

# PROJEKTOVANJE SISTEMA NA ČIPU

## Sistemi na čipu (SoC)

prof. dr. Lejla Banjanović-Mehmedović

<https://www.electronicsweekly.com/news/fpga-fabrics-meet-cpu-architectures-2018-05/>

Projektovanje sistema na čipu 5



Copyright: Lejla Banjanovic-Mehmedovic

# Sadržaj izlaganja:

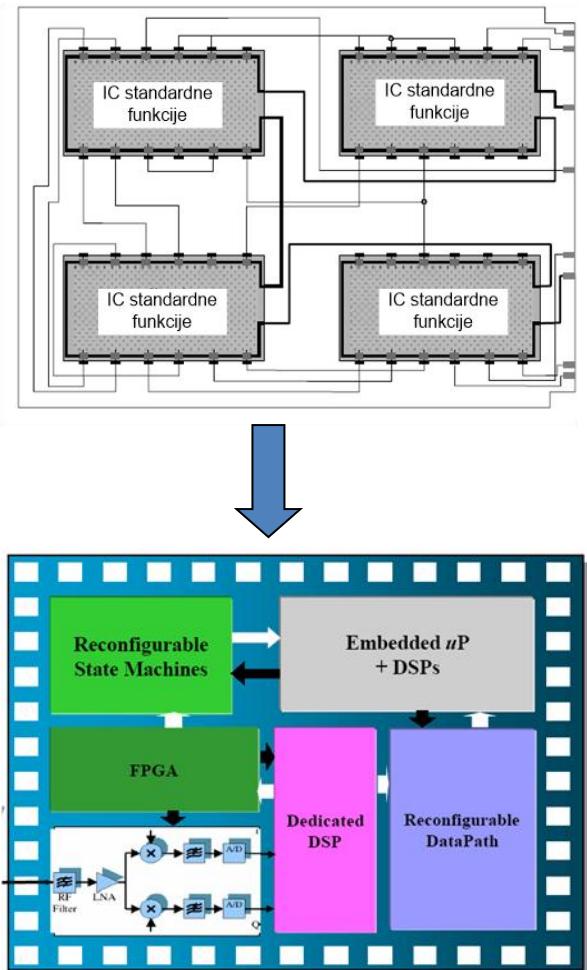
- Osnove sistema na čipu
- Hardwer-softwer ko-dizajn
- Tipovi ugradbenih jezgara
- Usporedba hard vs.soft procesora na SoC
- Primjeri primjene SoC platformi

# SoC terminologija

- Terminologija:
  - System-on-a Chip
  - System LSI,
  - System-on-Silicon,
  - System-on-...
  - System-on-board, System-in-a cabinet, System-in-package (SIP)

# Sistem na čipu

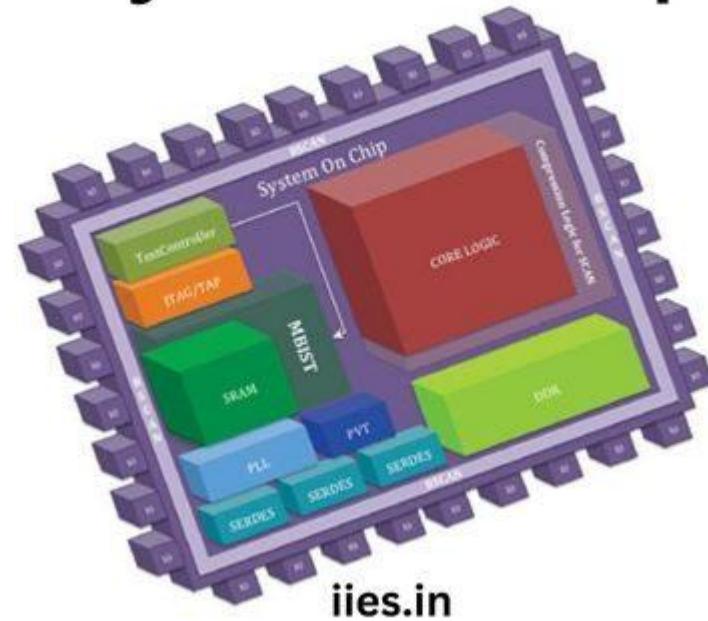
- Koncept "sistem na ploči" zamjenjen je konceptom "sistem na čipu".
- U širem kontekstu 'sistemi na čipu' su **svi mikrokontroleri, te DSP sa periferijom namijenjenoj upravljačkim primjenama.**



# Sistem na čipu

- **Sistem na čipu (SoC)** je integrисано коло на којем су интегрисане компоненте рачунара или другог електронског система.  
Садржи:
  - Jedna ili više centralnih процесорских јединица
  - Процесори дигиталних сигнала
  - Memorija (RAM i ROM)
  - Brojni програмабилни улаз/излаз
  - Аналогни улаз/излаз
  - АкCELERатори
  - ПРАТЕЋИ hardver

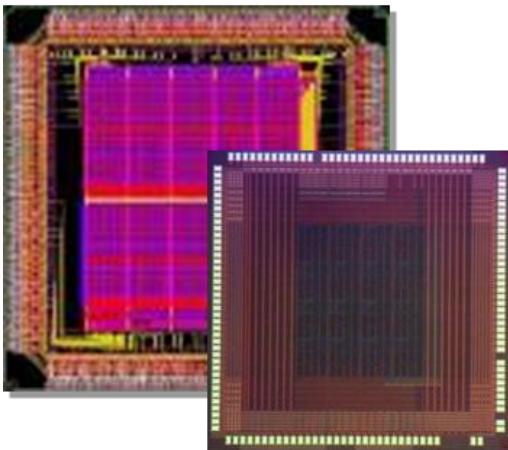
## System On Chip



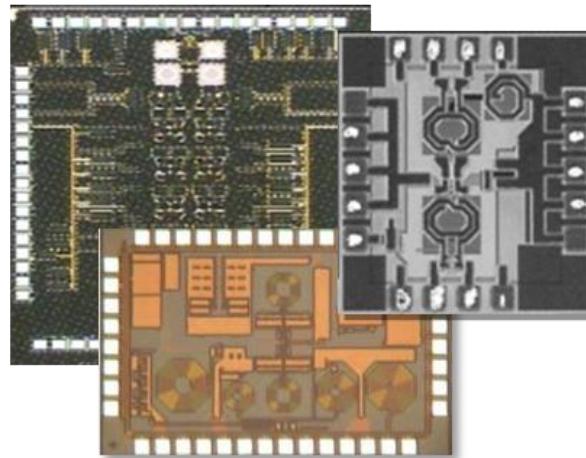
# Sistem na čipu

- SoC integriše heterogene komponente na jednom čipu, čime ovi sistemi troše mnogo manje energije.
- Ključni izazov je dizajn komunikacije ili integracije između različitih komponenti SoC-a!

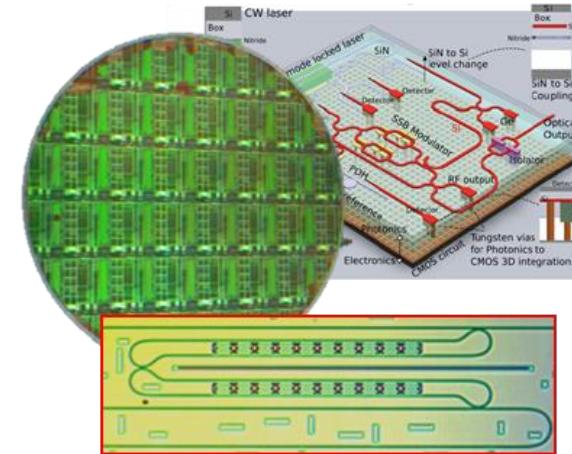
*Digital ASICs*



*RF/Mixed-Signal SoCs*



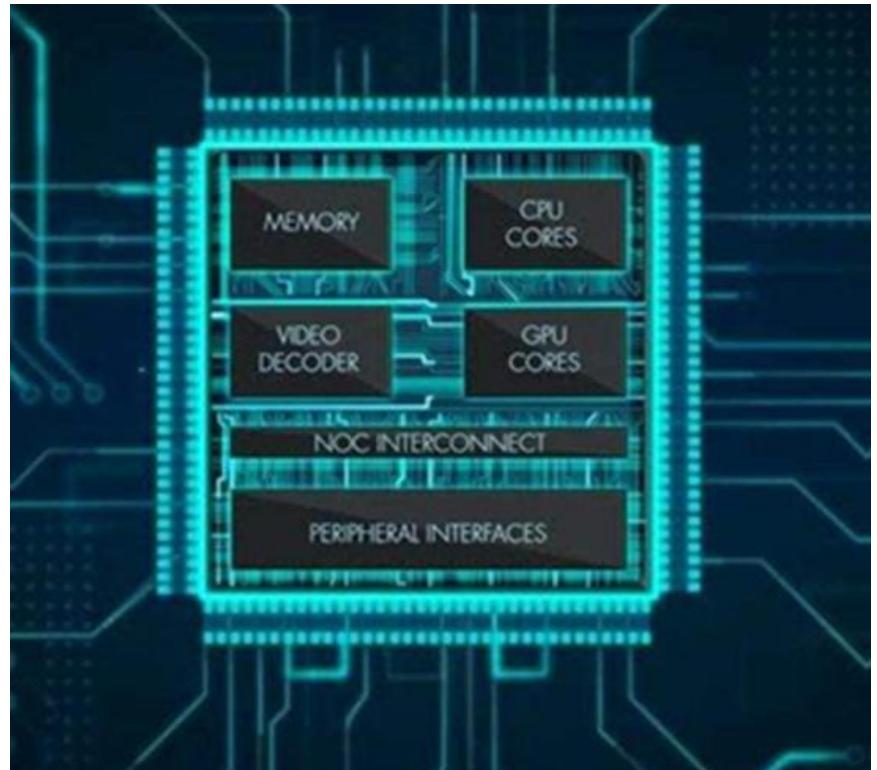
*Integrated Photonics*



<https://beaverworks.ll.mit.edu/CMS/bw/systems-on-a-chipcenteroverview>

# Komponente sistema na čipu

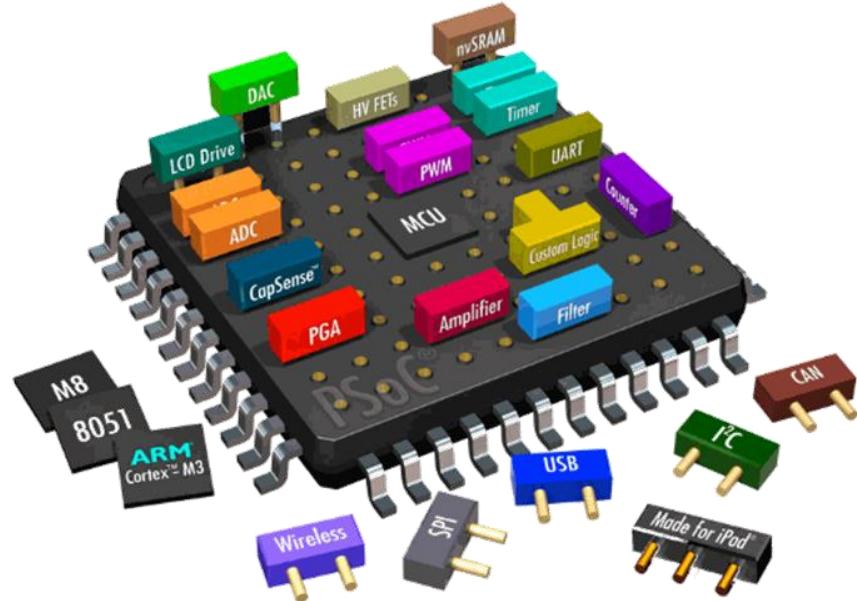
- Sistem na čipu mora u svom jezgru imati **procesor** koji definiše njegove funkcije. **SoC obično ima više jezgara procesora ili koprocesora.** To može biti mikrokontroler, mikroprocesor, procesor digitalnog signala ili procesor određenih instrukcija.
- Čip mora imati **memoriju** koja će mu omogućiti obavljanje računanja. Može imati RAM, ROM, EEPROM ili čak flash memoriju.



# Komponente sistema na čipu

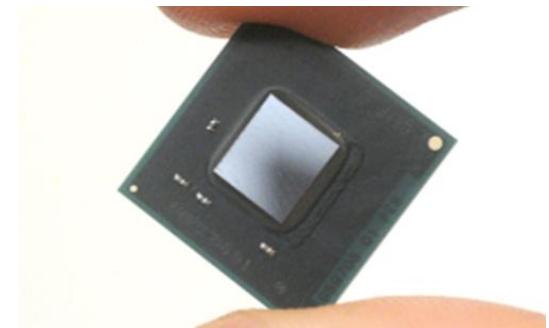
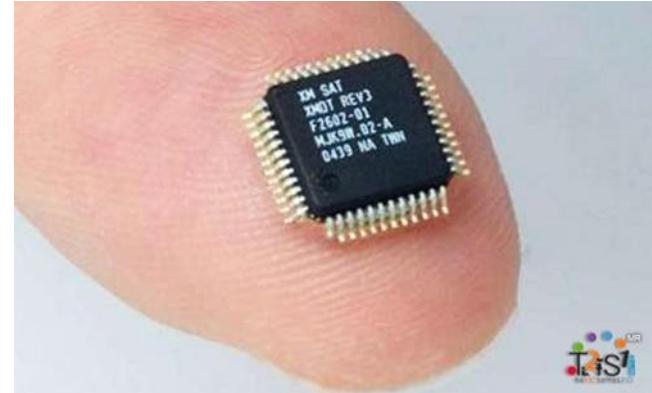
---

- **Vanjski interfejs** koji će mu pomoći da se uskladi s industrijskim standardnim komunikacijskim protokolima kao što su USB, Ethernet i HDMI. Također može uključivati **bežičnu tehnologiju i uključivati protokole koji se odnose na WiFi i Bluetooth.**
- Neophodan je i **GPU ili jedinica za grafičku obradu za vizuelizaciju.**
- **Regulatori napona, oscilatori, tajmeri, analogni digitalni i digitalno/analogni pretvarači, itd.**

