

# Mikroprocesorski sistemi

## Sadržaj predmeta

- ARM Cortex Mikrokontroleri
- Stm32 familija mikroprocesora
- Programiranje korišćenjem HAL drajvera
- Simulacija rada mikrokontrolera
- Organizacija i realizacija samostalnog projekta

# Literatura:

## Predavanja, Vezbe Aleksandar Peulic

- Nucleo Boards Programming with the STM32CubeIDE, Dogan Ibrahim, 2021
- ARM System-on-Chip Architecture, Steve Furber, Addison-Wesley, 2000.
- The Definitive Guide to ARM® Cortex®-M3 and Cortex®-M4 Processors, Third Edition, Joseph Yiu, Elsevier, 2013.
- <https://www.st.com/en/>

# ORGANIZACIJA PREDMETA

- PREDAVANJA
  - VEZBE
  - PROJEKAT – INDIVIDUALNO
- } KOLOKVIJUM

PROF.DR ALEKSANDAR PEULIC

12

Kolokvijum: 2x30  
Projekat: 40

# Literatura – ARM dokumentacija

- ARMv7-M Architecture Reference Manual (ARM DDI 0403)
- • ARM Cortex-M3 Integration and Implementation Manual (ARM DII 0240)
- • ARM AMBA® 3 AHB-Lite Protocol (v1.0) (ARM IHI 0033)
- • ARM AMBA™ 3 APB Protocol Specification (ARM IHI 0024)
- • AMBA® 3 ATB Protocol Specification (ARM IHI 0032)
- • ARM CoreSight™ Components Technical Reference Manual (ARM DDI 0314)
- • ARM Debug Interface v5 Architecture Specification (ARM IHI 0031)
- • ARM Embedded Trace Macrocell Architecture Specification (ARM IHI 0014).
- • IEEE Standard *Test Access Port and Boundary-Scan Architecture* 1149.1-2001 (JTAG)

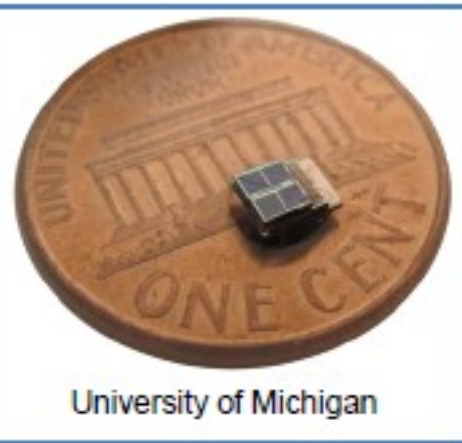
# ARM

- Holding osnovan 1990 godine, kao zajedničko preduzeće kompanija Accorn, Apple i VLSI Technology.
- ARM ne proizvodi čipove već se bavi dizajnom arhitekture i procesora.
- Skoro svi vodeći proizvođači elektronskih komponenti otkupljuju licence od ARM-a i na osnovu njih proizvode svoje varijante mikrokontrolera i mikroprocesora.
- Osnovna ideja je da procesorsko jezgro bude standardizovano (ARM), a da svaki proizvođač dodaje svoje specifične periferije.



# ARM partneri





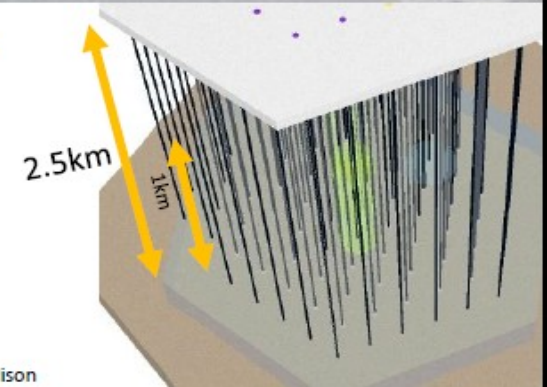
4200 ARM powered  
Neutrino Detectors



70 bore holes 2.5km deep

60 detectors per string  
starting 1.5km down

1km<sup>3</sup> of active telescope



Work supported by the National Science Foundation and University of Wisconsin-Madison

