knights Landing: Xeon Phi „v2” (2015)
 - 14 nm, 3 TFLOPs
72 magos (Intel Atom),
500 GB/sec memória.
200 W

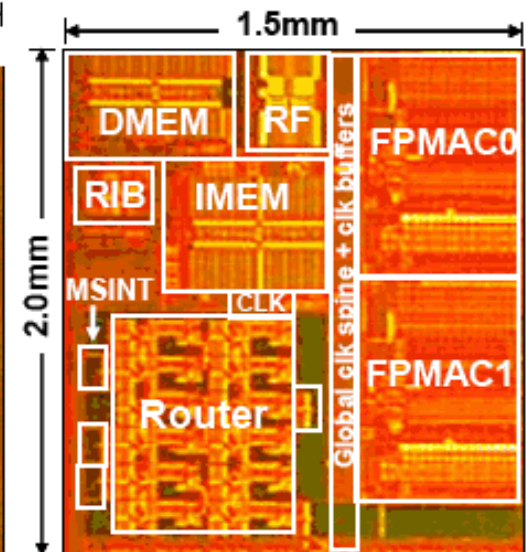
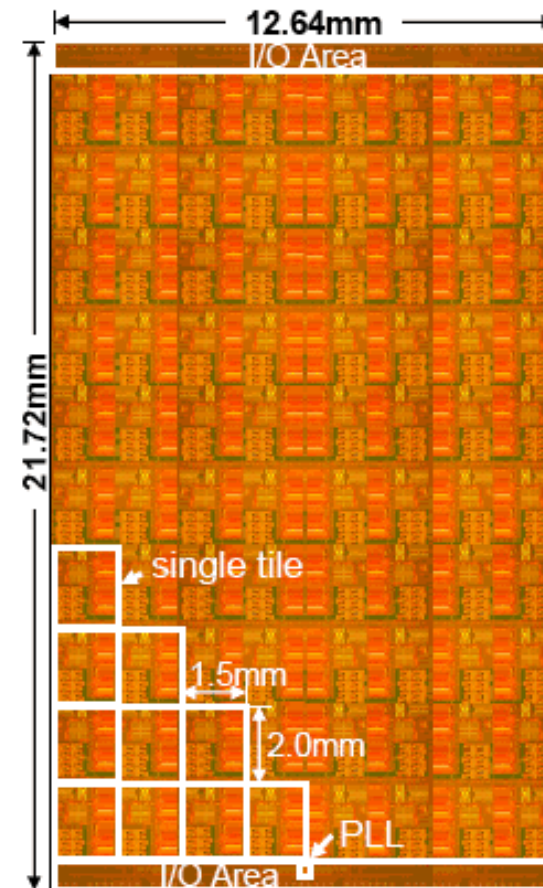
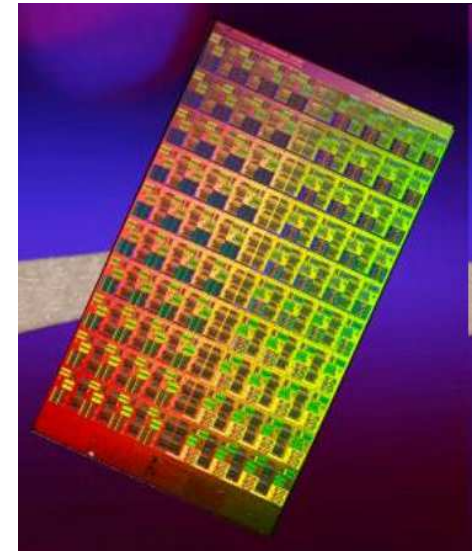
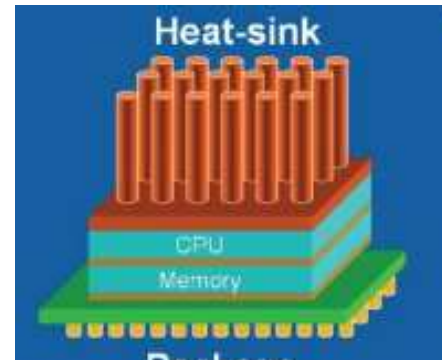


Intel Nehalem-EX: 80 mag

- ISSC'2007
- Polaris: 80 mag
 - 65 nm technológia
 - 3D rétegszerkezet
- 1 TeraFLOPs.
- 4 - 5.1 GHz
 - 100 – 175 W



- Intel Core i7 EE 980x
 - 32nm
 - 3.3 GHz
 - 6 mag / 12 szál
 - 2.2 milliárd tr.