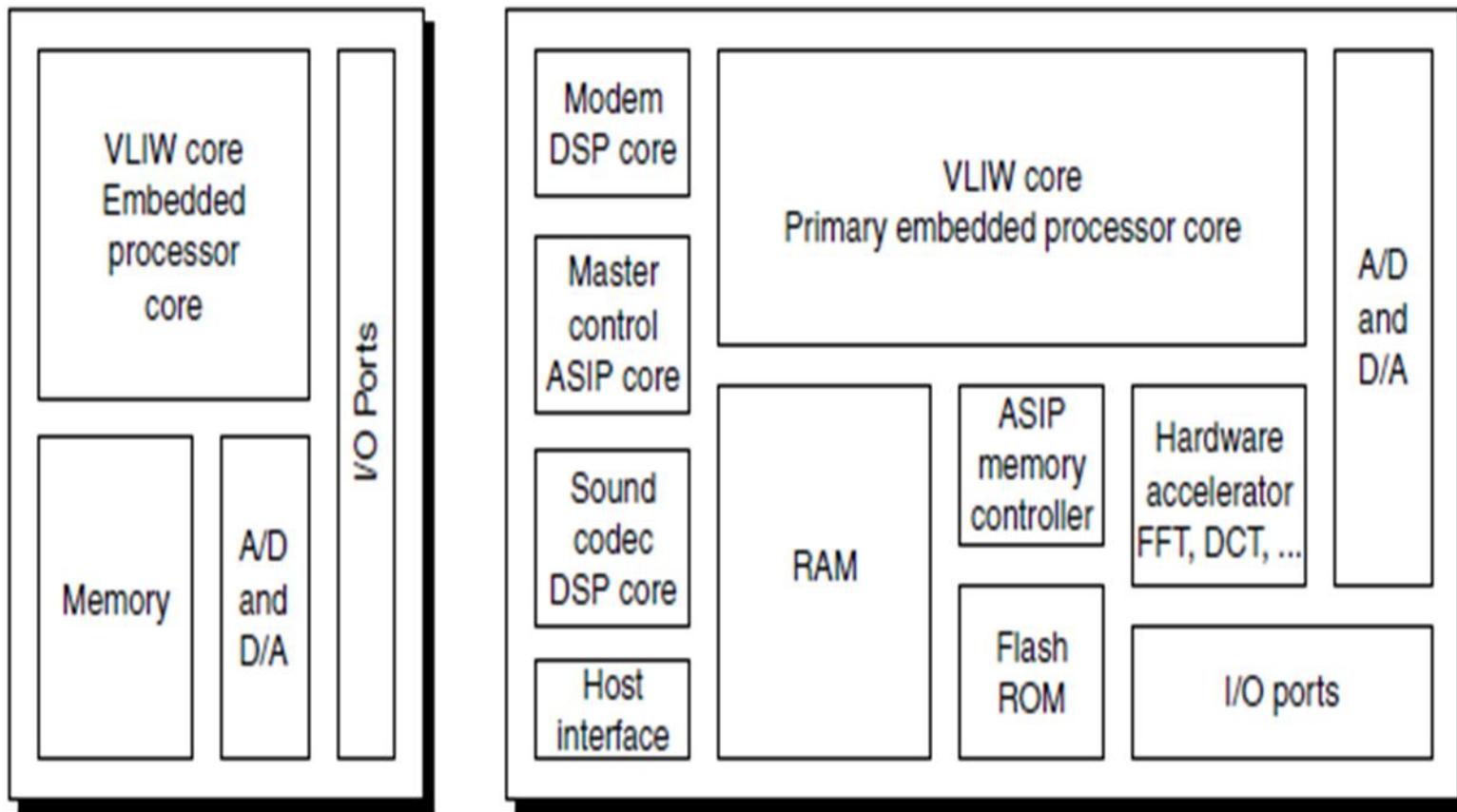


# Sistem na čipu

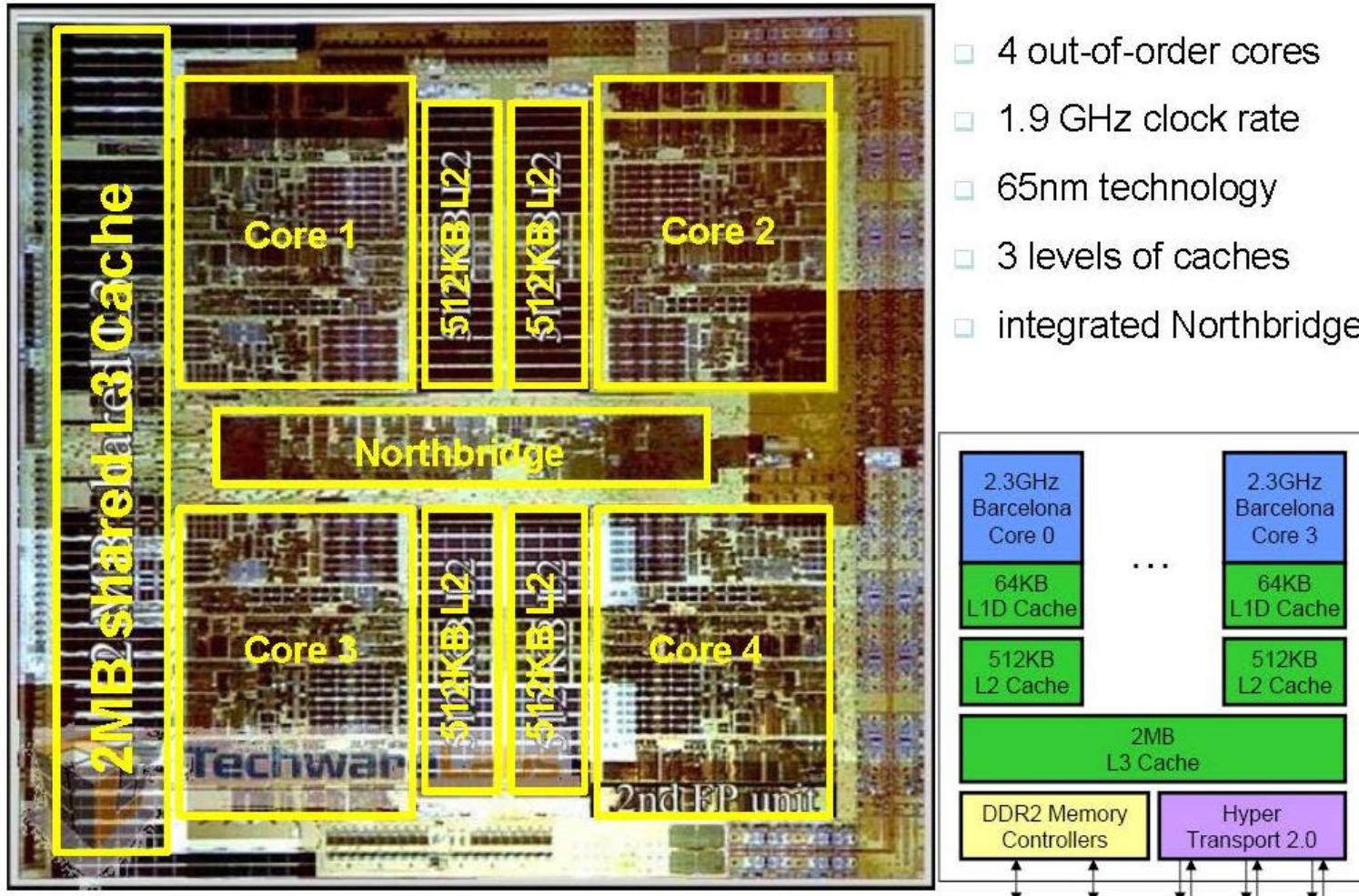
- SoC nije samo čip, već „**sistem**“
- **SoC=čip+software+integracija**
- **SoC čip** uključuje:
  - Ugradbene procesore
  - ASIC logiku i analogna kola
  - Ugradbenu memoriju
- **SoC softvare** uključuje
  - OS, kompajler, simulator, drivere, protokole, razvojno okruženje (debagere, linkere), aplikacioni interfejs (C, C++, asembler)
- **SoC integracija** uključuje:
  - Rješenje kompletног sistema
  - Konsultacije sa proizvođačem
  - Tehničku podršku



# Usporedba jednostavnog i složenog sistema na čipu



# Više-jezgreni SoC



# Sistem na čipu

Sistem na čipu omogućava:

- povećanje integracije na čipu
- smanjenje troškova proizvodnje
- povećanje performansi
- smanjenje dimenzija

Jaki funkcionalni zahtjevi:

- Rad u realnom vremenu
- Mala potrošnja (reduciranje potrošnje energije)

# Izazovi SoC ere

- **Izlazak na tržište**
  - Ubrzanje procesa razvoja prema specifikaciji
  - Objedinjavanje elektronskih uređaja
- **Kompleksni sistemi**
  - μCs, DSPs, HW/SW, SW protocol stacks, RTOS's, digital/analog
- **IP, On-chips buses**
  - Submikronski efekti na čipu
  - Komunikacija, kašnjenja, cjena maske

# Zahtjevi SoC dizajna

- Podrška sistema i portabilnost
- Otvoren industrijski standard
- Testiranja
- Metodologija dizajna
- Odnos: Cjena/Performansa/Snaga

# SoC vs. MCU

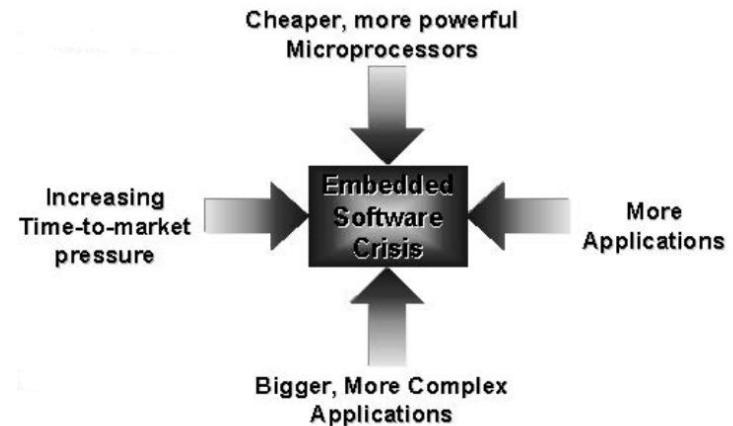
MCU	SoC
Jedna centralna procesorska jedinica	Više centralnih procesorskih jedinica
Nema operativni sistem	Može da ima operativni sistem
Niska potrošnja energije	Potrošnja energije zavisi od primjene
Manje I/O periferala ograničenog obima	Više različitih I/O periferala
Minimalna memorija, mjerena u KB	Memorija u MB ili GB

# SoC vs. CPU

- Jedini problem koji se može osporiti protiv SoC-a je činjenica da je u poređenju CPU sistemom, prilično teška nadogradnja i popravak.
- Gotovo je nemoguće promijeniti sastav na čipu nakon što je proizведен, što znači da ako je oštećen ili ga treba ažurirati.

# Prednosti SoC-a

- Postoji nekoliko prednosti u integraciji velikih digitalnih sistema na jednom integriranom čipu
  - Manja fizička dimenzija
  - Smanjena potrošnja energije
  - Fleksibilnost
  - Značajno veća pouzdanost
  - Niža cijena po logičkom gejtu
  - Brže izvođenje instrukcija

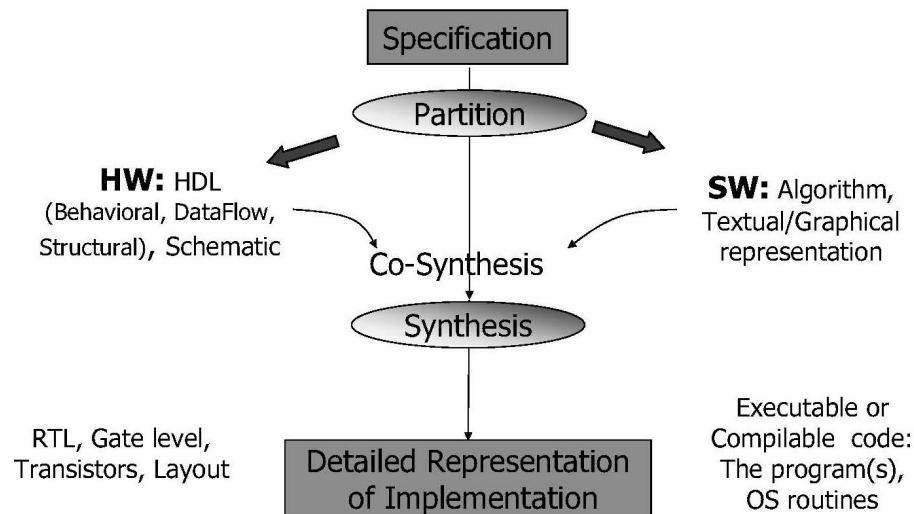


# Slabosti SoC dizajna

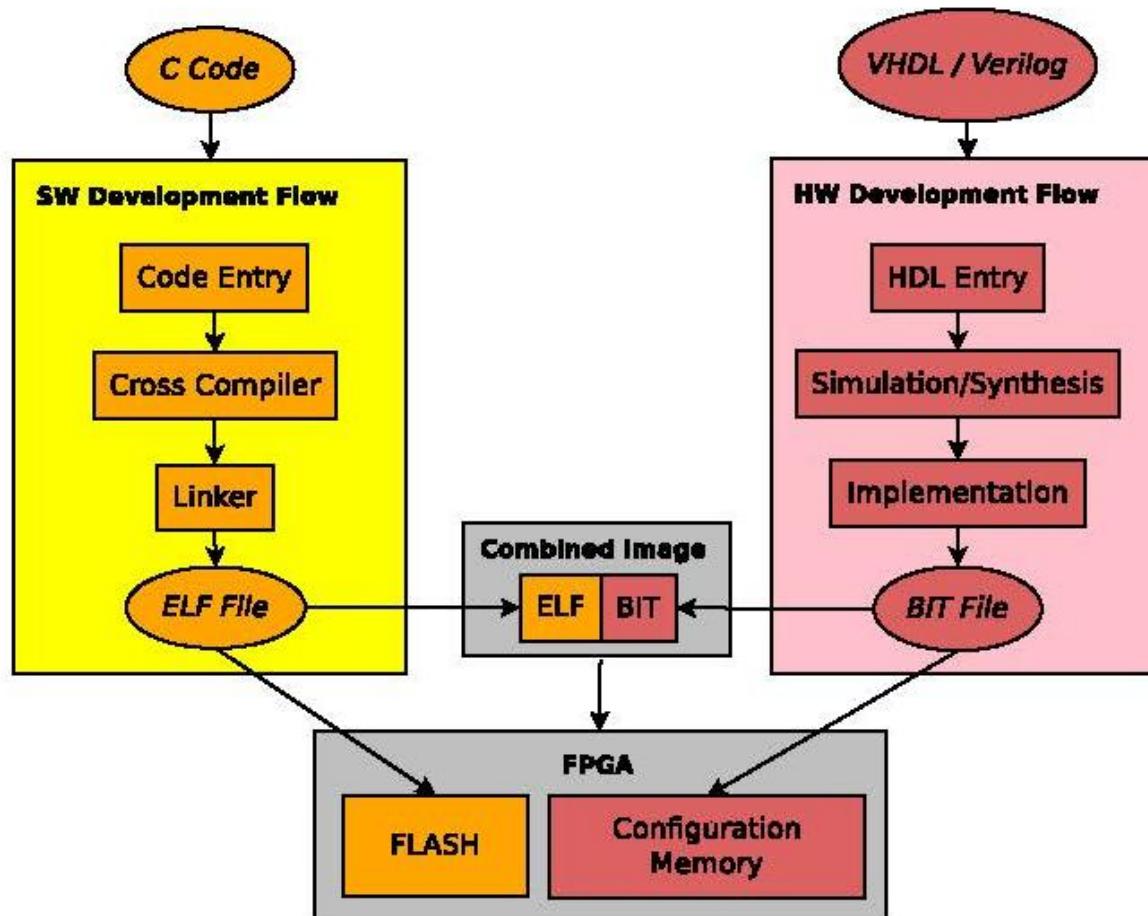
- Slabosti SoC dizajna:
  - Vrijeme fabrikacije, zahtjevi vezani za vrijeme izlaska na tržište (Time-to market)
  - Uvećani zahtjevi za verifikaciju
  - Dostupnost i kompatibilnost IP adresa
  - Cjena fabrikacije (eksponencijalna)
  - Uvećana kompleksnost sistema
  - Eksponencijalan rast troškova proizvodnje

# Hardver- softver ko-dizajn model

- **Hardver i softver** kod ugradbenih sistema se razvijaju **paralelno**.
- Kod ovakvog razvojnog modela, nazvan **hardver- softver ko-dizajn model**, mora da postoji čvrsta uzajamna sprega u radu projektantskih timova iz razloga što se ugradbeni sistemi grade kako od specijalizovanog hardvera, tako i specijalizovanog softvera.

