

CPU pre smart zariadenia

Radoslav Drobný

Počítačové architektúry, 2. ročník APIN

Definícia smart zariadenia



Definícia smart zariadenia

Vlastnosť

Inteligencia

Vnímanie

Prepojenie

Interakcia

Odborný termín

Autonomous Computing

Sensing / Context-awareness

Ubiquitous Connectivity

Interactivity

Význam

Zariadenie rieši problémy samo (často pomocou AI/ML).

Reaguje na svetlo, pohyb, teplo ... prítomnosť osôb.

Neustále spojenie s cloudom alebo inými uzlami IoT.

Komunikácia s používateľom (hlas, dotyk, biometria).

Požiadavky na procesor pre smart

Architektúra

ARM (V9.4 a novšie)

x86 (Intel/AMD)

RISC-V

Hlavné využitie

Smartfóny, Tablety, Wearables

High-end notebooky, Smart Huby

Senzory, Lacnejšie IoT, Autá

Hlavná výhoda

Najlepší pomer výkon/spotreba, obrovský ekosystém.

Maximálny hrubý výkon a kompatibilita so softvérom.

Nízka cena (open-source), možnosť úpravy na mieru.

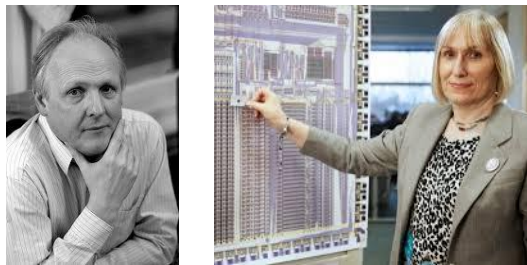
História smart zariadení

Éra pred smartfónmi (1970 – 1990: Miniaturizácia)

- Všetko to začalo potrebou znížiť spotrebu energie.
- **1985 – Zrod ARM:** Britská spoločnosť Acorn Computers vyvinula prvý procesor **ARM (Acorn RISC Machine)**. Kľúčom bola architektúra RISC (Reduced Instruction Set Computer), ktorá bola oveľa jednoduchšia a energeticky úspornejšia než architektúra x86 od Intelu používaná v PC.
- **1993 – Apple Newton:** Jeden z prvých "PDA" (osobných asistentov) používal čip ARM610. Bol to predchodca dnešných smart zariadení.



História smart zariadení (ARM story)



1981 – 1985

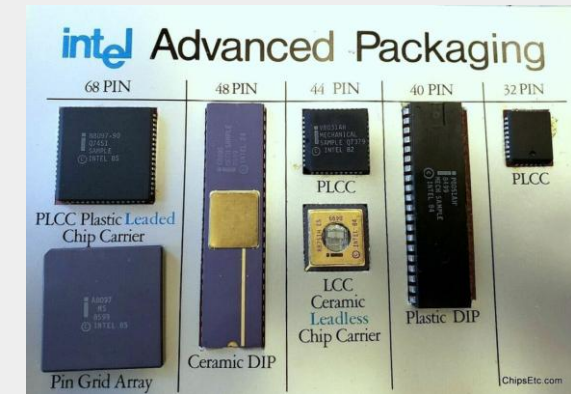
Acorn (GB) – BBC Micro (6502 8 bit chip)
Steve Ferber, Sophie Wilson

ÜCMFPV



1982 – 1983

Western Design Center (Arizona)
Silicon Graphics Workstation



1983 – 1985

Plastic vs ceramic (\$)
=> 1W a menej

Ilustračné obrázky Steve Ferber, Sophie Wilson, WDC logo,
Apollo Workstation, Intel chips
Zdroj: www.wikipedia.org

História smart zariadení

Medzihra (1990 – 2000)

NEC V30HL (IBM Simon, 1994): Procesor kompatibilný s Intel 8086 (16-bit) na frekvencii 16 MHz. Použitý v rámci Vadem VG230 (jeden z prvých pokusov o SoC), ktorý integroval CPU, radiče pre displej a pamäť.

ARM 610 (Apple Newton, 1993): Prelomový 32-bitový čip na 20 MHz. Apple si ho vybral pre schopnosť spracovávať zložité algoritmy (rozpoznávanie rukopisu) pri nízkej spotrebe energie. To rozhodlo o budúcej dominancii ARM-u.

Motorola DragonBall 68328 (PalmPilot, 1996): Derivát slávnej Motoroly 68000 (prvé Macy). „Všetko v jednom,, navrhnutý pre vreckové počítače, aby sa šetrilo miesto na základnej doske.

Intel i386 (Nokia 9000 Communicator, 1996): Nokia vyskúšala procesor z PC sveta. Umožnil zariadeniu spúšťať komplexné kancelárske aplikácie, za cenu veľkosti a váhy zariadenia.



Obrázok Nokia Communicator 9110
Zdroj: www.wikipedia.org

História smart zariadení

Prvé "múdre" telefóny (2000 – 2007)

- V tomto období procesory zvládali len základné funkcie (kalendár, jednoduchý WAP internet, e-mail).
- **Nokia a Texas Instruments:** Legendárne Symbian telefóny (napr. Nokia N95) bežali na procesoroch TI OMAP. Tieto čipy mali taktovacie frekvencie okolo **200 – 300 MHz**.
- **BlackBerry:** Dominovalo biznis sfére vďaka procesorom Intel XScale.