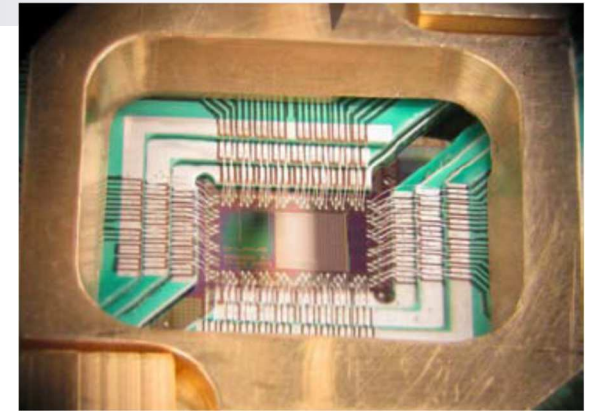
Technology	65nm CMOS Process
Interconnect	1 poly, 8 metal (Cu)
Transistors	100 Million
Die Area	275mm ²
Tile area	3mm ²
Package	1248 pin LG, 274 layers, 343 signal pins

Más alternatíva:

Kvantumszámítógépek

- A *hagyományos* számítógépeknél a tranzisztorok számának megduplázódása duplájára növeli a gép teljesítményét (~Moore-törvény szerint *lineáris* növekedés)
- A **kvantumszámítógépeknél** minden egyes kvantumbit (qubit) hozzáadása megduplázza (*hatványozza*) a gép teljesítményét (!)
 - „**qubit**” = **kvantumbit**, a kvantum-számítás alapegysége, amellyel Boole algebrában ismert ‘0’ és ‘1’ állapotok két normalizált és kölcsönösen ortogonális kvantum állapot-pár szuperpozíciójával ábrázolhatók $\{ |0\rangle, |1\rangle \}$ (egyszerre lehet mindkettő, ill. 0-1 között bármely átmenet lehetséges)
 - Egy kvantumbitet úgy érdemes elképzelni, mint egy gömböt. A klasszikus bitek ennek a gömbnek mindig egy-egy meghatározott pontján találhatók, a kvantumbitek viszont bárhol lehetnek ezen a gömbön belül. Emiatt egy kvantumbit jóval több információt tárolhat, de kisebb energiafelvétel mellett!

Más alternatíva: D-Wave Kvantumszámítógép



- D-Wave One System (2009): 128 qubit
- D-Wave Two (2012): 512 qubit
- D-Wave 2X (2015): 1000+ qubit
- D-Wave 2000Q (2017): 2000+ qubit (~ 15 m\$)
- Félvezetők helyett szupravezető fémet használnak mágneses vákuumban: niobium (ultra alacsony hőmérsékleten -273 C)
- HPC: High Performance Computing alkalmazásokra,
 - parallel-, elosztott számítási struktúra
 - Big data analysis - Optimization – Classification - Machine learning etc.
- Támogatók: Google, NASA, Lockheed CIA, Amazon...

<http://www.dwavesys.com>

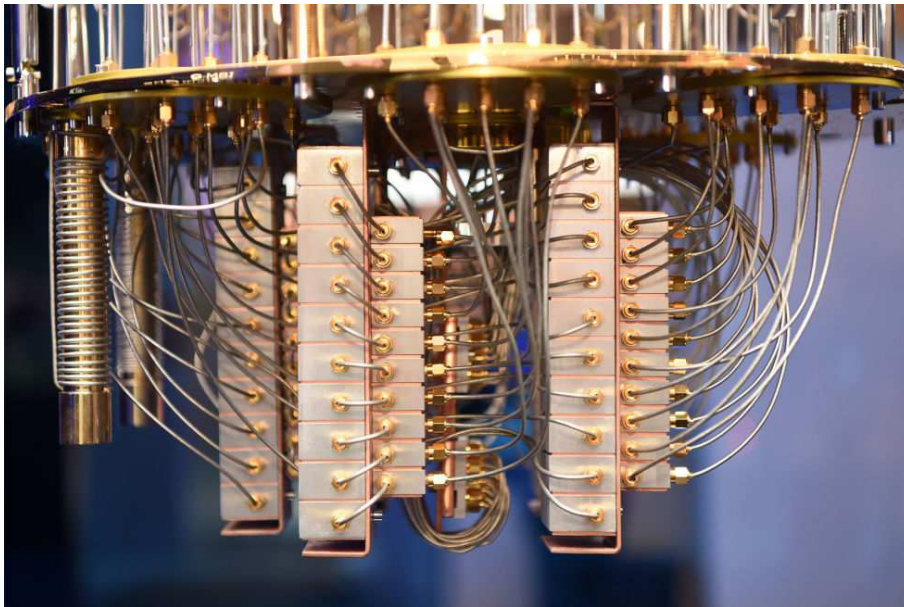
http://index.hu/tech/2016/08/18/programozhato_kvantumszamitogep