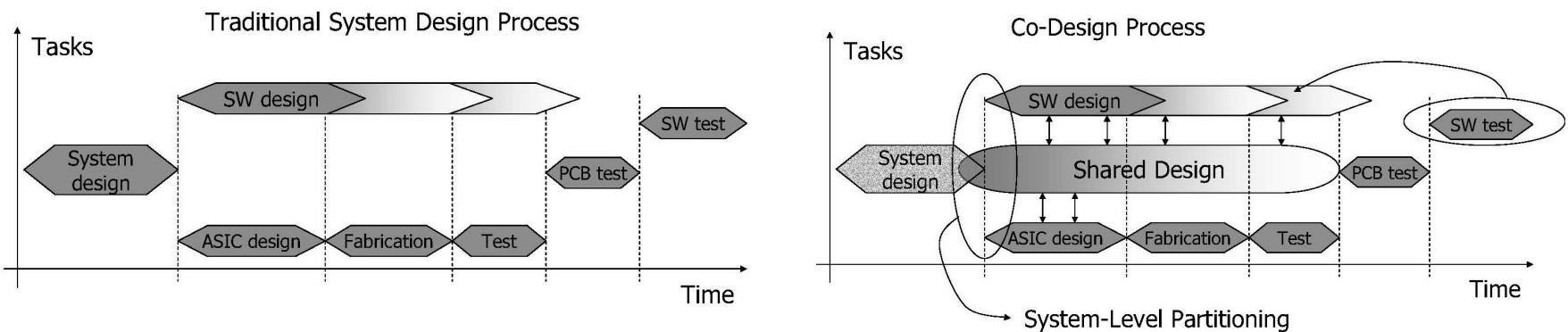


# Kodizajn i ko-sinteza SoC-a



# Tradicionalni vs. Ko-dizajn

- Tipičan ASIC dizajn može uzeti od par mjeseci do dvije godine da bude kompletiran.
- SoC dizajn je mnogo brži, 1-2 sedmice do samo 2-3 dana
- Ideja: načiniti ASIC dizajn značajno standardiziranim, korištenjem segmenata predhodno proizvedenih čipova („blokovi“, „makroi“, „cores“ ili „ćelije“)



# Ugradbena jezgra

- Hard jezgra (Stripe i bilo gdje u FPGA strukturi)
- Soft jezgra
- DSP jezgra
- Analogna jezgra

# Ugradbena jezgra

- Ugradbena jezgra su unaprijed – projektovani (predesigned) i verifikovani (preverified) **gradivni blokovi** koji se asembliraju sa drugim jezgrima i korisničko – definisanim blokovima u složeni čip.
- Izvedba:
  - **hard** – fizički kompletirana i isporučena jezgra zajedno sa layout-om,
  - **soft** - isporučuju se kao RTL koji se može sintetizovati.

# Ko-egzistencija hard i soft procesora u SoC sistemima

- Sa rastućom gustinom logičkih kola kod FPGA uređaja, mnogi proizvođači nude procesore koji egzistiraju kao standardne, **hard opcije** ili mogu biti inkorporirani unutar FPGA (**kao soft**).
- Cilj ove ko-egzistencije sa konvencionalnom digitalnom logikom je da se obezbjedi **fleksibilnost kombinovanja softwarske i hardwarske kontrole u jednom čipu**.

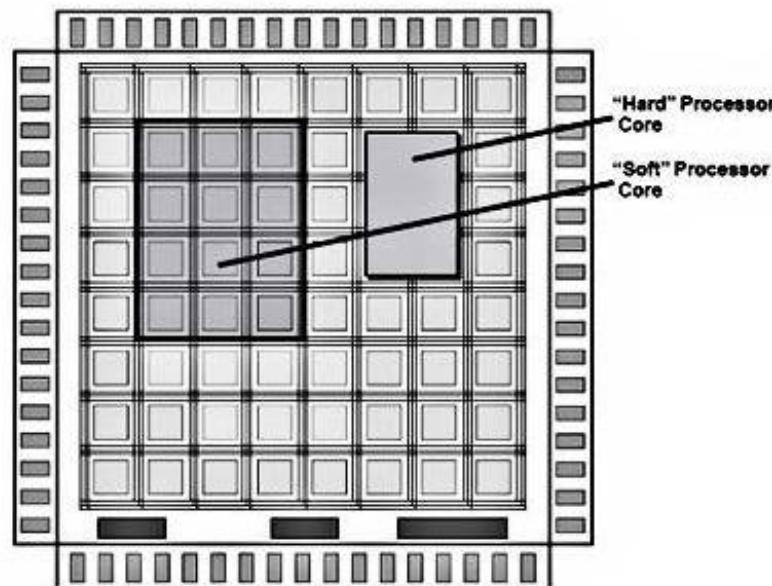
# Soft vs. hard procesori u SoC sistemima

## Soft Cores

- HDL Model
- Must Be Synthesized and Fit Into FPGA Fabric

## Hard Cores

- Dedicated Physical Component
- Fixed Implementation

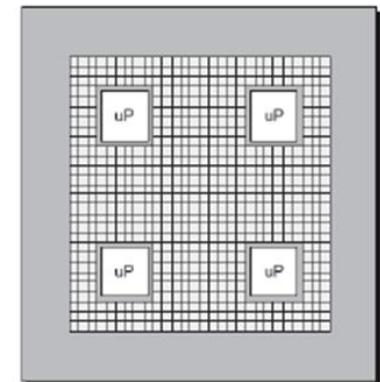
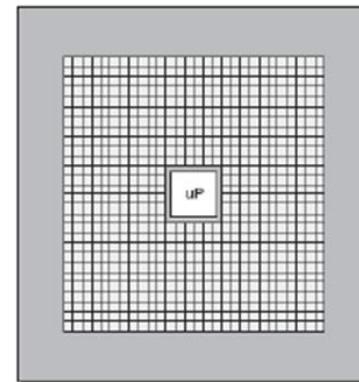
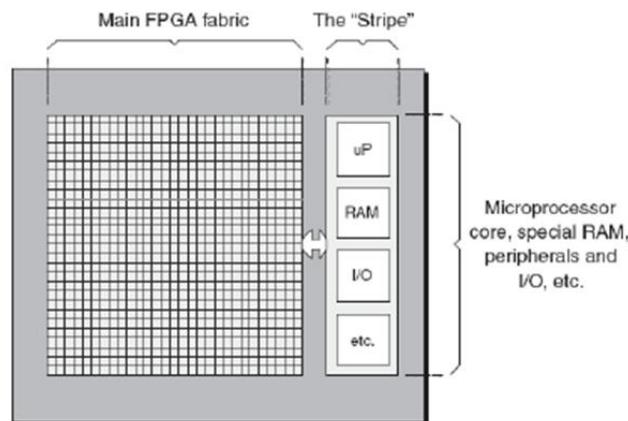


# Ugradbena jezgra

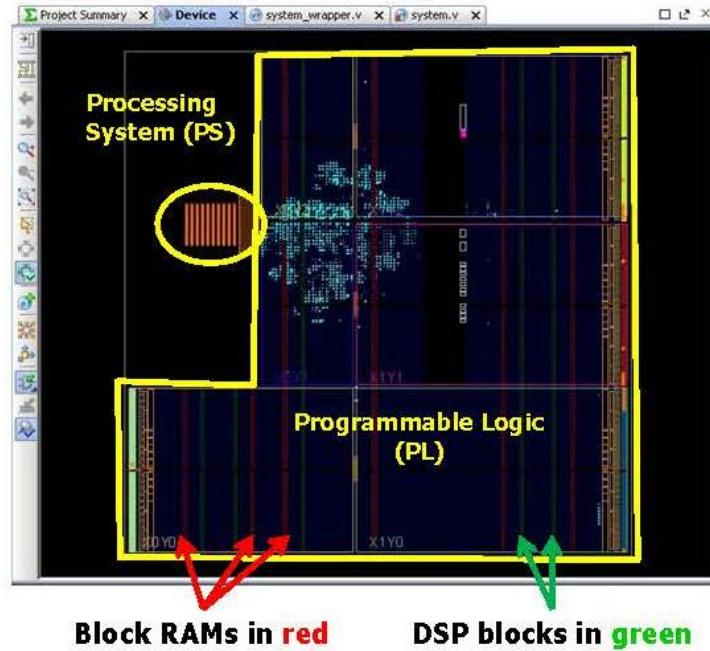
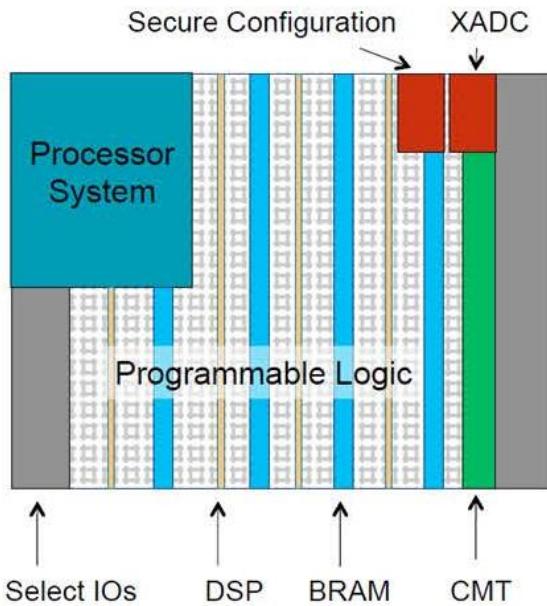
- I pored prednosti, koje se prije svega odnose na brzi razvoj proizvoda, **upotreba embedded jezgara ima jedan ozbiljan nedostatak.**
- Naime, **korištenje embedded jezgara vezuje projektanta da koristi programibilna kola samo jednog proizvođača.**
- Iskustva kod korištenja ovih jezgara pokazuju da prelazak na drugog proizvođača zahtjeva ulaganje velikih npora koji najčešće ne dovode do ostvarivanja očekivanog rezultata.

# Hard – mikroprocesorska jezgra

- Hard – mikroprocesorsko jezgro se implementira kao namjenski, unaprijed definisani blok.
- Postoje dva pristupa za integraciju ovakvih jezgara u FPGA kola:
  - **Stripe** - mikroprocesor se locira u traci nazvanoj Stripe koja se nalazi po strani glavne logike FPGA kola
  - Kod drugog pristupa, jedan ili veći broj mikroprocesorskih jezgara se **ugrađuje u logiku FPGA kola**.



# Primjer Stripe hard procesori



- **Xilinx Series-7 FPGA fabric**
  - Embedded block RAM (BRAM) & DSP slices
  - Clock management tiles (CMT), I/O
  - PCI-Express & A/D interfaces

# Stripe hard procesori

- Kod ovog rješenja, **sve komponente se obično nalaze na istom silicijumskom čipu**, ali moguća su i rješenja da dizajn čine dva čipa spakovana kao **multi – čip modul (MCM)**.
- Glavna logika FPGA kola može da sadrži RAM blokove, množače i dr.
- Glavna prednost ovakve implementacije se sastoji u tome što je **glavna FPGA logika nezavisna od ugrađenog (embedded) procesorskog jezgra**, pa se kao takva može zasebno testirati.
- Druga prednost je ta što se **na embedded mikroprocesor može dograditi veći broj dodatnih funkcija putem implementacije na Stripe-u RAM memorija i drugi specijalni periferijski ulazno – izlazni interfejsi, tj. ulazno-izlazna kola**.

# Ugradbeni hard procesori

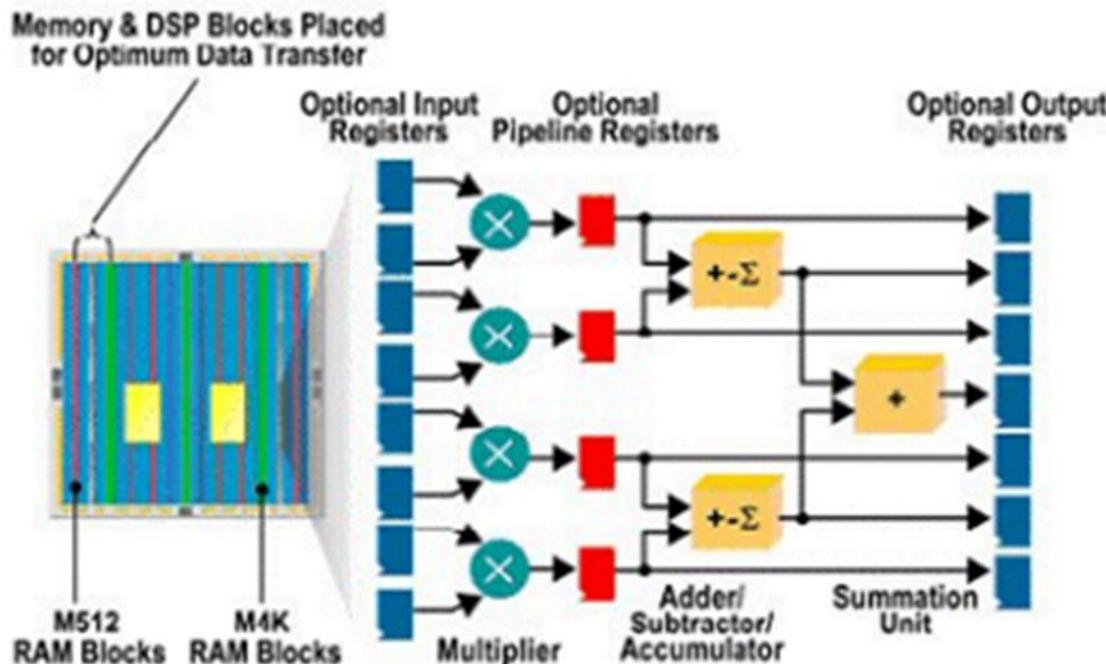
- U **glavnu logiku FPGA kola mogu biti implementirani RAM blokovi, množači i drugi logički blokovi.**
- Prednost ovakvog rješenja je veća brzina rada iz razloga što je mikroprocesor ugrađen u neposrednoj blizini glavne logike **FPGA kola**.
- Mnogi standardni procesori i mikrokontrolери su raspoloživi kao hard IP unutar FPGA. Npr, **PowerPC procesor kao dio Xilinx Virtex FPGA, ARM procesori**.
- **Dizajn, programiranje i debagiranje slično kako kod samostalnih, tj. stand – alone procesora.**