História smart zariadení

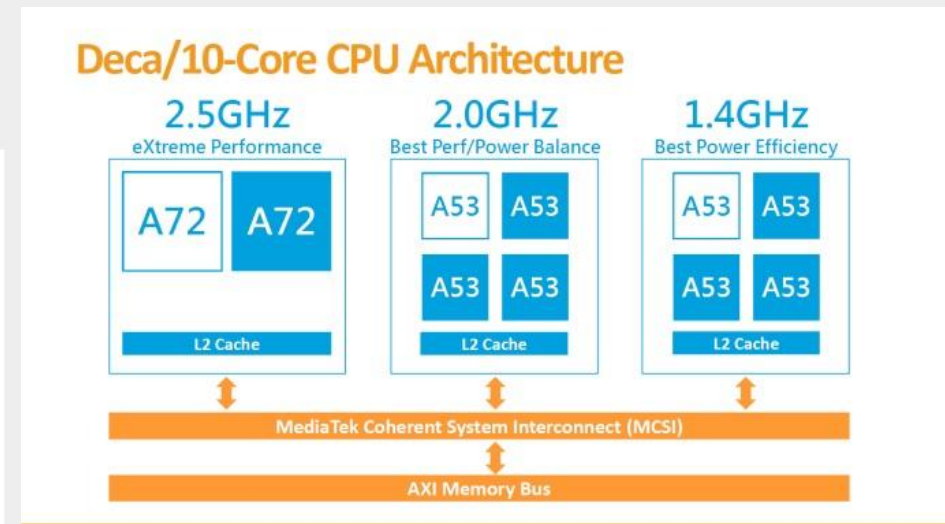
Revolúcia iPhone a Android (2007 – 2012)

- Nástup iPhoneu a prvých Androidov zmenil požiadavky na procesory – museli zvládnuť grafické rozhranie a plnohodnotný web.
- **2007 – Prvý iPhone:** Používal procesor od Samsungu (ARM1176) s frekvenciou 412 MHz.
- **2010 – Prvé SoC (System on Chip):** Apple predstavil **A4** (v iPhone 4), čo bol prvý čip, ktorý si navrhli sami. Qualcomm prišiel s radom **Snapdragon (S1)**, ktorý priniesol 1 GHz procesory do sveta Androidu.



História smart zariadení

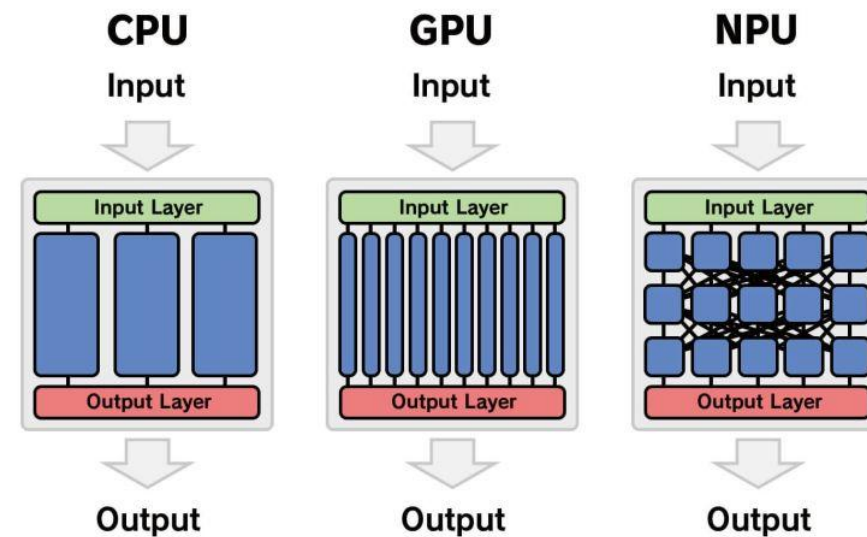
- **Boj o jadrá a 64-bitovú architektúru (2013 – 2018)**
- Výrobcovia začali pridávať viac jadier, aby zvýšili výkon bez prehrievania.
- **2013 – Apple A7:** Šokoval priemysel prvým **64-bitovým procesorom** v smartfóne (iPhone 5S). Konkurencii trvalo takmer dva roky, kým ho dobehla.
- **Viacjadrový ošial:** Objavili sa 4-jadrové, 8-jadrové a dokonca 10-jadrové procesory (MediaTek Helio). Ustálil sa koncept **big.LITTLE** (ARM) – kombinácia výkonných jadier pre hry a úsporných jadier pre pozadie.



Súčasnosc smart zariadení

Éra AI a 5G (2019 – súčasnosť/2026)

- Dnes už nejde len o hrubý výkon CPU, ale o špecializované časti čipu.
- **NPU (Neural Processing Unit):** Od roku 2017 (Apple A11 Bionic, Huawei Kirin 970) začali čipy obsahovať dedikované časti pre umelú inteligenciu.
- **5G integrácia:** Modemy pre 5G sa stali priamo súčasťou hlavného čipu, čo šetrí miesto a batériu.
- **ARM v počítačoch:** Prechod Apple na čipy **M1/M2/M3** ukázal, že architektúra pôvodne určená pre mobily dokáže poraziť najvýkonnejšie procesory od Intelu v efektívnosti.



Súčasnosc smart zariadení

Výrobca	Podiel na trhu (ks)	Segmentácia
MediaTek	38 %	Kráľ objemu. Ovláda strednú a nižšiu triedu a masívne rastie v segmente prémiových čipov (Dimensity).
Qualcomm	28 %	Líder v prémiovom segmente Androidov a AI PC (Snapdragon X Elite).
Apple	19 %	Uzavretý ekosystém (iPhone, iPad). Najvyšší zisk na jeden predaný čip.
UNISOC / Ostatní	10 %	Najlacnejšie smartfóny, rozvojové trhy a špecializované IoT.
Google / Samsung	5 %	Vlastné čipy (Tensor, Exynos) pre špecifické modelové rady.