Más alternatíva:

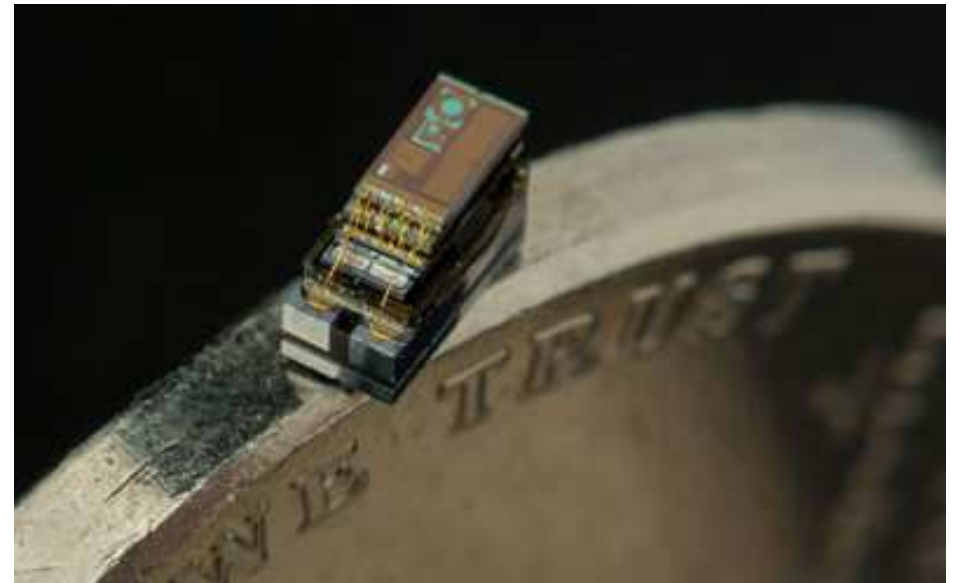
IBM Q System One - Kvantumszámítógép

- IBM Q (2017-): prototípus 50 qubit (IBM Research USA, CERN)
 - Szimulátor, SDK támogatás
 - Q Network: Cloud támogatás
- Első integrált kereskedelmi célú kvantumszámítógépe (2019 – CES): 20 qubit

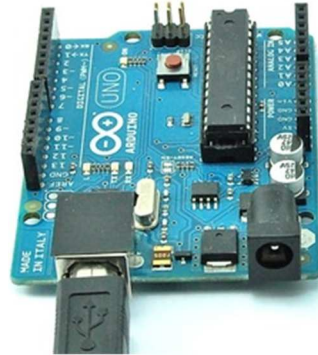


„Világ legkisebb számítógépe”

- 2018. jún (University of Michigan, USA)
- **M³ : Michigan Micro Mote: smart-sensor**
 - Hőmérséklet, nyomás,
 - Képképző szenzor (160x160 pixel)
 - 1 mm² felületű!
 - 2 nA disszipáció (standby mód)
 - CPU + MEM + PWR RF, battery



„Legnépszerűbb” eszközök: Arduino vs. Raspberry Pi



■ **Arduino** – Atmel/Microchip MCU alapú fejlesztő kártya

- Kisebb órajelű (~x10 MHz) MCU mag, kis belső memória, kis bitszélesség (8-, 16 bit)
- Nincs külső memória, nincs OS kezelése, nem real-time eszköz.
- Jó bővíthetőség: „shield”-ek
- Főként egyszerű szabványokat, GPIO-kat kezel, van ADC.
- Olcsó, népszerű, rengeteg szenzor illeszthető, de kisebb komplexitású fejlesztési célokra.
Ára: \$5-15 (platform függő)