# Soft procesori

- Soft jezgra su jednostavnija (primitivnija) i sporija u odnosu na hard jezgra.
- Ipak glavna prednost ovog rješenja je ta što se **jezgro implementira samo ako za to postoji potreba, implementiraju onoliko jezgara koliko je potrebno za datu aplikaciju** i što će FPGA CAD sredstvo locirati to jezgro i obaviti rutiranje gde projektant to želi.
- S obzirom da se soft procesor implementira u konfigurabilnu logiku, **arhitektura soft procesora se može prilagoditi aplikacionim zahtjevima.**

# DSP jezgra

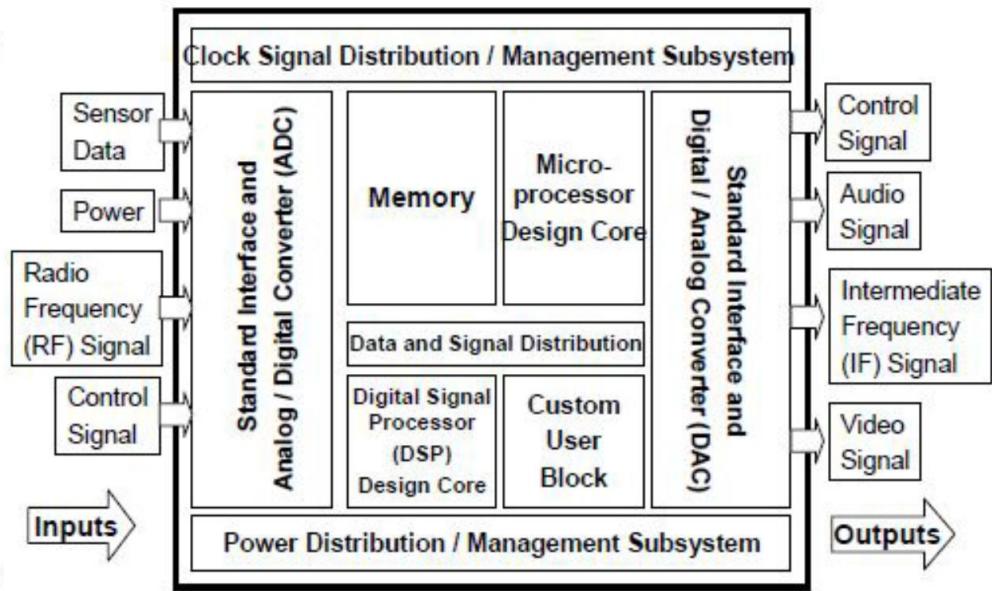
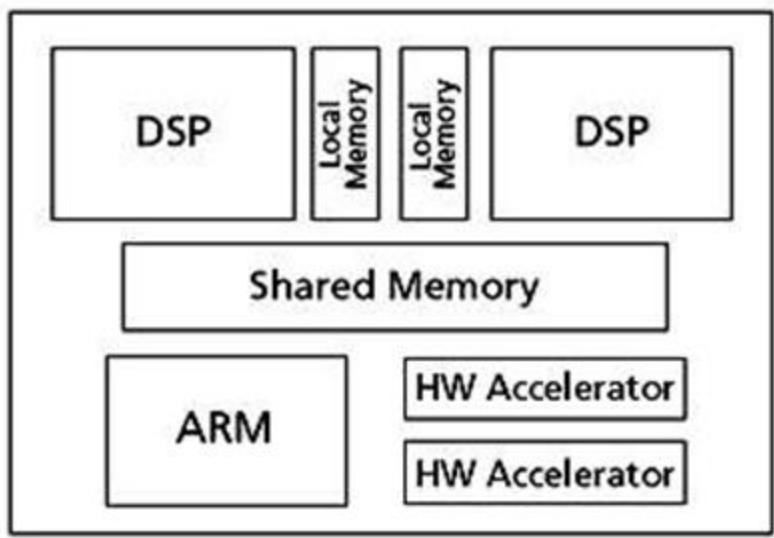
- DSP (Digital Signal Processing) su drugi tip standardnih jezgara koja se nude kao IP jezgra ili kao embedded jezgra. U suštini, to su **specijalizovani procesori koji se koriste za manipulisanje sa analognim signalima**. Obično se koriste za filtriranje i kompresiju audio i video signala.



# DSP jezgra

- Veliki broj projektanata je mišljenja da su procesori opšte namjene sve brži tako da oni mogu izvršavati podjednako brzo operacije koje obavljaju specijalizovani DSP procesori.
- Ipak potrebe za digitalizacijom audio i video signala, filtriranjem i kompresijom, su značajno povećane zadnjih godina. Kao rezultat, **zahtjevi za korišćenje DSP procesora kod aplikacija koje se odnose na umrežavanje i grafičke obrade, se povećavaju, a ne smanjuju.**

# DSP SoC

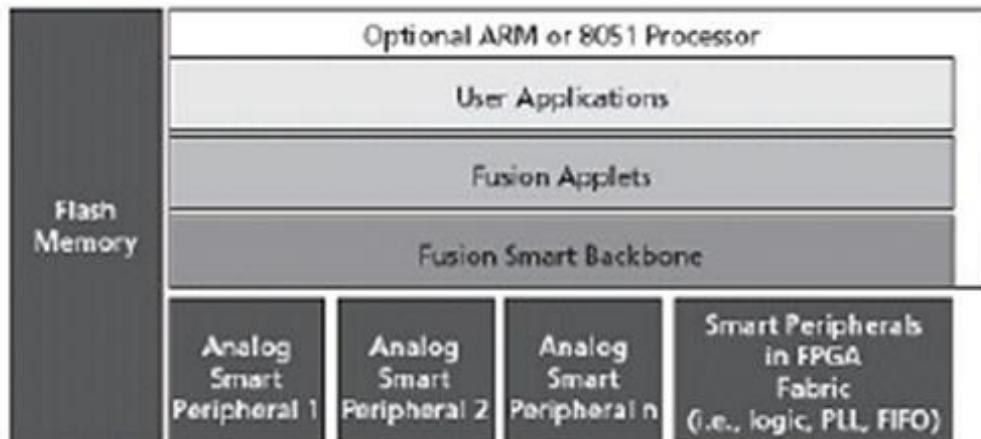


Blok dijagram DSP SoC-a

SoC procesor prilagođen za digitalne video sisteme

# Analogna jezgra

- Proizvođači FPGA kola od skoro nude i analogna jezgra. Npr., PHY jezgra su **analogna kola poznata kao linijski drajveri koja se koriste za pobudu mreže.**
- S obzirom da ova jezgra sadrže veći broj specijalizovanih analognih kola ona su uglavnom dostupna kao embedded jezgra.



Funkcionalni blok dijagram FPGA kola koji u sebi sadrži **embedded procesorsko jezgro, embedded digitalna periferalna jezgra i embedded analogna jezgra**

# Najsavremenije izvedbe SoC

- Nivoi fleksibilnosti shodno vrsti procesora:
  - ASIC -DSP-mikrokontroleri-FPGA (predstavnik SoC-a)
  - Izvedbe – moguće kombinacije navedenih procesora
- **SoC technologija ima dominantan dizajn u današnjoj globalnoj IC industriji!**

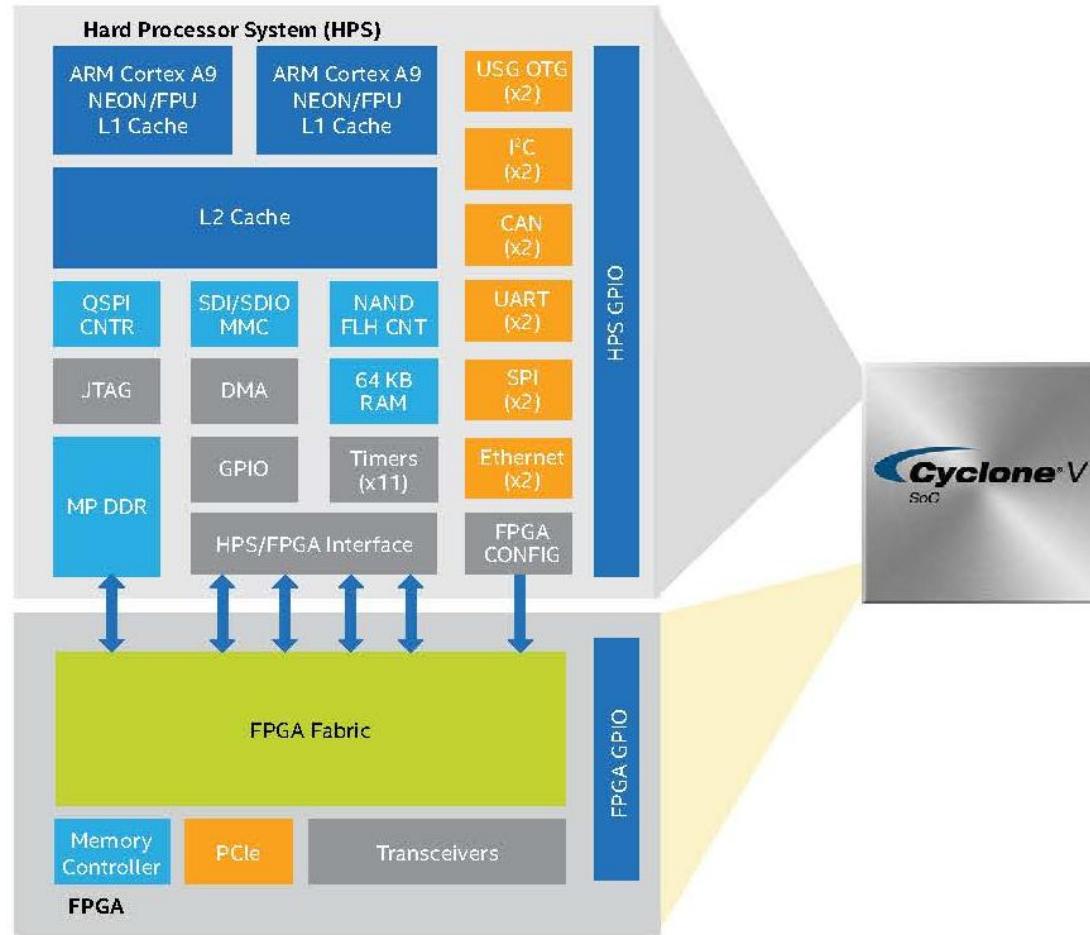
# Primjeri hard i soft procesora na SoC

# Hard Procesori

- **Standardni procesori i mikrokontroleri** raspoloživi kao hard IP unutar FPGA:
  - Npr. PowerPC procesor kao dio Xilinx Virtex FPGA, ARM procesori ...
- Dizajn, programiranje debagiranje **slično kao kod samostalnih (eng. stand-alone procesora)**.

# Primjer Cyclone V SoC arhitekture sa ARM hard procesorom

ARM®



# Soft procesori

- Soft procesori (npr. Altera's Nios II i Xilinx's MicroBlaze, PicoBlaze procesori), koriste postojeće programabilne logičke elemente FPGA da implementiraju procesorsku logiku.
- Soft procesori imaju niži klok takt i koriste više snage nego ekvivalentni hard procesori.

# Nios II procesor

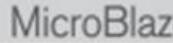
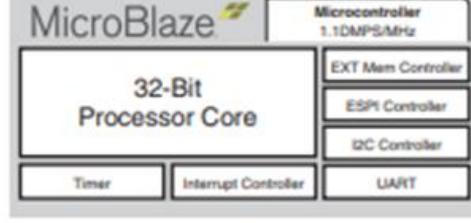
- Nios II je **32bitna ugradbena procesorska arhitektura za Altera** porodicu FPGA uređaja. Koristi se u DSP i upravljanju sistemima.
- Nios II - Risc soft-core arhitektura, potpuno implementirana u rekonfigurabilnim blokovima Altera FPGA uređaja.
- Soft-core priroda Nios II procesora omogućava sistemskom dizajneru da kreira **Nios II jezgru prilagođenu za specifične namjene.**

# Xilinx MicroBlaze procesor

- Kao soft procesor, **MicroBlaze** je u cijelosti implementiran u opšte namjenskoj memoriji i logici **Xilinx FPGA uređaja**.
- Mnogi aspekti MicroBlaze-a se mogu korisnički konfigurisati (veličina cache-a, nivo pipeline-a, ugradbena periferija, MMU i interfejs sabirnice).
- Ključne procesorske instrukcije, koje se rijetko koriste, ali zahtjevnije za implementaciju u hardveru, se mogu selektivno dodavati/brisati.