Budúcnosť smart zariadení

Fyzikálna hranica: Od nanometrov k Ångströmom

- **Technológia 14A (1.4nm):** Okolo roku 2028 Intel a TSMC plánujú masovú výrobu na úrovni **14 Ångströmov**.
- **Backside Power Delivery (BSPD):** Napájanie procesora sa presunie na jeho **zadnú stranu**, čím sa uvoľní miesto pre dáta na prednej strane. Menej tepla a o 20 % vyšší výkon pri rovnakej spotrebe.

On-Device AGI (Vrecková umelá inteligencia), Lokálne LLM a LMM:

Nástup architektúry RISC-V

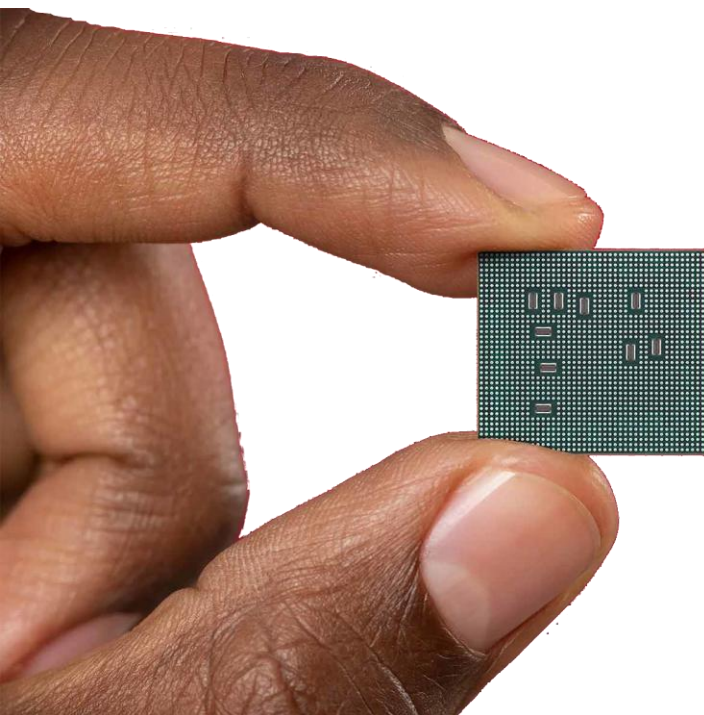
Smartfóny bez obrazoviek (Wearables & XR)

- Procesory pre AR okuliare a Neural Link integrácia

2D Materiály

Optické čipy (Photonics)

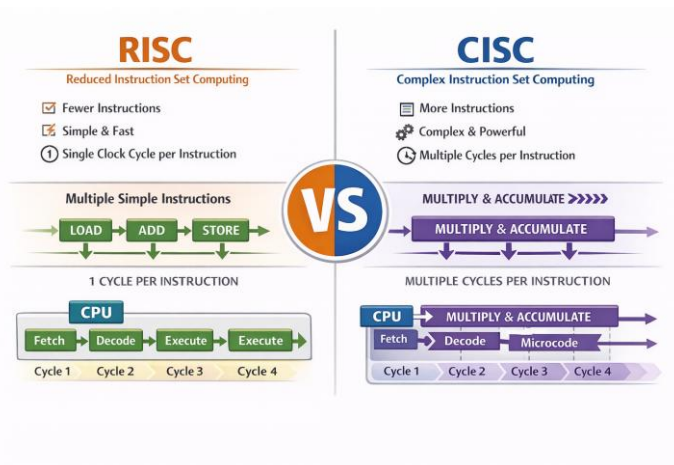
Procesory pre smartfóny



Riadiaca jednotka (Control Unit)

- V smartfónových procesoroch funguje riadiaca jednotka ako „mozog mozgu“ - riadi tok dát medzi ostatnými časťami SoC (System on Chip).
- Pri architektúre ARM ide o extrémne sofistikovaný systém: **prediktívne vykonávanie (Speculative Execution)** a **mimo-poradové spracovanie (Out-of-Order Execution)**. To znamená, že riadiaca jednotka neustále analyzuje prichádzajúci kód, odhaduje výsledky vetvenia programu a preusporadúva inštrukcie tak, aby boli výpočtové jednotky (ALU) vyťažené na maximum. Zároveň úzko spolupracuje s modulom pre správu napájania, aby v reálnom čase uspávala tie časti čipu, ktoré v danej milisekunde nie sú potrebné, čím šetrí batériu.