Aleksandar Peulic



# Markets for ARM in 2017

|              | Devices Shipped<br>(Million of Units) | 2017<br>Devices | Device<br>CAGR | Chips/<br>Device | 2017<br>Chips | Chip<br>CAGR | Key Growth<br>Areas for ARM |
|--------------|---------------------------------------|-----------------|----------------|------------------|---------------|--------------|-----------------------------|
| Mobile       | Smart Phone                           | 1,700           | 20%            | 3-5              | 6,800         | 20%          | ←                           |
|              | Feature Phone                         | -               | -              | -                | -             | -            |                             |
|              | Low End Voice                         | 710             | -1%            | 1-2              | 1,400         | 15%          | ←                           |
|              | Portable Media Players                | 90              | -10%           | 1-3              | 180           | -5%          |                             |
|              | Mobile Computing* (apps only)         | 850             | 20%            | 1                | 850           | 20%          |                             |
| Home         | Digital Camera                        | 130             | -5%            | 1-2              | 200           | -5%          | ←                           |
|              | Digital TV & Set-top-box              | 600             | 10%            | 1-4              | 2,000         | 25%          |                             |
| Enterprise   | Desktop PCs & Servers (apps)          | 200             | Flat           | 1                | 200           | Flat         | ←                           |
|              | Networking                            | 1,500           | 5%             | 1-2              | 1,700         | 5%           |                             |
|              | Printers                              | 130             | 2%             | 1-3              | 130           | 2%           |                             |
|              | Hard Disk & Solid State Drives        | 1,100           | 10%            | 1                | 1,100         | 10%          |                             |
| Embedded     | Automotive                            | 3,800           | 10%            | 1                | 3,800         | 10%          | ←                           |
|              | Smart Card                            | 8,500           | 10%            | 1                | 8,500         | 10%          |                             |
|              | Microcontrollers                      | 11,400          | 5%             | 1                | 11,400        | 5%           |                             |
|              | Others **                             | 3,000           | 10%            | 1-2              | 3,000         | 10%          |                             |
| <b>Total</b> |                                       | <b>34,000</b>   | <b>5%</b>      |                  | <b>41,000</b> | <b>10%</b>   |                             |

Source:  
Gartner, IDC, SIA, and  
ARM estimates

\* Including tablets, netbooks and laptops

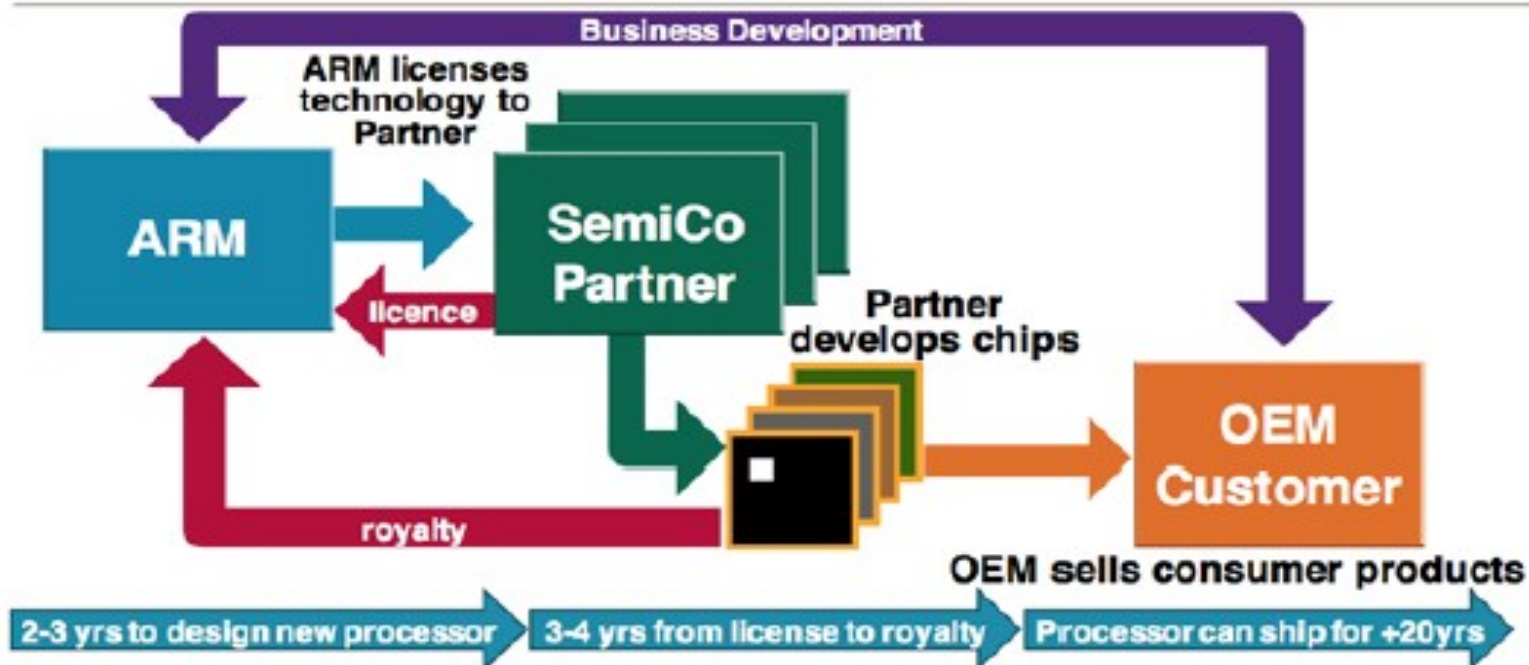
\*\* Includes other applications not listed such as headsets, DVD, game consoles, etc