# Xilinx Soft procesori-MicroBlaze

- Primjeri tri tipična prestavnika Xilinx Soft procesora koja se mogu koristiti u programabilnoj logici FPGA i Sistema na čipu, a biramo ih u zavisnosti od potreba

 MicroBlaze	 MicroBlaze	 MicroBlaze
 <p>Microcontroller Preset (137 DMIPs at 125MHz ) Smallest configuration possible for MicroBlaze core.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• 32-bit Processor Core</li><li>• External Memory Controller</li><li>• SPI Controller</li><li>• I2C Controller</li><li>• UART</li><li>• Interrupt Controller</li><li>• Timer</li></ul> <p>Suitable for running bare-metal code.</p>	 <p>Real-Time Processor Preset (162 DMIPs at 125MHz) Targeted for Deterministic and Real-Time Systems.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• All Microcontroller Preset blocks</li><li>• Instruction Cache</li><li>• Data Cache</li><li>• DDR Controller</li></ul> <p>MicroBlaze core configured to run Real-Time Operating system like a FreeRTOS.</p>	 <p>Application Processor Preset (175 DMIPs at 125MHz) MicroBlaze settings suitable to get high performance when running Linux with Memory Management Unit (MMU).</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• All Real-Time Processor Preset blocks</li><li>• Memory Management Unit</li></ul> <p>Configured to run comprehensive operating systems, such as Linux.</p>

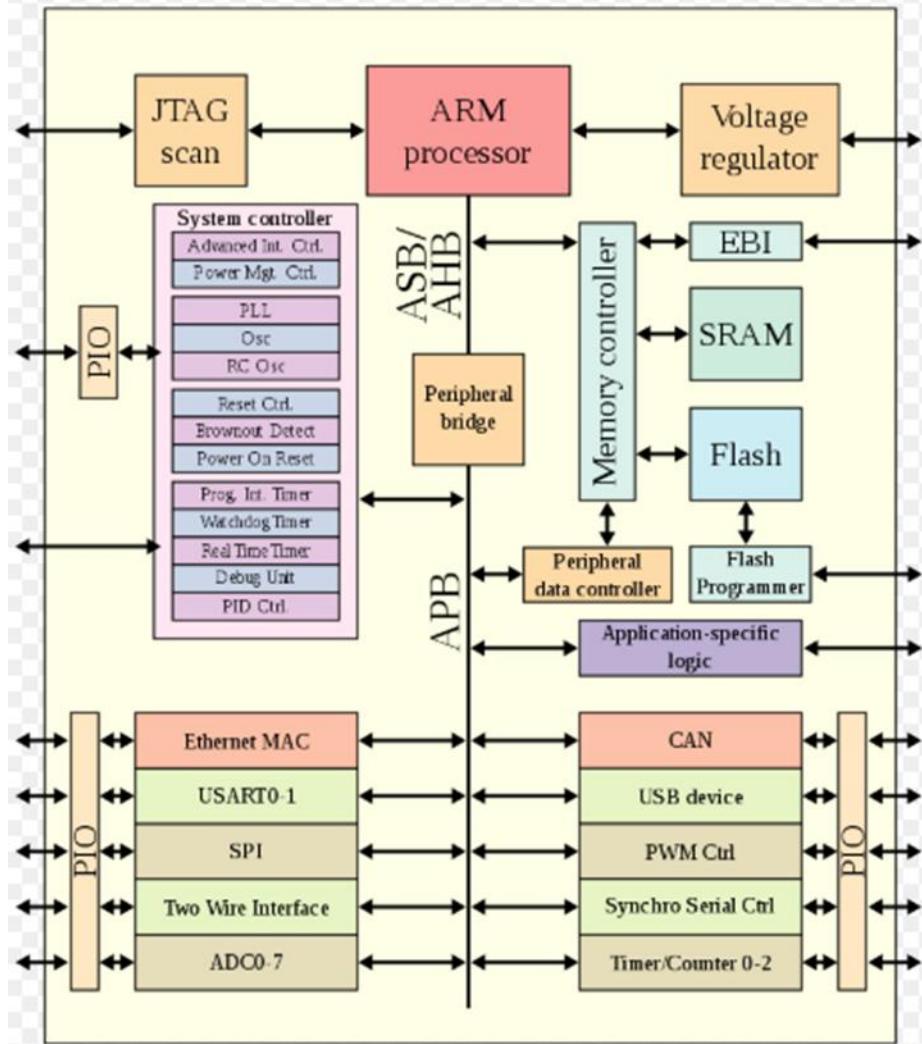
# MicroBlaze procesor

- **Sa MMU, MicroBlaze je u mogućnosti pokretati operativne sisteme koji zahtijevaju hardverski baziranu zaštitu, kao Linux kernel.**
- Ograničen na operativne sisteme sa pojednostavljenom zaštitom i virtuelnom memorijom.
- **Ukupna propusnost MicroBlaze je znatno manja od slične hard CPU jezgre.**

# Primjeri hard bazirane izvedbe SoC-a

# SoC na bazi mikrokontrolera

- SoC izgrađen oko mikrokontrolera integrira mikrokontroler sa naprednim periferalima, kao što su grafička procesorska jedinica (GPU), Wi-Fi modul, jedan ili više koprocesora.



# Različiti tipovi ARM procesora

- ARM procesori su rasprostranjeni u mnogim aplikacijama i imaju različite funkcije.
- Za podršku širokog spektra mogućnosti, definisani su različiti tipovi ARM procesora kako bi dizajneri odabrali najbolju opciju za njihov uređaj. **Aplikacioni zahtjevi mobilnih uređaja su drastično drugačiji od zahtjeva kontrolera motora.**
- Kako bi se obuhvatila raznovrsnost aplikacionih zahtjeva, **ARM pruža širok raspon različitih procesora koji spadaju u familiju Cortex procesora.**

# Različiti tipovi ARM procesora

- **Cortex-A: aplikacioni procesori za kompleksne sisteme.** Primjer procesora u ovoj klasi je Cortex-A53 razvijen za podržavanje mobilnih uređaja koji zahtjeva procesiranje visoke performanse kao i operativni sistem poput Linux, Android, Windows...
- **Cortex-R: procesor namijenjen za real-time sisteme** čiji primjer predstavlja procesor Cortex-R52 kreiran da pruži visoku performansu, malo kašnjenje i robusne karakteristike.
- **Cortex-M: procesori za mikrokontrolere.** Primjer ovakvih uređaja je Cortex-M3 procesor namijenjen za ugradbene aplikacije koje zahtijevaju niske cijene uz pružanje visokih performansi i rapidnog odgovora sistema na prekid. Tipični primjeri upotrebe ovih procesora u aplikacijama uključuju industrijsko upravljanje, korisnički proizvodi poput prenosivih audio uređaja, digitalnih kamera i slično.

# ARM Cortex Procesori

- ARM Cortex-A family (v7-A):

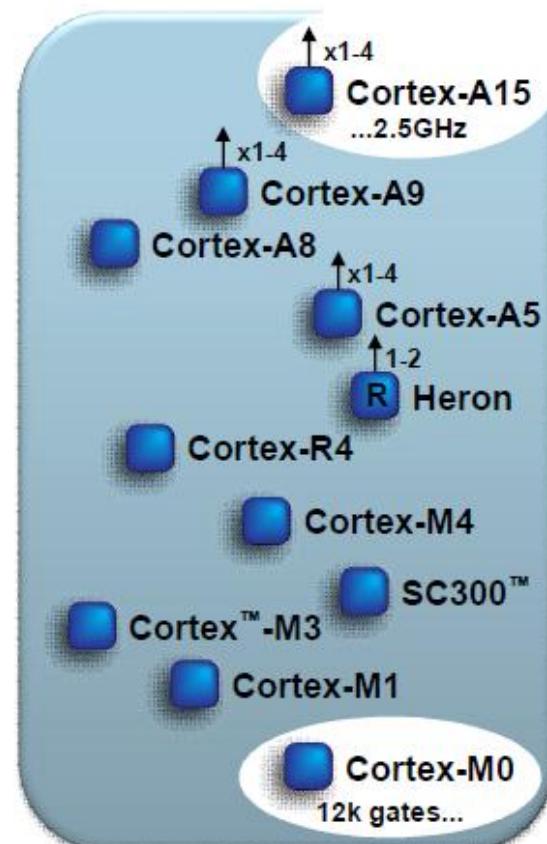
- Applications processors for full OS and 3<sup>rd</sup> party applications

- ARM Cortex-R family (v7-R):

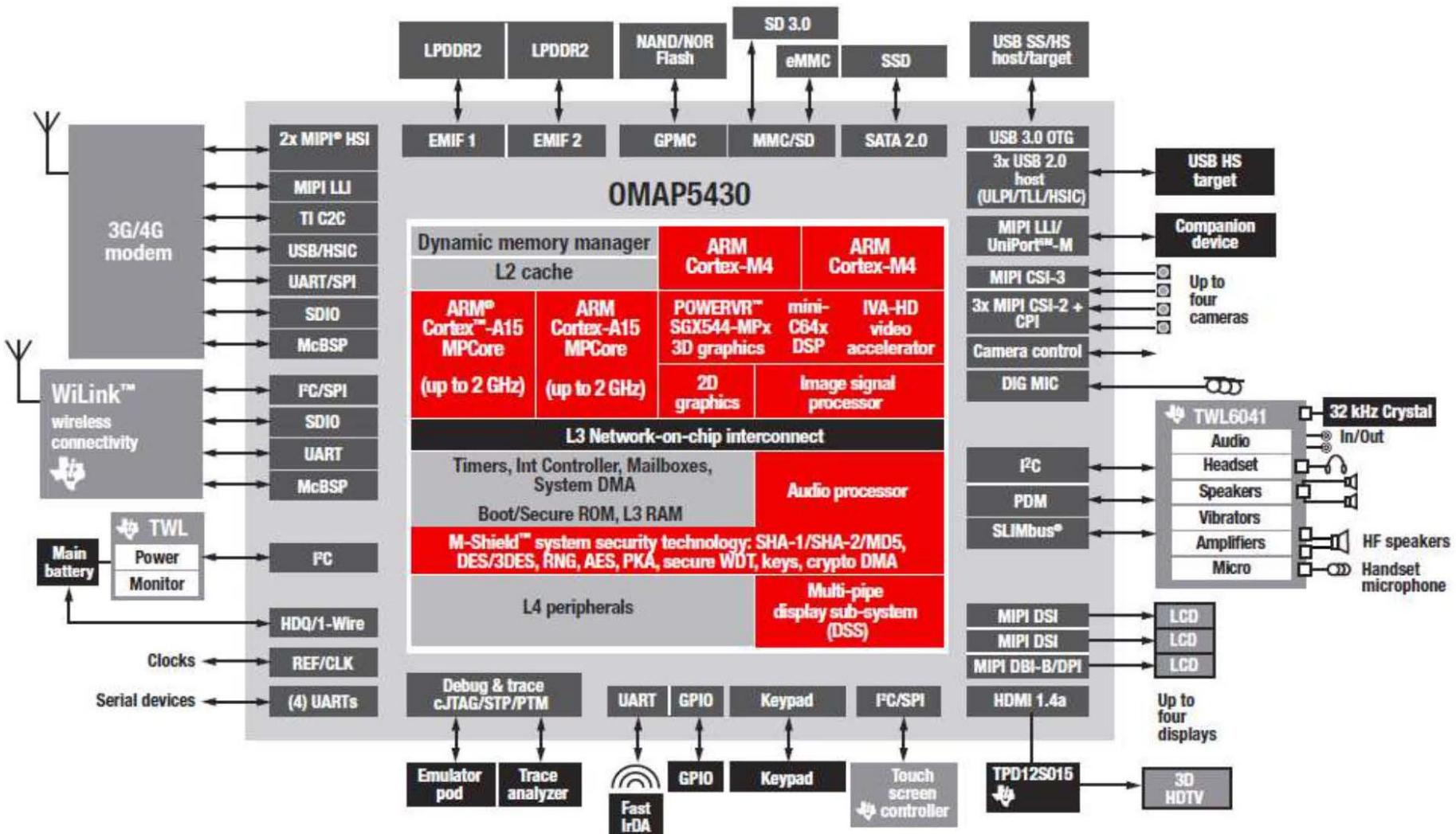
- Embedded processors for real-time signal processing, control applications

- ARM Cortex-M family (v7-M):

- Microcontroller-oriented processors for MCU and SoC applications

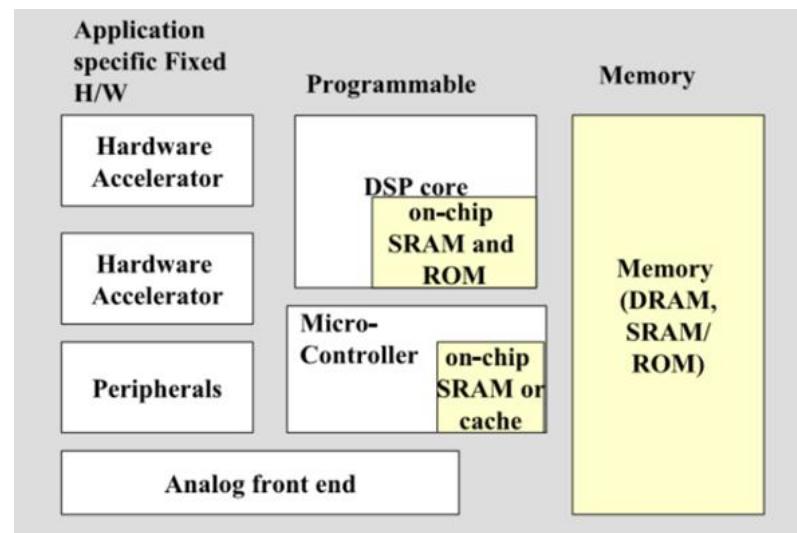


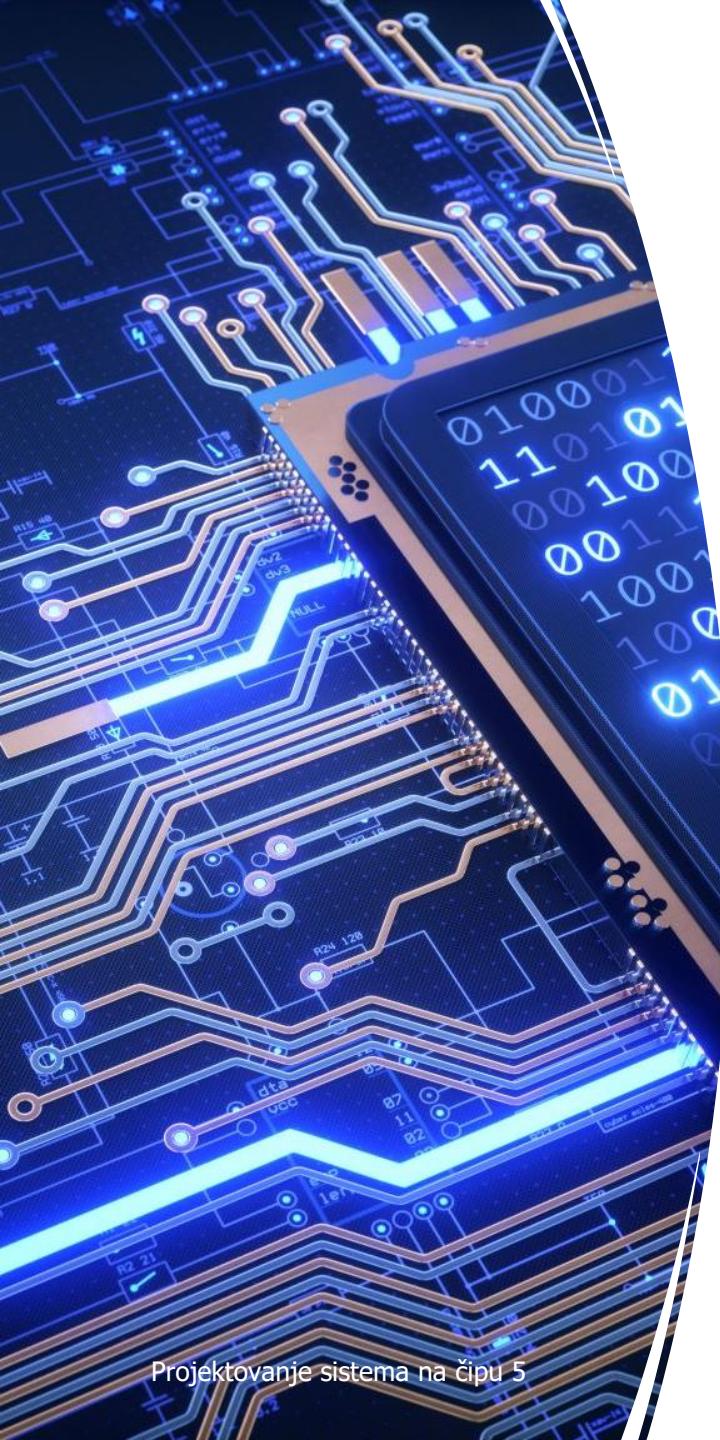
# TI OMAP5430 SoC



# Primjene SoC

- SoC može biti korišten za bilo koji računarski zadatak
- Kompaktna veličina SoC-a čini ih idealnim za aplikacije prenosivih uređaja
- Primjenjuje se i za druge embedded sistemi gdje su se prije koristili mikrokontrolери





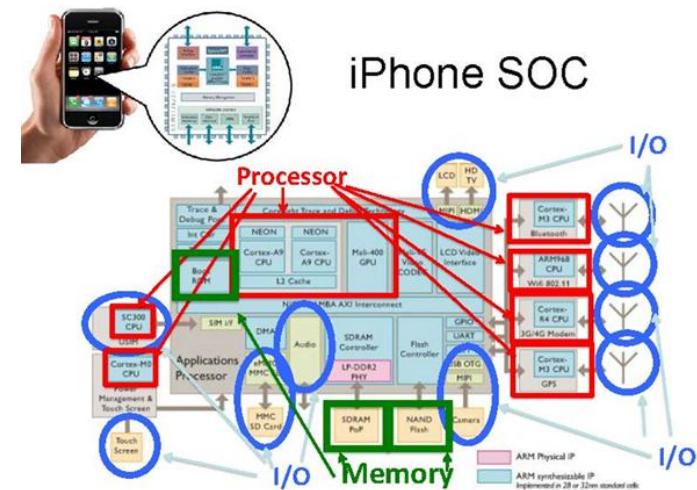
# Sistemi na čipu

---

- Može obavljati razne funkcije:
  - obradu digitalnih signala,
  - bežičnu komunikaciju,
  - izvršavati algoritme vještačke inteligencije itd.