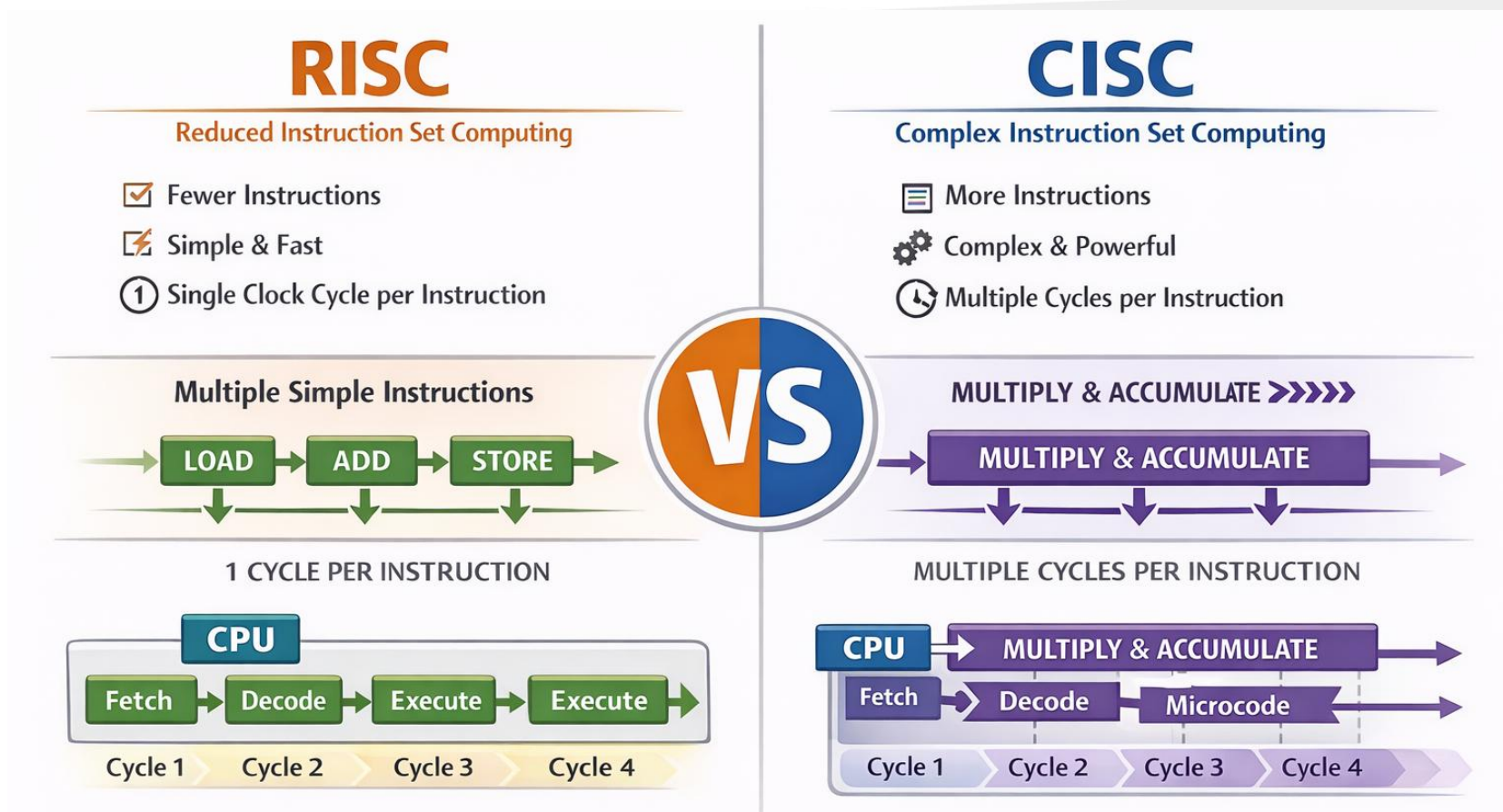
Procesory pre smartfóny



Inštrukčné sady (Instruction Sets)

- Smartfóny využívajú takmer výhradne inštrukčnú sadu **ARM (najnovšie ARMv9)**, ktorá patrí do kategórie **RISC (Reduced Instruction Set Computer)**.
- Na rozdiel od komplexných x86 procesorov v počítačoch, inštrukcie ARM sú jednoduchšie, majú pevnú dĺžku a sú navrhnuté tak, aby sa dali vykonať veľmi rýchlo s minimálnou spotrebou energie.
- Moderné sady ARMv9 navyše obsahujú špecializované rozšírenia ako **SVE2 (Scalable Vector Extension)** pre rýchle spracovanie obrazu a signálu, či inštrukcie pre hardvérovú akceleráciu umelej inteligencie.

Procesory pre smartfóny



Processory pre smartfóny

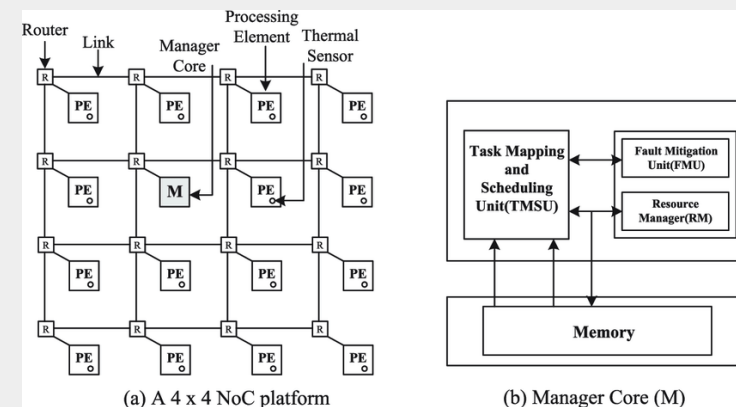
Registre (Registers)

- Registre v mobilnom procesore predstavujú najrýchlejšiu úroveň pamäte, umiestnenú priamo v jadre CPU.
- Architektúra ARM64 poskytuje **31 všeobecných 64-bitových registrov** (označených x0 až x30), čo je výrazne viac než u tradičných x86 procesorov.
- Väčší počet registrov umožňuje mobilnému procesoru uchovávať viac dát priamo „pod rukou“ bez toho, aby musel neustále pristupovať k pomalšej vyrovnávacej pamäti (Cache) alebo operačnej pamäti (RAM).
- Okrem nich obsahuje procesor aj špecializované registre pre vektorové operácie (NEON/SIMD), ktoré urýchľujú spracovanie multimédií a šifrovanie dát.