NOT TO BE REPUBLISHED WITHOUT  
PERMISSION FROM ARM

The Architecture for the Digital World®

**ARM**

# ARM Business Model



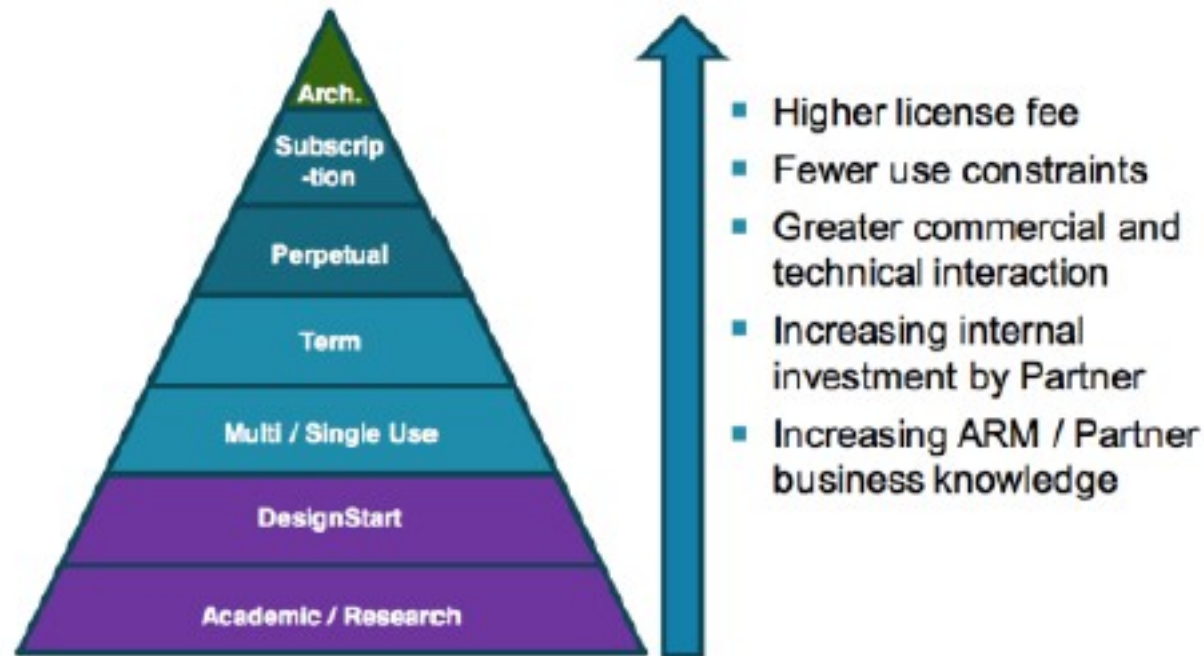
- **Innovative business model yields high margins**

- Upfront license fee – flexible licensing models
- Ongoing royalties – typically based on percentage of chip price
- Technology suitable for multiple applications – can ship for decades