# Primjena SoC-a

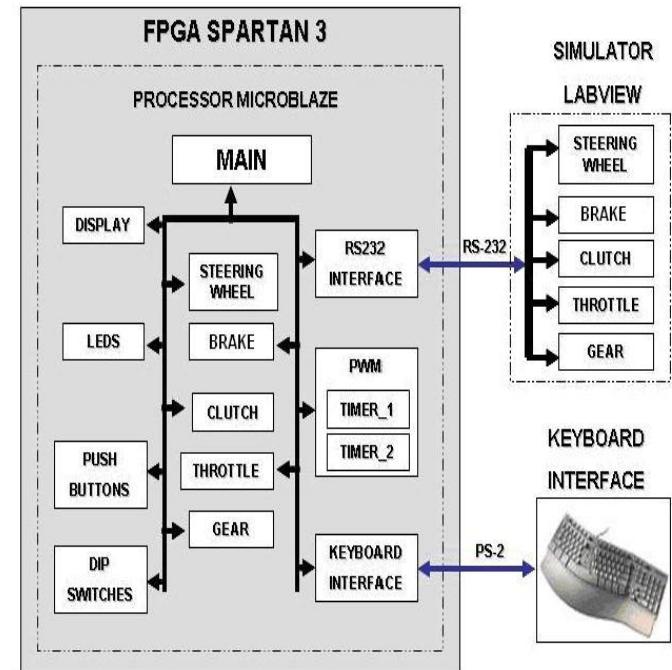
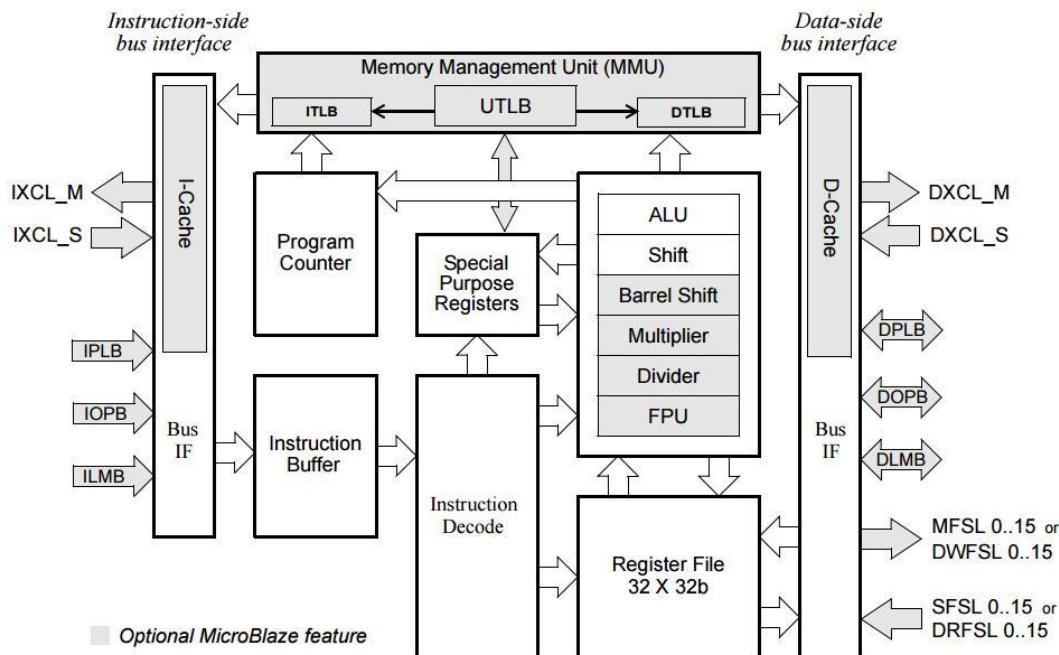
- Ugradbeni sistemi (industrija, robotika, automobili,...)
- Pametni gradovi
- Mobile computing
- Personalni računari (PC)



# Apple SoC

- 2010. je Apple predstavio A4 SoC, koji je bio prvi iPhone SoC koji je dizajnirao Apple. Od tada, Apple je ponovio svoju A-seriju čipova s velikim uspjehom.
- SoC-ovi pomažu iPhoneima da troše manje energije, a da pritom ostanu kompaktni i moćniji u funkciji. Također i drugi proizvođači pametnih telefona koriste SoC-ove.

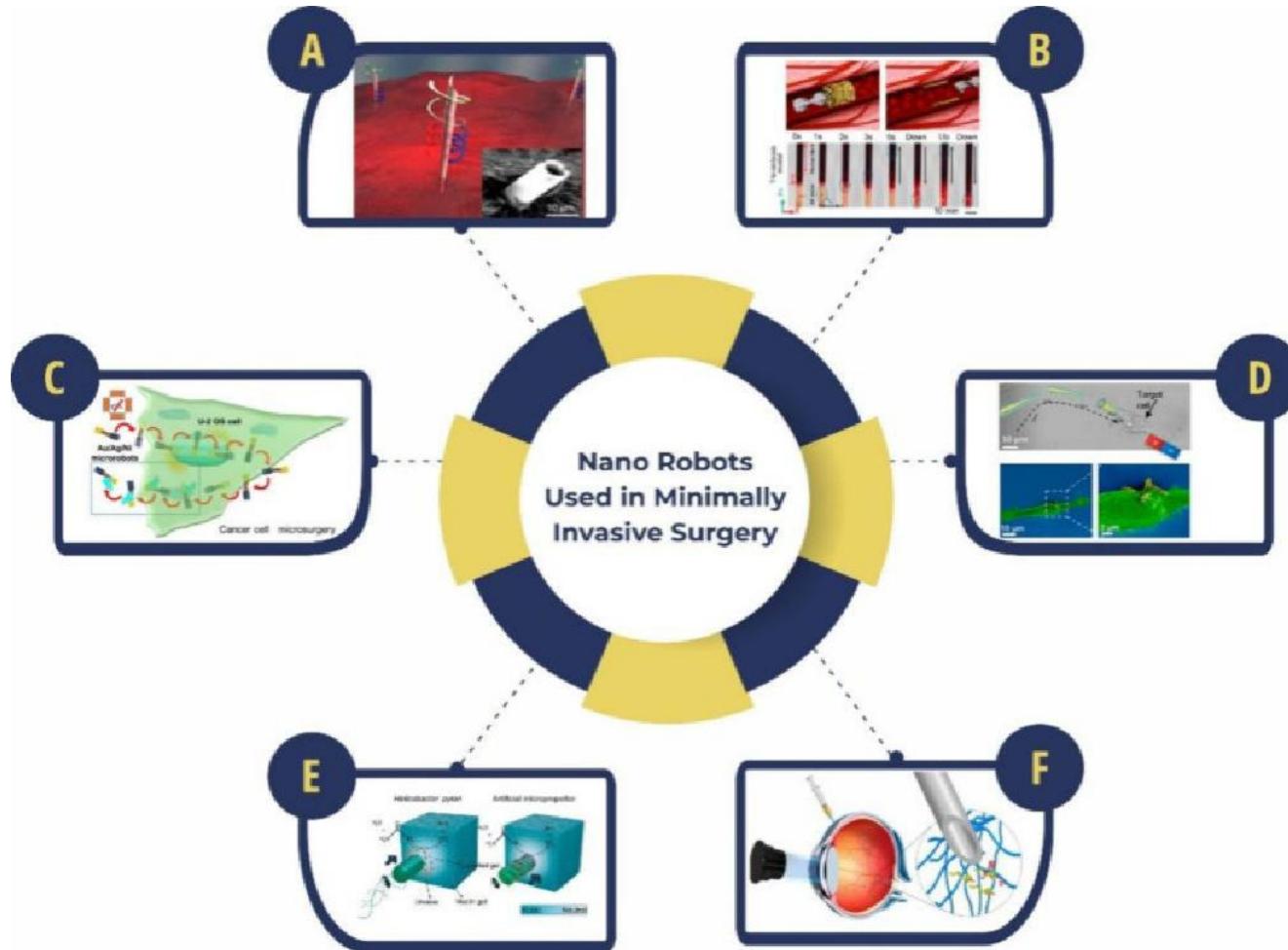
# Primjer aplikacije SoC FPGA kao simulator vožnje



# Primjer kompleksnog SoC dizajna: gastro uređaj

- 18.10.2017 - Tim Bostonskih gastroenterologa dizajnirao uređaj, koji se nalazi u stomaku i prati svu hranu koja dolazi u organizam.
- Dizajniran kao fleksibilni senzor, detektuje kretanja u stomaku.
- Na osnovu različitih vrsta pokreta, uređaj određuje koliko treba vremena za digestiju različitih vrsta materija.
- Također primjena i u dijeti – tačan zapis konzumacije hrane.

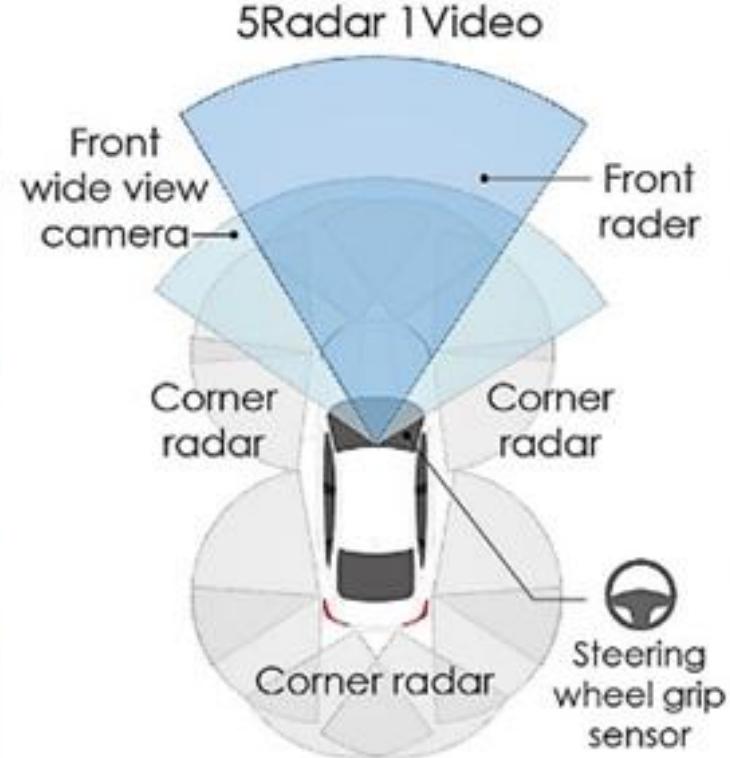
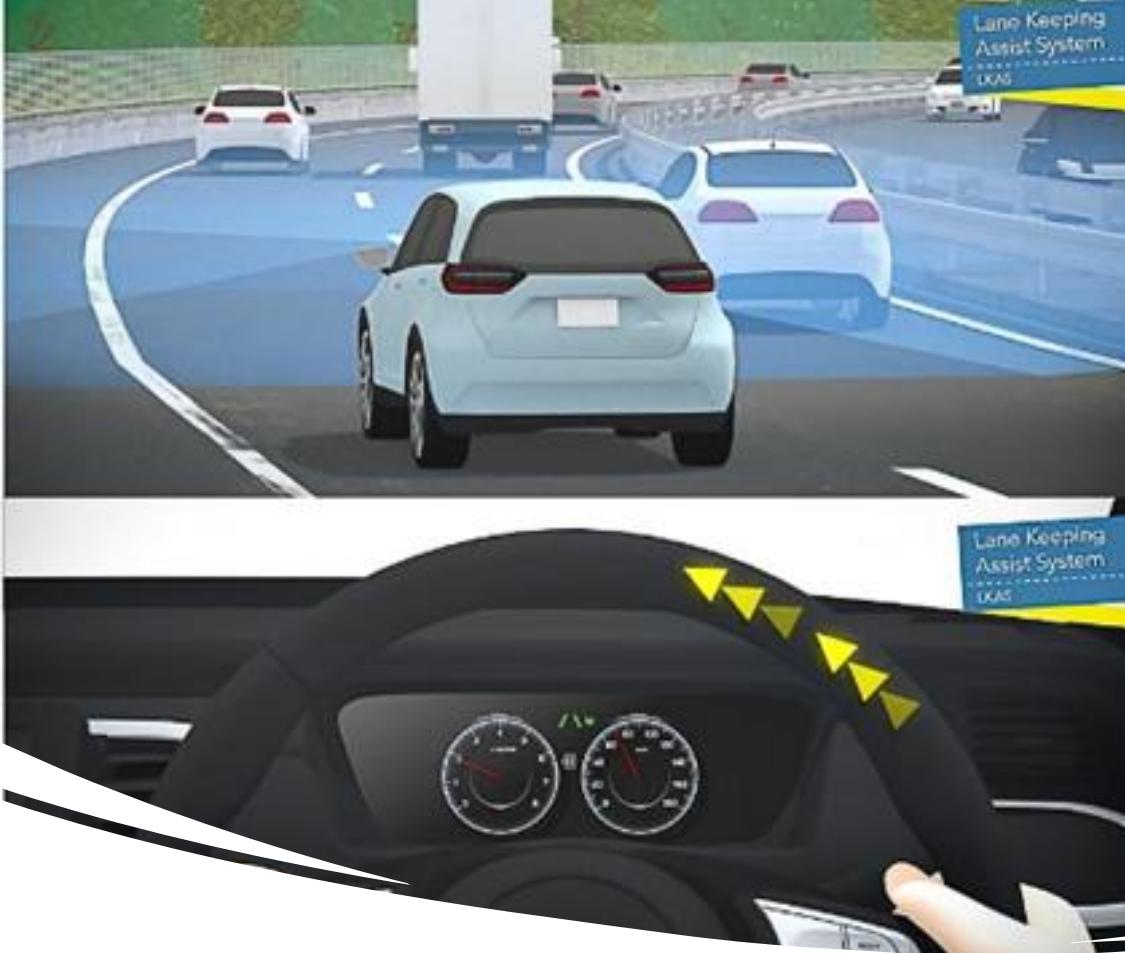
# Primjer SoC baziranih nano-robota