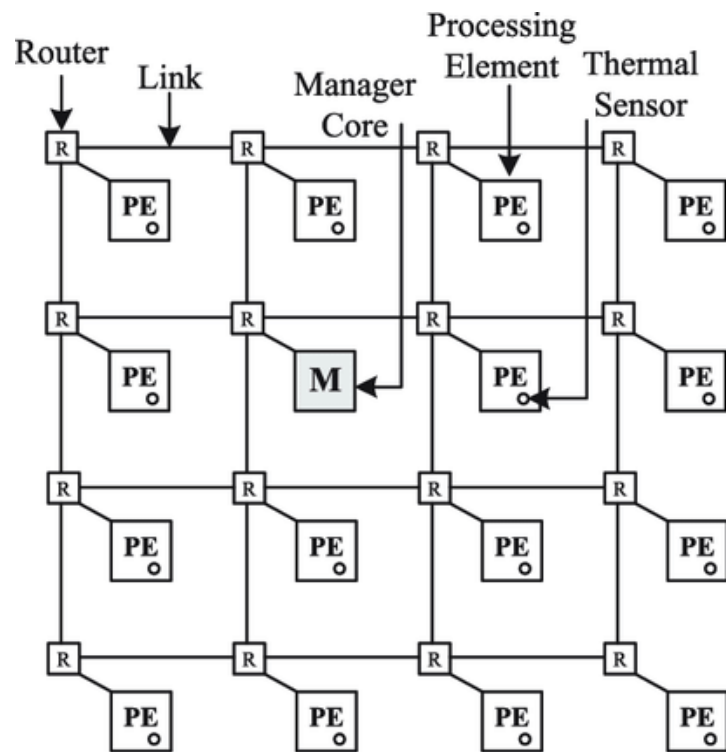
Procesory pre smartfóny

Komunikácia (Interconnect & Bus)

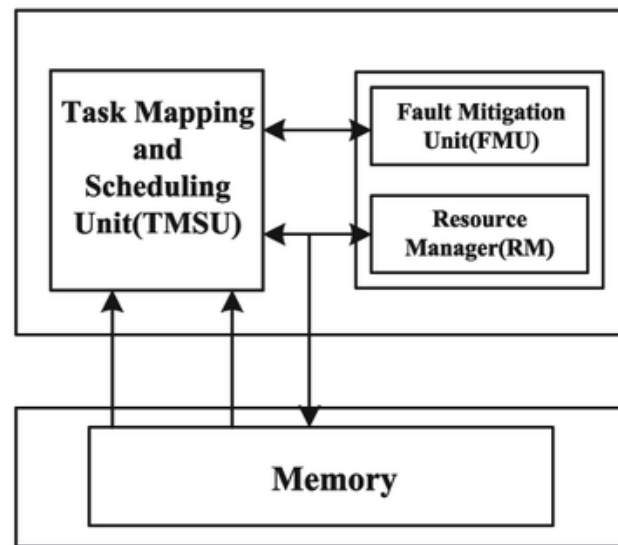
- V smartfónovom procesore neprebíha komunikácia len po klasických zberniciach, ale cez komplexný systém nazývaný **NoC (Network on Chip)**. Keďže CPU zdieľa jeden čip s grafickým jadrom (GPU), neurálnym procesorom (NPU) a modemom, musí komunikácia medzi nimi prebiehať s extrémne nízkou latenciou.
- Riadenie tejto komunikácie zabezpečujú protokoly ako **AMBA (Advanced Microcontroller Bus Architecture)**.
- Tento systém umožňuje tzv. „Cache Coherency“ – zabezpečuje, aby CPU aj GPU videli v rovnakom čase tie isté aktuálne dáta v pamäti bez potreby ich neustáleho kopírovania. To je kľúčové pre plynulý multitasking a okamžité prepínanie medzi aplikáciami.



Procesory pre smartfóny



(a) A 4 x 4 NoC platform



(b) Manager Core (M)

História IoT procesorov



- **Doba kamenná" (1980 – 1999): Pripájanie nepripojiteľného**
- V tomto období neexistovali špecializované IoT čipy. Prvé zariadenia (ako legendárny automat na Coca-Colu na Carnegie Mellon University v roku 1982) využívali bežné sálové počítače alebo mikrokontroléry, ktoré boli upravené na monitorovanie hardvéru.
- **Technológia:** Čipy ako **Intel 8051** (8-bit) alebo **Motorola 68HC11**.
- **Charakteristika:** Žiadna natívna podpora siete. Konektivita sa riešila externými modemami alebo sériovými portmi pripojenými k veľkým počítačom.

História IoT procesorov

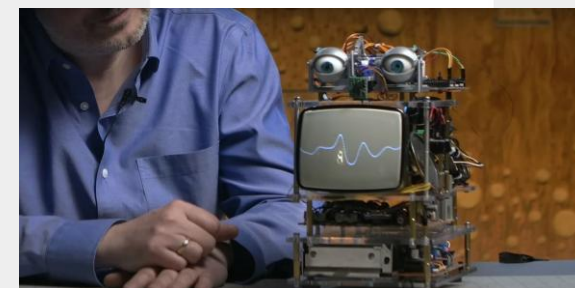
Zrod mikrokontrolérov (MCU) s IP (2000 – 2010)

- S rozmachom Wi-Fi a Bluetooth sa výrobcovia začali sústrediť na integráciu komunikačných protokolov priamo do čipu.
- **ARM Cortex-M (2004):** ARM predstavil rodinu procesorov špeciálne navrhnutú pre nízkoenergetické zabudované systémy. To bol moment, kedy IoT dostalo svoj "mozog".
- **Arduino (2005):** Hoci ide o dosku, popularizovalo mikrokontroléry **Atmel AVR**. Umožnilo komukoľvek programovať senzory a jednoduché "veci" pripojené k sieti.
- **Míľnik:** V roku 2008 bolo k internetu pripojených viac "vecí" ako ľudí.