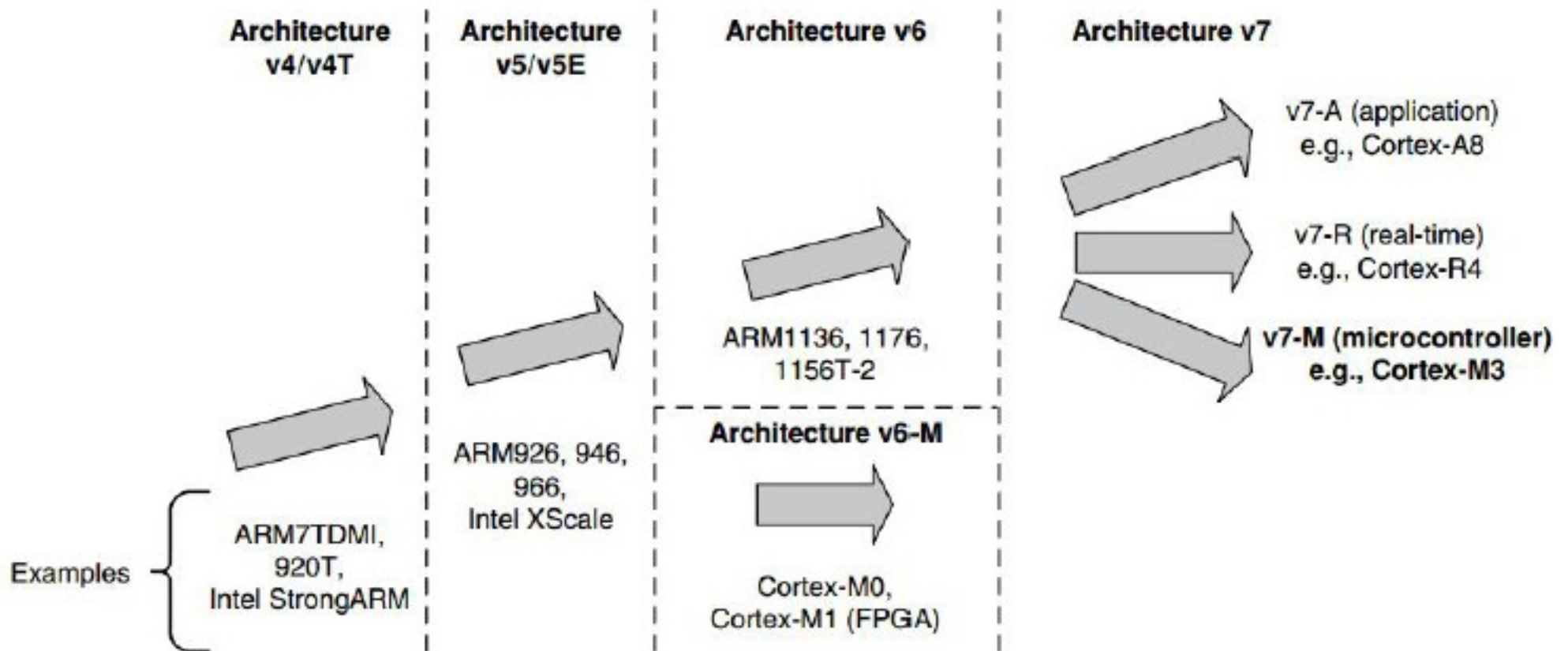
Original Equipment Manufacturer or OEM

# Broad Range of Licensing Options

- Innovation in the business model as well as technology
  - New partnerships for new types of companies



# ARM – evolucija arhitektura





# Cortex familije

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

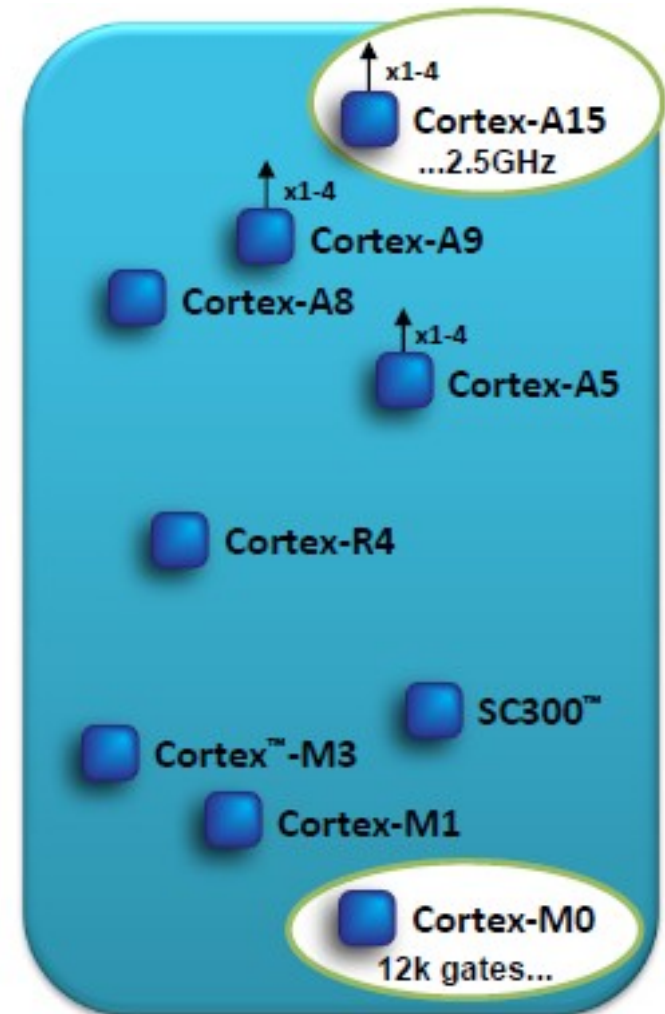
Applications processors for full OS  
and 3<sup>rd</sup> party applications