# Primjer upotrebe SoC - Nissan ProPILOT Park – Automated Parking System

- Sveobuhvatan sistem automatiziranog parkiranja koji se nudi u njegovom potpuno električnom vozilu LEAF
- Koristi R-Car sistem na čipu (SoC) firme Renesas Electronics za napredne sisteme pomoći pri vožnji (ADAS)
- RH850 mikrokontroler za automatsko upravljanje (MCU) također firme Renesas Electronics



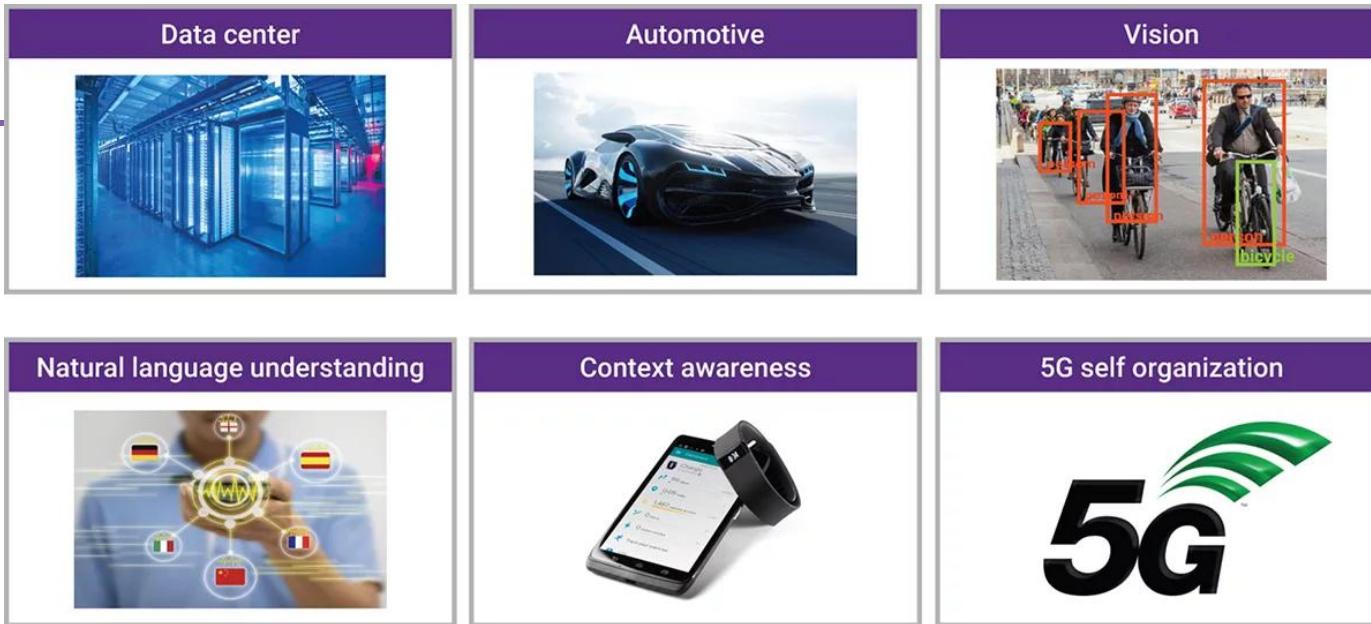


Honda  
SENSING

## Primjer upotrebe SoC - Honda SENSING sistem

- **Honda SENSING Elite** uključuje naprednu tehnologiju koja ispunjava uslove za autonomnu vožnju
- Također koristi R-Car i RH850 za korištenje u Honda SENSING 360° sigurnosnom sistemu

# Vještačka inteligencija i SoC



Specific processing required at individual stages

Pre-processing

Feature extraction

Precise processing  
of selected areas

Decision making

# NVIDIA čipovi

<https://www.nvidia.com/en-us/>



Products Solutions Industries

## Artificial Intelligence

AI is powering change in every industry. From generative AI and speech recognition to medical imaging and improved supply chain management, AI is providing enterprises that compute power, tools, and algorithms their teams need to do their life's work.



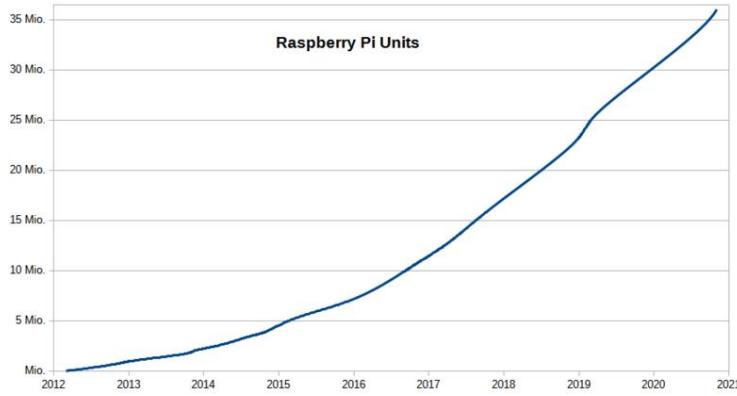
### Simulation | Announcement

#### **NVIDIA and U.S. Manufacturing Leaders Drive America's Reindustrialization**

Next-generation factories are being built with intelligent robotics and physical AI to help overcome labor shortages and boost productivity.

# Raspberry Pi SoC

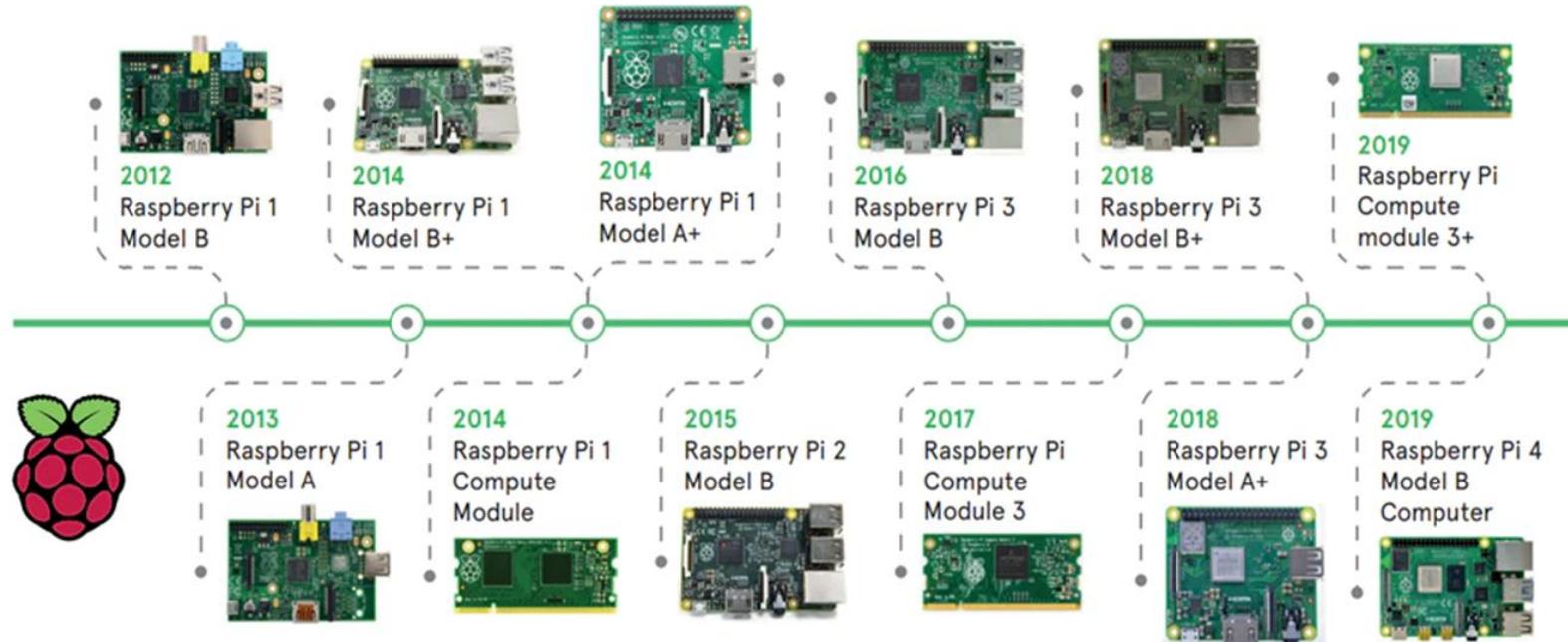
# Raspberry Pi SoC



- **Raspberry Pi** jedno je od najprodavanijih britanskih računara. Od decembra 2019. prodano je **više od trideset miliona ploča**.
- Većina ih se izrađuje u Sonyjevoj tvornici (Pencoedu u Walesu), dok se druge proizvode u Kini i Japanu.

# Raspberry Pi SoC

## Raspberry Pi - The Historical Journey



# Pregled RPI familija

Proizvod	SoC	Brzina	RAM	USB priključci	Ethernet	Wireless	Bluetooth
Model Raspberry Pi A+	BCM2835	700MHZ	512MB	1	Ne	Ne	Ne
Raspberry Pi Model B+	BCM2835	700MHZ	512MB	4	100Base-T	Ne	Ne
Raspberry Pi2 Model B	BCM2836/7	900MHZ	1GB	4	100Base-T	Ne	Ne
Raspberry Pi3 Model B	BCM2837A0/B0	1200MHZ	1GB	4	100Base-T	802.11n	4.1
Raspberry Pi3 Model A+	BCM2837B0	1400MHZ	512MB	1	Ne	802.11ac/n	4.2
Raspberry Pi3 Model B+	BCM2837B0	1400MHZ	1GB	4	1000Base-T	802.11ac/n	4.2
Raspberry Pi4 Model B	BCM2711	1500MHz	2GB	2Xusb2,2Xusb3	1000Base-T	802.11ac/n	5.0
Raspberry Pi4 Model B	BCM2711	1500MHz	8GB	2Xusb2,2Xusb3	1000Base-T	802.11ac/n	5.0
Raspberry Pi Zero	BCM2835	1000MHz	512MB	1	Ne	Ne	Ne
Raspberry Pi4 W	BCM2835	1000MHz	512MB	1	Ne	802.11ac/n	4.1
Raspberry Pi4 Zero WH	BCM2835	1000MHz	512MB	1	Ne	802.11ac/n	4.1
Raspberry PI 400	BCM2711	1800MHz	4GB	1x USB, 2x USB	1000Base-T	802.11ac/n	5.0

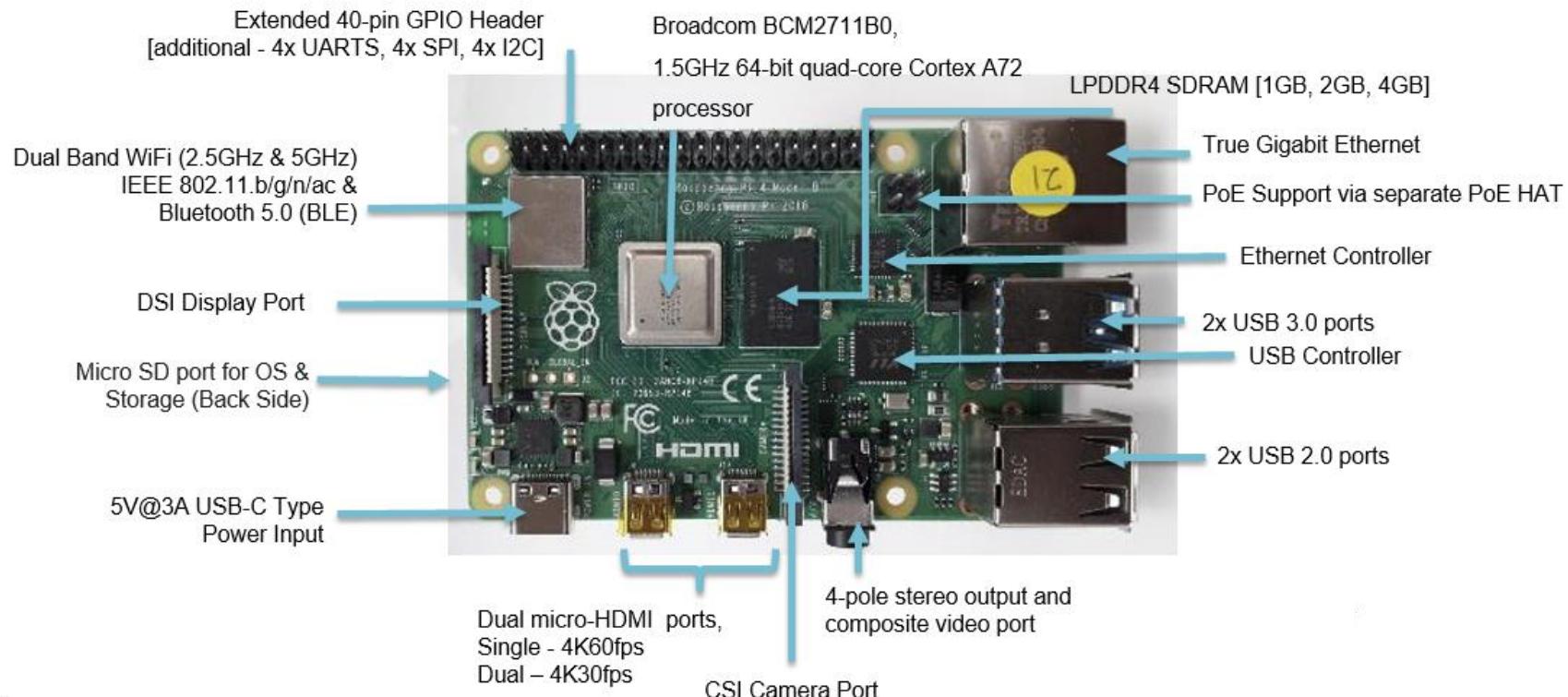
# Raspberry Pi 4



- **Raspberry Pi 4 Model B** objavljen je u junu 2019, s **64-bitnim četverojezgrenim ARM Cortex-A72 procesorom od 1,5 GHz, ugrađenim 802.11ac Wi-Fi , Bluetooth 5 , punim gigabitnim Ethernetom** (propusnost nije ograničena), dva USB 2.0 priključka, dva USB 3.0 priključka i podrška za dvostruki monitor putem para mikro HDMI (HDMI tip D) priključaka za razlučivost do 4K.
- Pi 4 također se napaja putem USB-C priključka, omogućavajući dodatnu energiju nižim perifernim uređajima, kada se koristi s odgovarajućom PSU.