História IoT procesorov

Integrácia konektivity: Éra SoC (2011 – 2018)

- Skutočný boom nastal, keď sa Wi-Fi, Bluetooth a procesor zmestili na jeden kúsok kremíka (System on Chip).
- **ESP8266 (2014):** Čínsky gigant Espressif vydal čip, ktorý stál menej ako 2 doláre a obsahoval plnohodnotné Wi-Fi. Toto demokratizovalo svet inteligentných domácností (smart žiarovky, zásuvky).
- **ESP32 (2016):** Pridal dvojjadrový výkon a Bluetooth Low Energy (BLE), čo sa stalo zlatým štandardom pre dnešné IoT.
- **Technológie:** Nástup nízkoenergetických sietí ako **LoRa** a **NB-IoT**, ktoré umožnili procesorom komunikovať na kilometre s minimálnym odberom.



Súčasnosť IoT procesorov

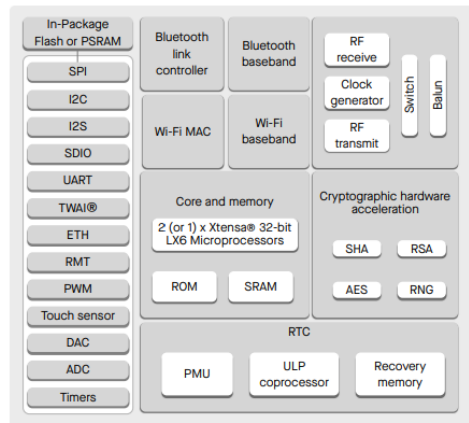
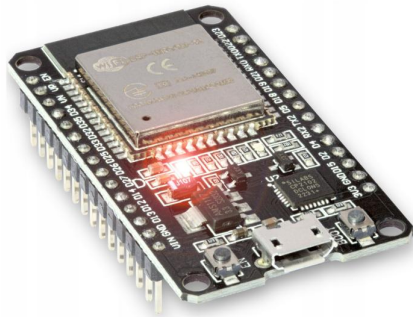
Súčasnosť (2019 – 2026): Edge AI a bezpečnosť

- Dnešné IoT procesory už nie sú len "posielači dát". Musia dáta aj analyzovať (Edge Computing).
- **AI Akcelerácia (TinyML):** Procesory ako **ARM Cortex-M55** alebo **M85** obsahujú inštrukcie pre umelú inteligenciu. Smart kamera už neposiela video do cloudu, aby zistila, či vidí mačku – vypočíta to priamo v čipe.
- **Hardware Root of Trust:** Kvôli útokom na smart domácnosti majú moderné IoT čipy (napr. rad **PSA Certified**) hardvérové šifrovanie, ktoré znemožňuje ich hacknutie na diaľku.
- **Matter:** Nový štandard, ktorý núti výrobcov čipov (Silicon Labs, Nordic Semiconductor, NXP) vyrábať procesory, ktoré sú vzájomne kompatibilné.

Budúcnosť IoT procesorov

- **Čo nás čaká v IoT (2026 – 2030)?**
- **Energy Harvesting:** Procesory, ktoré nebudú potrebovať batérie, ale budú bežať z energie okolitého Wi-Fi signálu alebo izbového svetla.
- **6G IoT:** Čipy navrhnuté pre extrémne nízku latenciu (pod 1 ms) pre priemyselné roboty a autonómne drony.
- **Kvantovo-odolné šifrovanie:** Hardvérová príprava na ochranu IoT zariadení pred budúcimi útokmi kvantových počítačov.

Procesory pre IoT

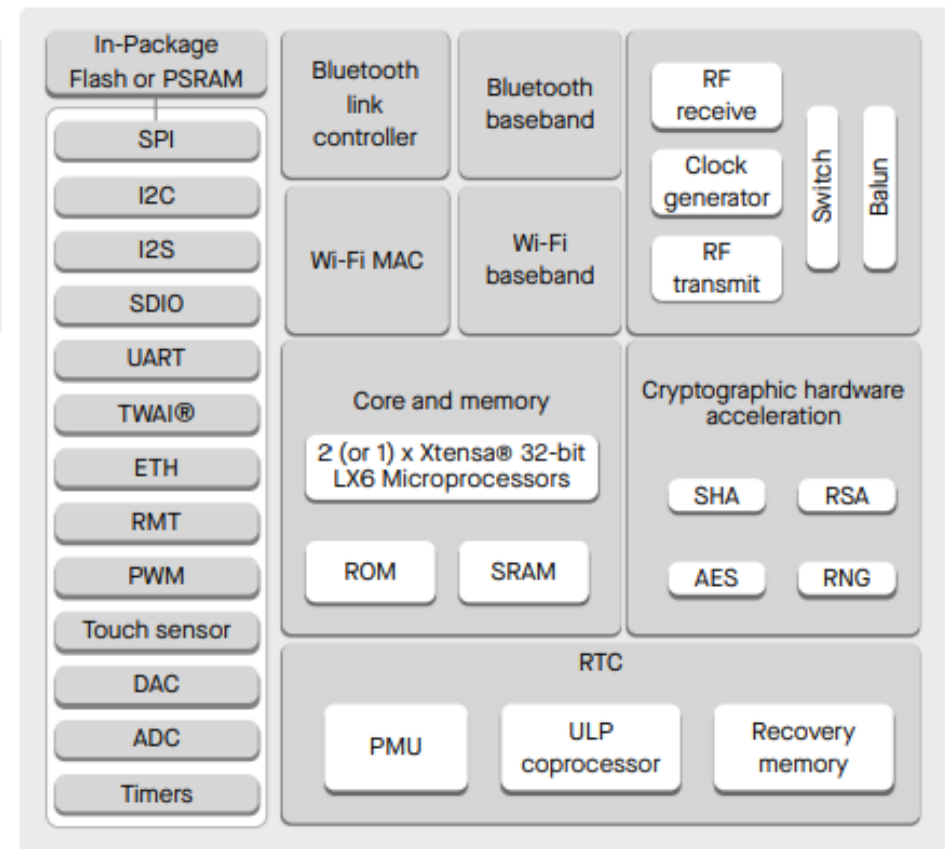


ESP32 Functional Block Diagram

Riadiaca jednotka (Control Unit)