■ **Raspberry Pi** – ARM alapú általános célú sz.gép, fejlesztő kártya („single board computer“)

- Dedikált, nagy órajelű CPU magok (ARM 32/64 bit ~x100 MHz, memória (DDR3), GPU mag, HDMI stb.
- Bővíthetőség: SDCard (OS boot), WIFI, BLE, CamIF, de nincs ADC.
- OS/RTOS (HW-es) kezelése
Nagyobb komplexitás, több funkció, de drágább.
- Ára: \$ 30- 50 (platform függő)



Programozható logikai áramkörök (PLD-k – Programmable Logic Devices)

Kombinációs hálózatok / szekvenciális hálózatok

■ Programozható logikai áramkörök (PLD) alkalmazása K.H., illetve S.H. tervezésére:

- PAL (Programmable AND Logic): 1x
- PLA (Programmable Logic Array): 1x
- PROM (Programmable OR Array): 1x
- GAL (Generic Array Logic): többször



- **CPLD** (Complex Programmable Gate Array): többször



- **FPGA** (Field Programmable Gate Array): többször

PLD-k két fő típusa:

■ 1.) **Makrocellás** PLD-k: (Programmable Logic Devices):

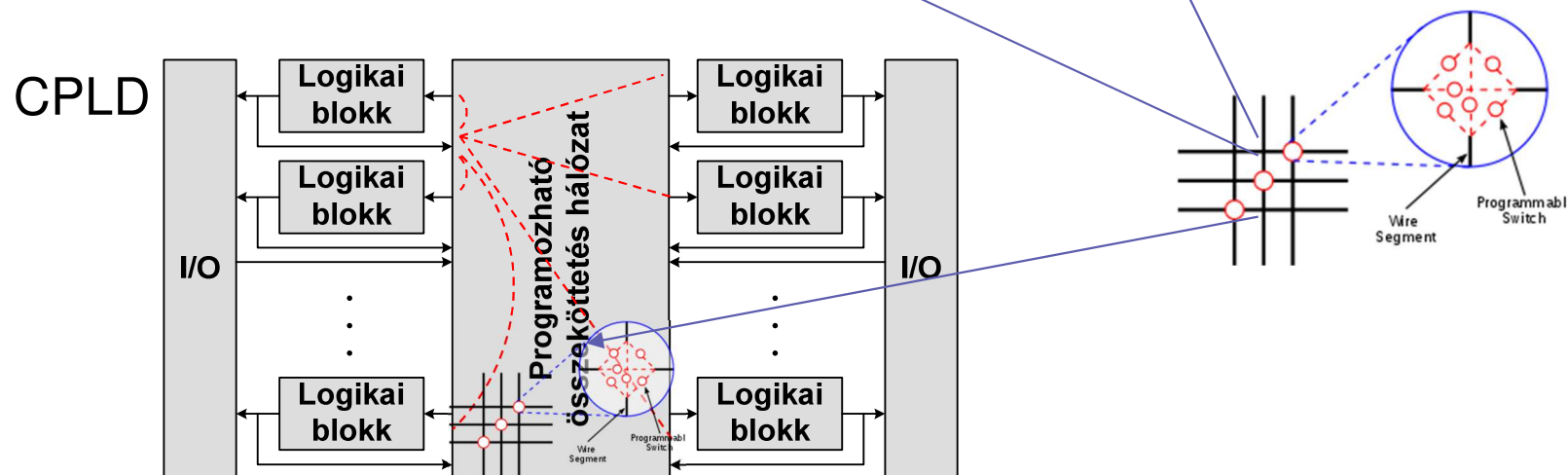
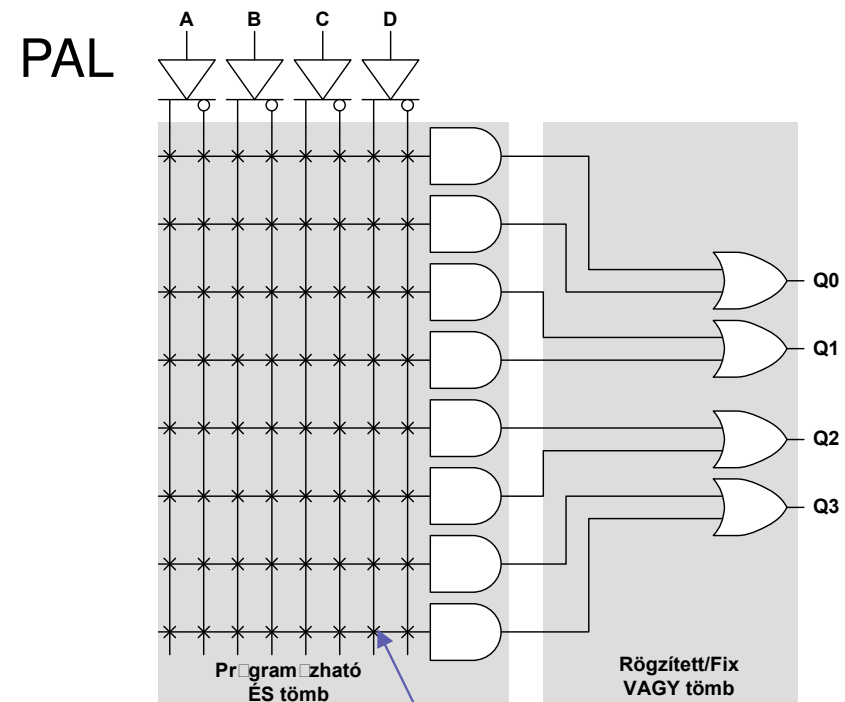
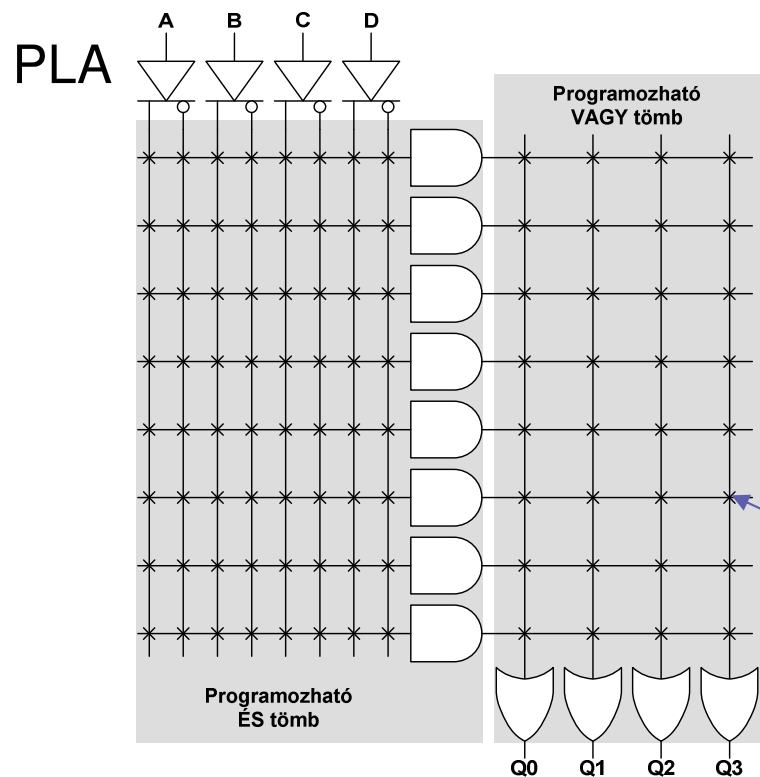
- ☐ PLA
- ☐ PAL
- ☐ GAL
- ☐ **CPLD**

■ 2.) **FPGA** (Field Programmable Gate Array): Programozható Gate Array áramkörök

- ☐ **XILINX** (Spartan, Virtex, Kintex, Artix) ~ 53 % !
- ☐ **Altera/Intel-FPGA** (Stratix, Arria, Cyclone), ~ 36 %
- ☐ MicroSemi-Actel (pl. úrkutatásban),
- ☐ Lattice sorozatok,
- ☐ QuickLogic,
- ☐ További kisebb gyártók termékei.