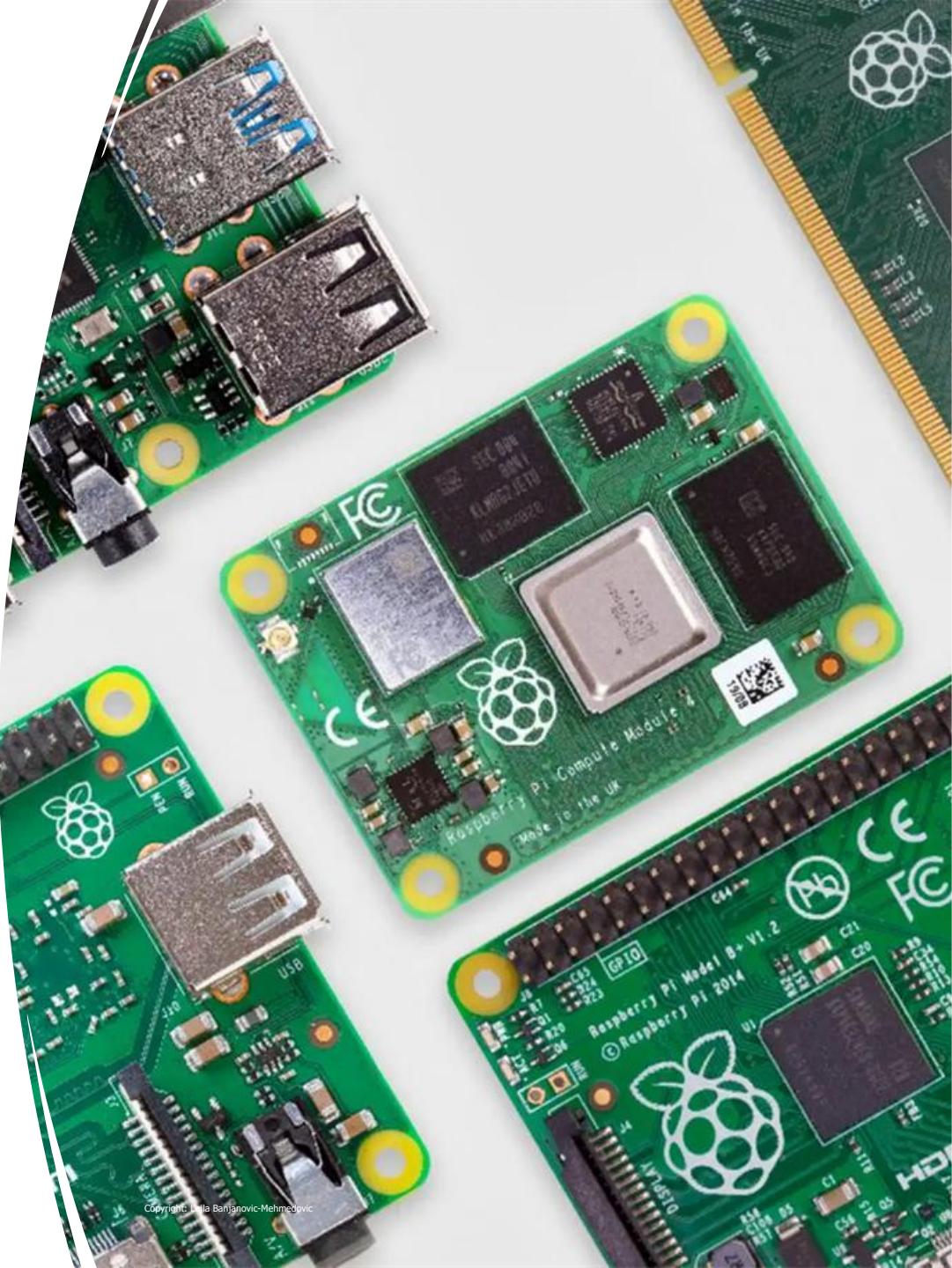
# Raspberry Pi 4 SoC

- Raspberry Pi 4 koristi SoC (Broadcom BCM2711) za svoje osnovne funkcije.



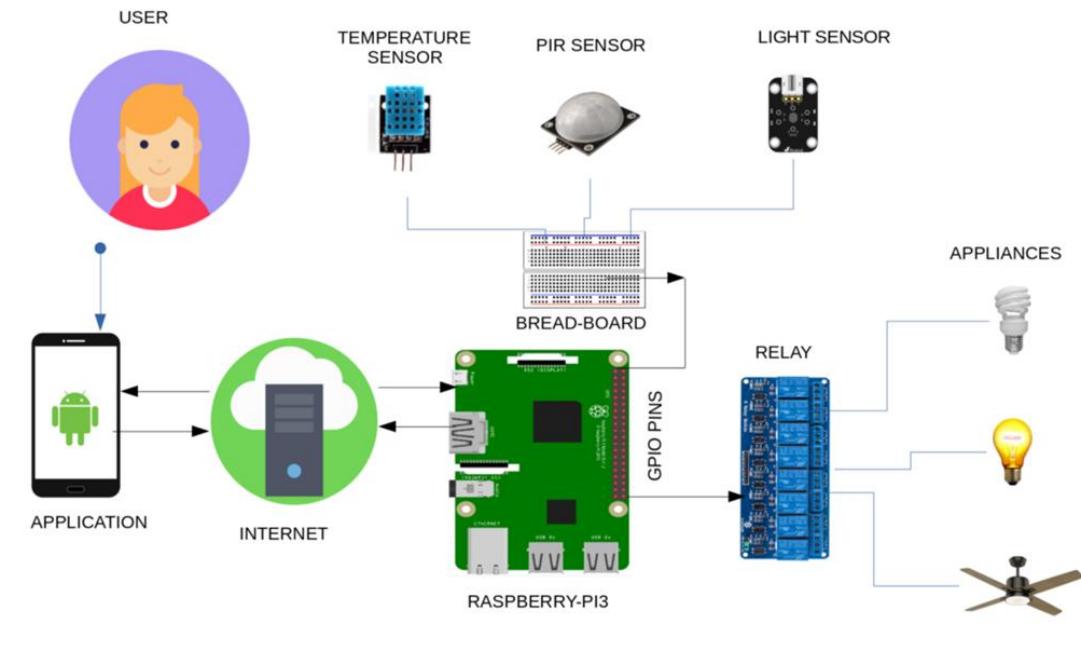
# Raspberry Pi 5

- Raspberry Pi 5 Broadcom **BCM2712** quad-core Arm Cortex A76 processor @ 2.4GHz, 512KB per-core L2 caches and a 2MB shared L3 cache
- LPDDR4X-4267 SDRAM (4GB and 8GB SKUs available at launch)
- Dual-band 802.11ac Wi-Fi®
- Bluetooth 5.0 / Bluetooth Low Energy (BLE)Raspberry Pi OS
- Gigabit Ethernet, with PoE+ support (requires separate PoE+ HAT)
- 2 × 4-lane MIPI camera/display transceivers
- PCIe 2.0 x1 interface for fast peripherals (requires separate M.2 HAT or other adapter)
- 5V/5A DC power via USB-C, with Power Delivery support



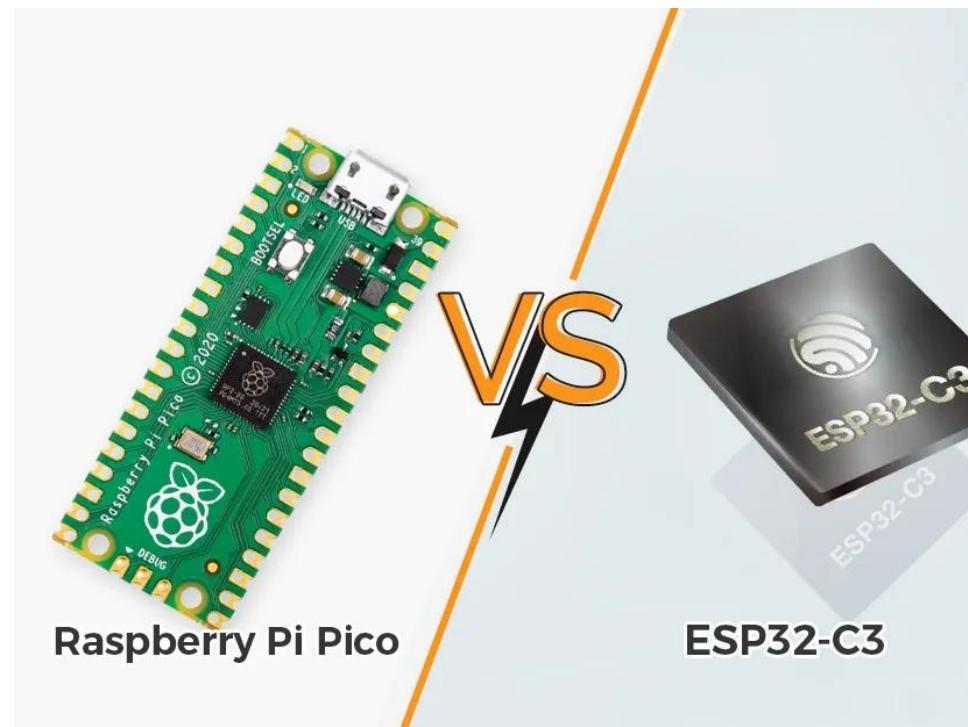
# Upotreba Raspberry Pi

- ugradbeni sistemi
- kućna automatizacija
- IoT uređaji
- medija centar



# Zašto je Raspberry Pi bolji od ESP32?

Sličnost: Iste  
ciljne aplikacije



# Zašto je Raspberry Pi bolji od ESP32?

- **EPS32** - jeftina razvojna ploča koja dolazi s ugrađenim WiFi i Bluetooth čipovima.
  - Ove dvije funkcionalnosti čine ga dobrom rješenjem za projekte zasnovane na IoT-u.
  - Energetski učinkovita i pristupačna pločica koja je korisna u malim projektima, pogotovo kada može raditi na bateriju.
- **Procesna snaga:**
  - Ima mikroprocesore **ESP-WROOM-32 LX6**, koji mogu raditi na 240 MHz i svaki ima 512 kB SRAM-a.

# Zašto je Raspberry Pi bolji od ESP32?

- **Raspberry Pi - multifunkcionalna i popularna ploča.**
  - Prvi put predstavljena u edukacione svrhe, ali primjena u gotovo svim područjima tehnologije, bilo da korisnik zahtijeva jedan zadatak ili ga želi koristiti kao srce cijelog projekta.
- **Procesna snaga:**
  - Raspberry Pi je snažnija mikrokontrolerska ploča s ARM-baziranim procesorom. Raspberry Pi 4B koristi BCM2711 SoC s 1,5 GHz. Također, ima L2 predmemoriju s 1 MB memorije; stoga pruža brzu i precizniju procesorsku snagu u kraćem vremenu.

# Zašto je Raspberry Pi bolji od ESP32?

- **Cjena:** Čini se da je Raspberry Pi skuplji od ESP32, ali općenito je ekonomičan jer **može podnijeti veliki broj aplikacija** u usporedbi s ESP32.
  - Korisnici mogu imati jednu Raspberry ploču za stvaranje i upravljanje projektom velikih razmjera, što daje bolje performanse od višestrukih ESP32, tako da je općenito ekonomičnija i bolja opcija za projekte.
  - Primjer: **Za kućnu automatizaciju**, Raspberry Pi je bolja opcija jer ima veliku procesorsku snagu i energetski je učinkovita opcija za projekat, radi cijelo vrijeme bez ikakvih pauza.

# Zašto je Raspberry Pi bolji od ESP32?

- **Memorija:** Napredak tehnologije zahtijeva više memorije, ploče rade multitasking unutar projekta.
  - Raspberry Pi ima opciju s više od 8 GB RAM-a, što je više nego dovoljno za lako rješavanje velikog broja projekata.
  - ESP32 ima manje RAM-a u usporedbi s Raspberry Pi. To ga čini manje svestranim i obično je ESP32 prikladan za male projekte koji moraju obavljati jedan zadatak odjednom.
- **Operativni sistemi.** Obje ploče su kompatibilne sa širokim rasponom operativnih sistema.
  - Raspberry Pi je popularniji od ESP32; pruža više mogućnosti za pružanje usluga svim vrstama korisnika. Operativni sistem Raspberry Pi ima snažniju izvedbu s funkcijama bogatim karakteristikama u usporedbi s ESP32. Ovo su višenamjenski operativni sistemi, dok ESP32 ima operativni sistem koji može raditi s ograničenim funkcionalnostima.

# Zašto je Raspberry Pi bolji od ESP32?

- **Verzije ploča.**
  - Još jedan faktor koji dokazuje da je Raspberry Pi bolji od ESP32 je svestranost verzije Raspberry Pi. Obje ove ploče imaju više verzija, što ih čini prikladnima za različite projekte, ali **Raspberry Pi ima više verzija - ploča.**
  - **Raspberry Pi je snažniji i popularniji. Ima veliku zajednicu i ljudi ga koriste u različite svrhe. Ima više memorije i procesorske snage**, a kao rezultat ovih značajki, **Raspberry Pi pobjeđuje u utrci.**



# Python

- Python je jedan od najpopularnijih programskih jezika.
- U kombinaciji s Raspberry Pi računarom omogućava brzi razvoj i testiranje IoT i AI projekata.

# Osnovne karakteristike Pythona

- Interpreterski, dinamički tipiziran jezik
- Podržava više paradigmi (objektno, proceduralno, funkcionalno programiranje)
- Bogata standardna biblioteka
- Veliki broj eksternih paketa (NumPy, OpenCV, TensorFlow, Flask, itd.)

# Zašto Python na Raspberry Pi?

- Predinstaliran na svim verzijama Raspberry Pi OS
- Laka integracija s GPIO pinovima
- Podrška za senzore, kamere i motore
- Velika zajednica i dostupna dokumentacija

# Projekti i primjene

- Automatizacija doma (Home Automation)
- Robotske ruke i mobilni roboti
- Pametni nadzorni sistemi (kamera + AI)
- IoT mreže za praćenje okoline
- Edukativne platforme i laboratorijski eksperimenti

# Vještačka inteligencija i Edge AI

- Raspberry Pi može koristiti optimizirane modele (TensorFlow Lite, YOLO nano)
- Primjene:
  - Detekcija objekata u realnom vremenu
  - Praćenje pokreta i gestova
  - Kontrola robota putem kamere