- V IoT procesoroch je riadiaca jednotka navrhnutá s dôrazom na **determinizmus a nízku latenciu**.
- Na rozdiel od smartfónov, ktoré používajú zložité mimo-poradové spracovanie (Out-of-Order), riadiaca jednotka v IoT zariadeniach (napr. v jadrách ARM Cortex-M) zvyčajne spracováva inštrukcie v prísnom poradí (In-Order). Toto zjednodušenie dramaticky znižuje spotrebu energie a umožňuje presne predpovedať, ako dlho bude trvať vykonanie konkrétnej úlohy, čo je kľúčové pre priemyselné a medicínske senzory.
- Obsahuje pokročilé „spánkové“ mechanizmy, ktoré dokážu vypnúť takmer celý čip a prebudiť ho len pri detekcii vonkajšieho signálu v priebehu mikrosekúnd.

Procesory pre IoT



ESP32 Functional Block Diagram

Ilustračný obrázok a schéma ESP32-WROOM
Zdroj: z www.espressif.com

Procesory pre IoT

Inštrukčné sady (Instruction Sets)

- IoT zariadenia využívajú vysoko optimalizované inštrukčné sady, ako je **ARM Thumb-2** alebo otvorený štandard **RISC-V**.
- Sada Thumb-2 je unikátna tým, že kombinuje 16-bitové a 32-bitové inštrukcie, čím dosahuje vysokú hustotu kódu – programy tak zaberajú v pamäti menej miesta, čo šetrí pamäť a energiu pri jej čítaní.
- V roku 2026 sa čoraz častejšie objavujú aj inštrukčné sady rozšírené o **TinyML**, ktoré umožňujú procesoru efektívne vykonávať jednoduché algoritmy umelej inteligencie (napr. rozpoznanie kľúčového slova alebo anomálie vibrácií) bez potreby výkonného grafického jadra.

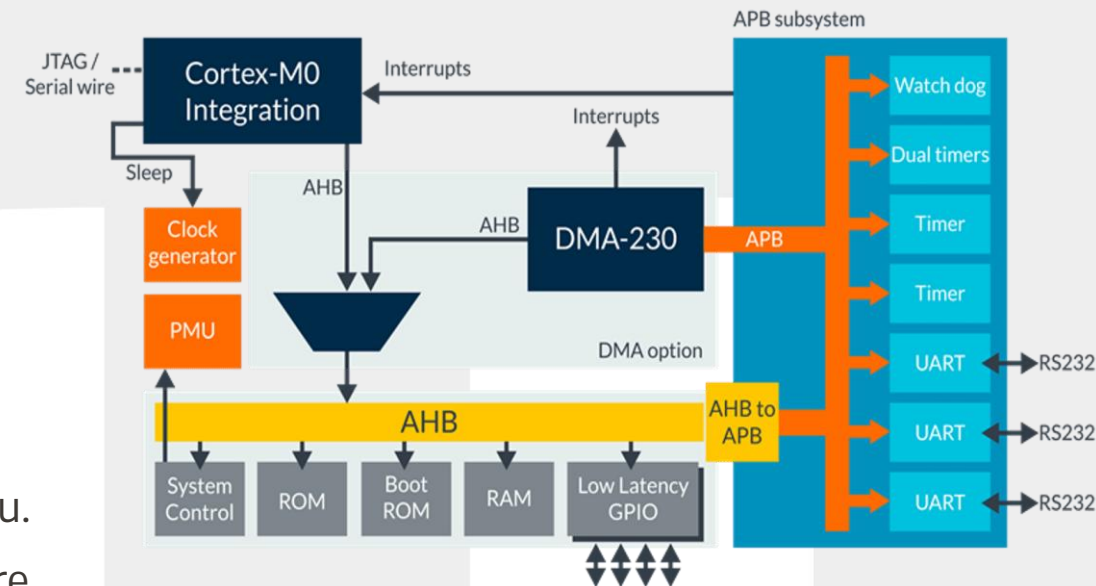
Procesory pre IoT

- **Registre (Registers)**
- Počet registrov v IoT procesoroch je zvyčajne menší ako v smartfónoch (často **13 až 16 všeobecných registrov**), čo zodpovedá jednoduchosti vykonávaných úloh.
- Menší počet registrov znamená menej tranzistorov a tým aj nižšiu statickú spotrebu energie (leakage current).
- Špecifikom je však špecializovaná správa registrov pri prerušeníach (Interrupts). Keď senzor zachytí udalosť, procesor musí okamžite uložiť obsah registrov a prepnúť sa na novú úlohu. Moderné IoT čipy majú tento proces (tzv. stacking) plne automatizovaný v hardvéri, čo umožňuje bleskovú reakciu na podnety z okolia.

Procesory pre IoT

Komunikácia (Communication & Peripherals)

- Komunikácia v IoT procesoroch neprebíha len medzi CPU a pamäťou, ale primárne medzi CPU a širokou škálou **energeticky úsporných periférií**.
- Na rozdiel od smartfónov (Network on Chip), IoT procesory využívajú jednoduchšie zbernice ako **AMBA AHB/APB**.
- Kľúčová je schopnosť autonómnej komunikácie periférií (napr. senzor pošle dáta priamo do RAM cez DMA – Direct Memory Access) bez toho, aby sa samotné CPU muselo prebudiť zo spánku.
- Pre vonkajšiu komunikáciu sú priamo v čipe integrované radiče pre protokoly ako I2C, SPI, UART a v moderných čipoch aj nízkoenergetické rádiové bloky (Bluetooth LE, Zigbee alebo NB-IoT).