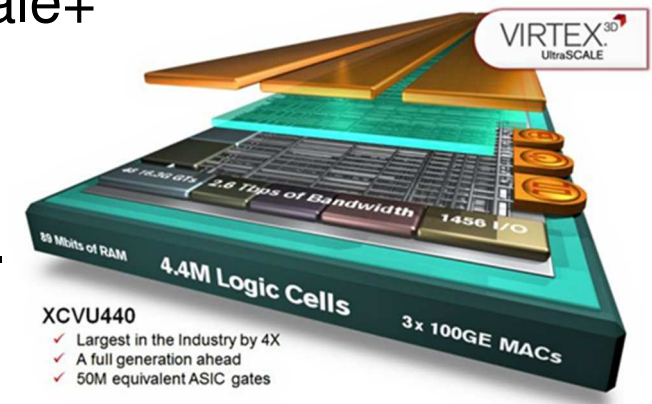


Makrocellás PLD-k



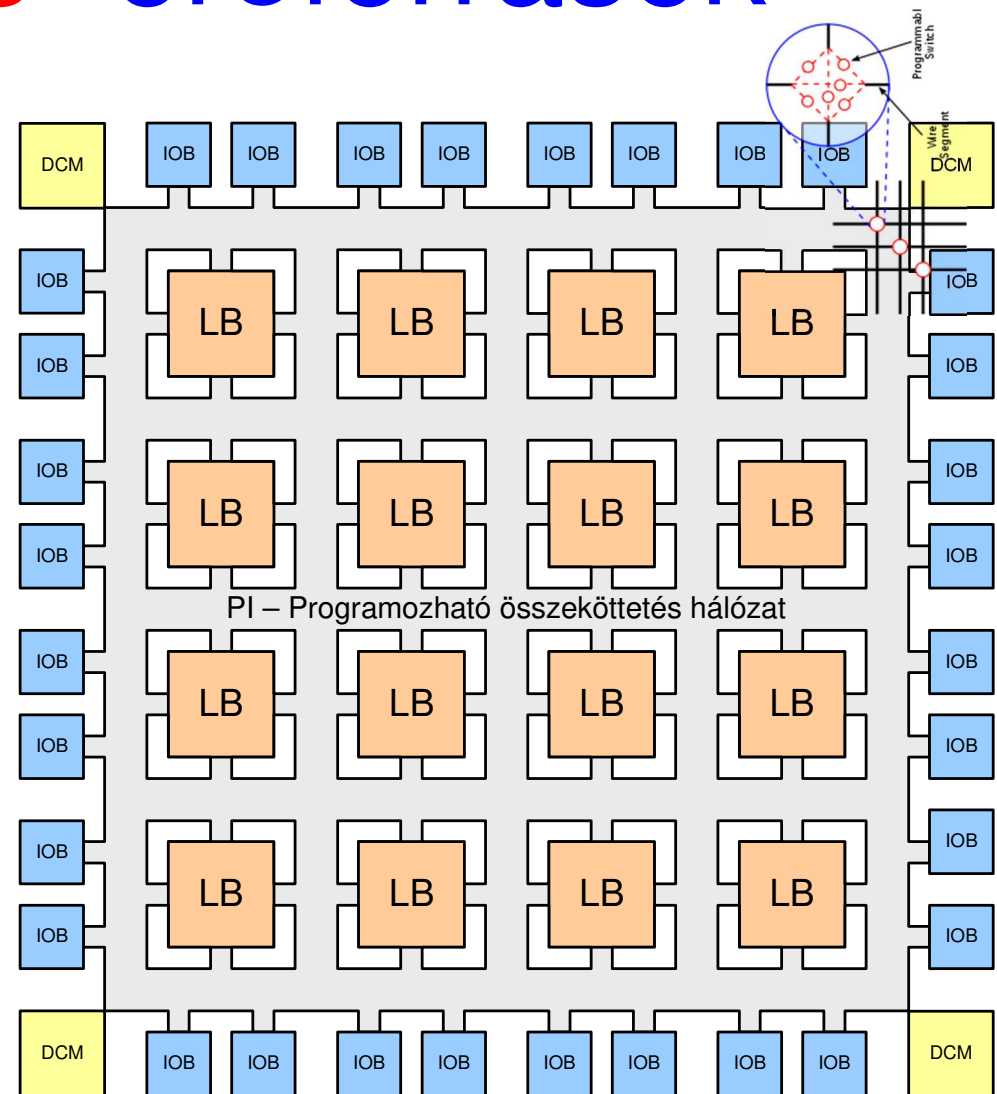
FPGA

- **Field Programmable Gate Array** = „Felhasználó által tetszőlegesen/többször” programozható kapuáramkörök
 - architektúráisan tükrözik mind a PAL, ill. CPLD felépítését, komplexitásban pedig a CPLD-ket is felülmúlják. Nagy, illetve nagyon-nagy integráltsági fokkal rendelkeznek: ~10.000 - ~10.000.000 !! *ekvivalens logikai kaput* is tartalmazhat gyártótól, és sorozattól függően.
 - *Ekvivalens tranzisztorszám*
 - Xilinx Virtex-7 2000T FPGA esetén már meghaladta a ~6.5 milliárdot (2012 – 28nm), amely ~2 millió logikai cellát jelentett.
 - a kapható legnagyobb Xilinx Virtex-Ultrascale+ XCVU440 (2015 – 20nm->16nm) FPGA: ~20 milliárd tr. - ~4.4 millió logikai cella! (~ 50 millió logikai kapu ekv.)
 - Intel/Altera Stratix-10 FPGA ~30 milliárd tr. (2017 – 14nm, 5.5 millió log. cella!)



FPGA: „általános” erőforrások

- **LB/CLB:** Konfigurálható Logikai Blokkok, amelyekben LUT-ok (Look-up-table) segítségével realizálhatók például tetszőleges, több bemenetű (ált. 4 vagy 6), egy-kimenetű logikai függvények. Ezek a kimeneti értékek szükség esetén egy-egy D flip-flopban tárolhatók el; továbbá multiplexereket, egyszerű logikai kapukat, és összeköttetéseket is tartalmaznak.
- **IOB:** I/O Blokkok, amelyek a belső programozható logika és a külvilág között teremtenek kapcsolatot. Programozható I/O blokkok kb. 30 ipari szabványt támogatnak (pl. LVDS, LVCMOS, LVTTL, SSTL stb.).
- **PI:** az FPGA belső komponensei között a programozható összeköttetés hálózat teremt kapcsolatot (lokális, globális és regionális útvonalak segítségével, melyeket konfigurálható kapcsolók állítanak be)
- **DCM:** Digitális órajel menedzselő áramkör, amely képes a külső bejövő órajelből tetszőleges fázisú és frekvenciájú belső órajel(ek) előállítására



FPGA – „dedikált” erőforrások

Dedikált erőforrások a következők (amelyek az FPGA típusoktól és komplexitásuktól függően nagy mértékben változhatnak):

- **BRAM:** egy/két portos Blokk-RAM memóriák, melyek nagy mennyiségű ($\sim \times 100\text{Kbyte}$ – akár $\sim \times 10\text{Mbyte}$) adat/utasítás tárolását teszik lehetővé, egyenként 18K / 36 Kbites kapacitással *
- **MULT / vagy DSP Blokkok:** beágyazott szorzó áramköröket jelentenek, amelyek segítségével hagyományos szorzási műveletet, vagy a DSP blokk esetén akár bonyolultabb DSP MAC (szorzás-akkumulálás), valamint aritmetikai (kivonás) és logikai műveleteket is végrehajthatunk nagy sebességgel.
- **Beágyazott/Beágyazható processzor(ok)**:**
 - Tetszés szerint konfigurálható / beágyazható ún. *soft-processzor mag(ok)*
 - Példa: Xilinx PicoBlaze, **Xilinx MicroBlaze**, Altera Nios II stb.
 - Fixen beágyazott, ún. *hard-processzor mag(ok)*
 - Példa: IBM PowerPC 405/450 (Xilinx Virtex 2 Pro, Virtex-4 FXT, Virtex-5 FXT), **ARM Cortex A9 (Xilinx Zynq, illetve Altera Cyclone V, Stratix V, Arria V, MicroSemi Smartfusion-1,-2 FPGA chipjei),**) stb.

* FPGA függő adatok (Xilinx)

** 2015-ös adatok szerint

„FPGA” témájú tárgyak a Pannon Egyetemen – VIRT tanszék

Mérnök informatikus BSc-MSc / Villamosmérnök BSc képzés

- (VEMIKN5143D) Tervezési módszerek programozható logikai eszközökkel - VHDL (őszii félév)
- (VEMIVI4144B) FPGA-alapú Beágyazott rendszerek (tavaszi félév)