Aktuálne dáta

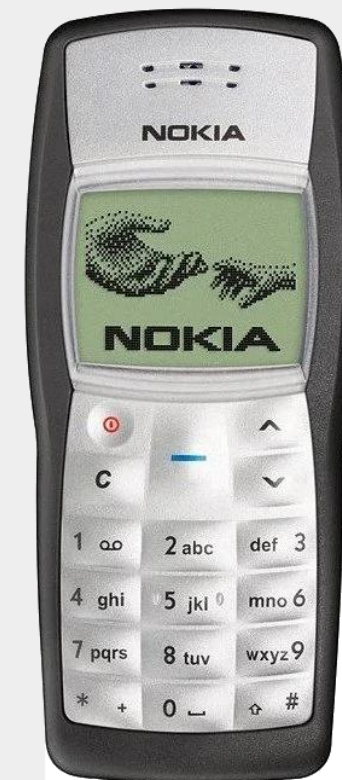
Trhový podiel výrobcov (2025)

- Apple sa stal globálnym lídrom trhu s podielom **20 %**, zatiaľ čo Samsung tesne nasleduje.
- **Apple (20 %)**: Rast o 10 % vďaka úspechu série iPhone 17 a silným predajom v Indii a JV Ázii.
- **Samsung (19 %)**: Silná pozícia vďaka strednej triede (séria Galaxy A) a rastúcemu trhu s ohybnými telefónmi (Fold7/Flip7).
- **Xiaomi (13 %)**: Udržiava si tretiu priečku vďaka expanzii v Európe a stabilnému portfóliu Redmi.
- **OPPO / vivo (cca 8 % – 9 % každý)**: Dominujú najmä v Číne a Indii.
- **Google (Pixel)**: Hoci nie je v TOP 5, zaznamenal rekordný rok s výrobou vyše 10 miliónov kusov.

Aktuálne dáta

Historický kontext: Súboj s legendami

- Ak sa pozrieme na celú históriu mobilov, rebríčok absolútne najpredávanejších zariadení stále vedú staré „hlúpe“ telefóny, ktoré sa predávali roky v nezmenenej podobe:
- **Nokia 1100 / 1110:** ~250 miliónov kusov (2003/2005)
- **iPhone 6 / 6 Plus:** ~222 miliónov kusov (Doteraz najpredávanejší smartfón v histórii)
- **Nokia 105 series:** ~200 miliónov kusov
- **iPhone 11:** ~156 miliónov kusov



Ilustračný obrázok Nokia 1100
Zdroj: www.wikipedia.com

Aktuálne dáta

Poradie	Model smartfónu	Použitý procesor (SoC)	Architektúra / Výrobca
1.	iPhone 16	Apple A18	3nm (TSMC) / Apple
2.	iPhone 16 Pro Max	Apple A18 Pro	3nm (druhá gen.) / Apple
3.	iPhone 16 Pro	Apple A18 Pro	3nm (druhá gen.) / Apple
4.	iPhone 17	Apple A19	2nm (TSMC) / Apple
5.	Galaxy A16 5G	Exynos 1330 alebo Dimensity 6300	Samsung / MediaTek (podľa regiónu)
6.	Galaxy A06	MediaTek Helio G85	12nm / MediaTek
7.	Galaxy S25 Ultra	Snapdragon 8 Elite	3nm (Oryon jadrá) / Qualcomm
8.	iPhone 15	Apple A16 Bionic	4nm / Apple
9.	iPhone 16e	Apple A18	3nm / Apple
10.	Redmi 14C 4G	MediaTek Helio G81 Ultra	12nm / MediaTek

Diagnostika a poškodenia CPU

Typické príčiny poškodenia

- **Prehrievanie (thermal stress)** – dlhodobé vysoké zaťaženie CPU/GPU
- **Poškodenie napájania** – nestabilné napätie, chybný PMIC
- **Výrobné chyby alebo degradácia čipu**
- **Mechanické poškodenie zariadenia** – náraz, pád, poškodenie dosky
- **Poškodený firmware alebo OS**

Diagnostické nástroje

- systémové logy (Android Logcat, iOS diagnostics)
- servisné diagnostické aplikácie
- monitorovanie teploty a frekvencie CPU
- hardvérová diagnostika v servisnom režime

Testovanie výkonu CPU

Typické nástroje

- Geekbench
- AnTuTu Benchmark
- 3DMark
- PCMark for Android

Typy testov

- **CPU performance** – jednovláknový a viacvláknový výkon
- **GPU performance** – grafické výpočty
- **Memory performance** – prístup do RAM
- **Storage performance** – rýchlosť úložiska
- **Stress testy** (dlhodobé zaťaženie CPU, sledovanie **thermal throttlingu**, analýza stability systému)

Zoznam použitej literatúry

- [1] *What are Smart Devices?* (2025). Arm Glossary. [Dostupné online](#)
- [2] Fernandez, S., Renukappa, S., & Suresh, S. (2018). *What is a smart device? – a conceptualisation within the paradigm of the internet of things*. [Dostupné cez ResearchGate](#)
- [3] *Smart devices – Knowledge and References*. Taylor & Francis Group. [Dostupné online](#)
- [4] Chatterjee, Navonil & Paul, Suraj & Chattopadhyay, Santanu. (2017). *Fault-Tolerant Dynamic Task Mapping and Scheduling for Network-on-Chip-Based Multicore Platform*. *ACM Transactions on Embedded Computing Systems*. 16. 1-24. 10.1145/3055512. [Dostupné online](#)

Ďakujem za pozornosť!