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

Embedded processors for real-time  
signal processing, control applications

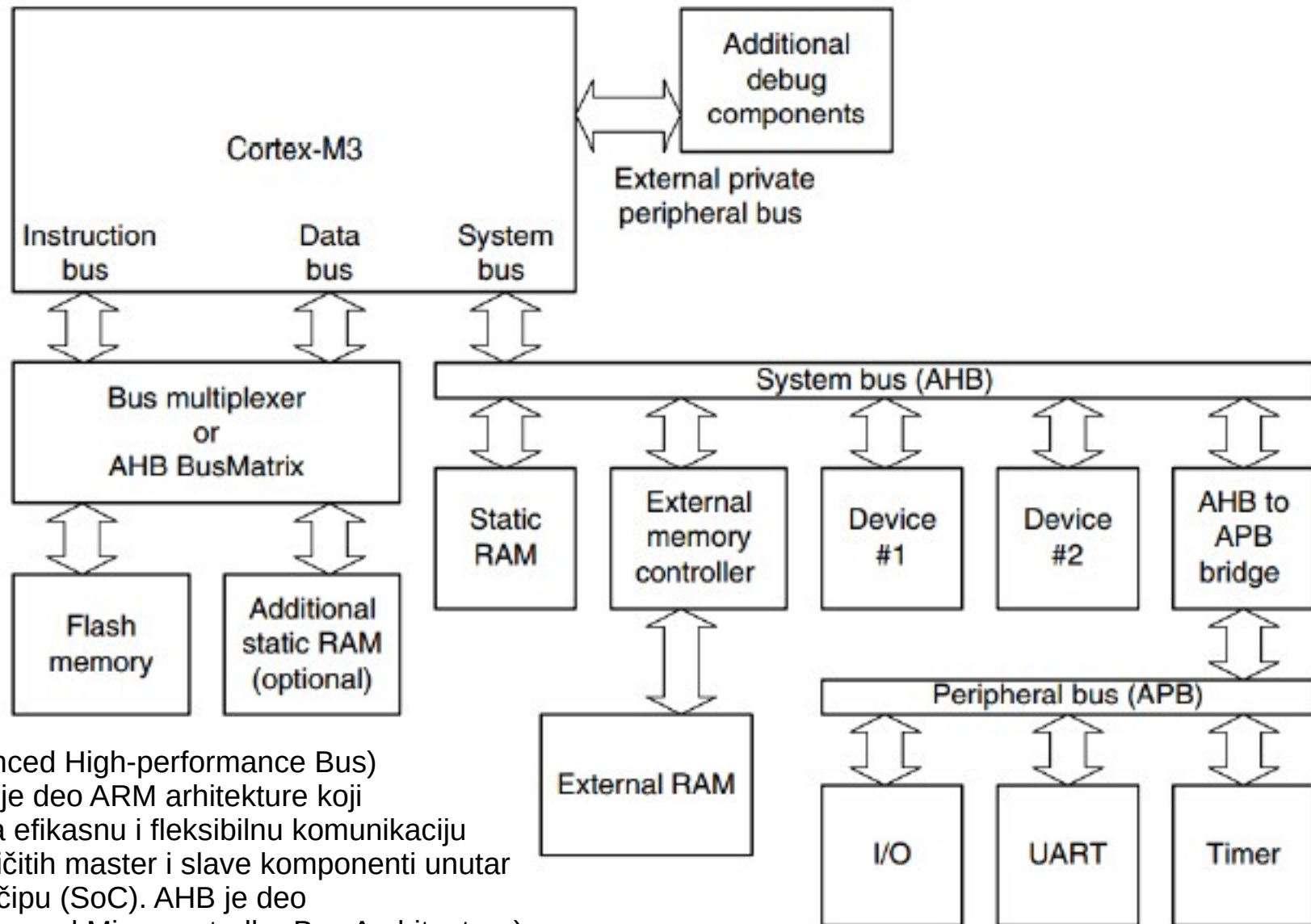
## ARM Cortex-**M** family (v7-M):

Microcontroller-oriented processors  
for MCU and SoC applications



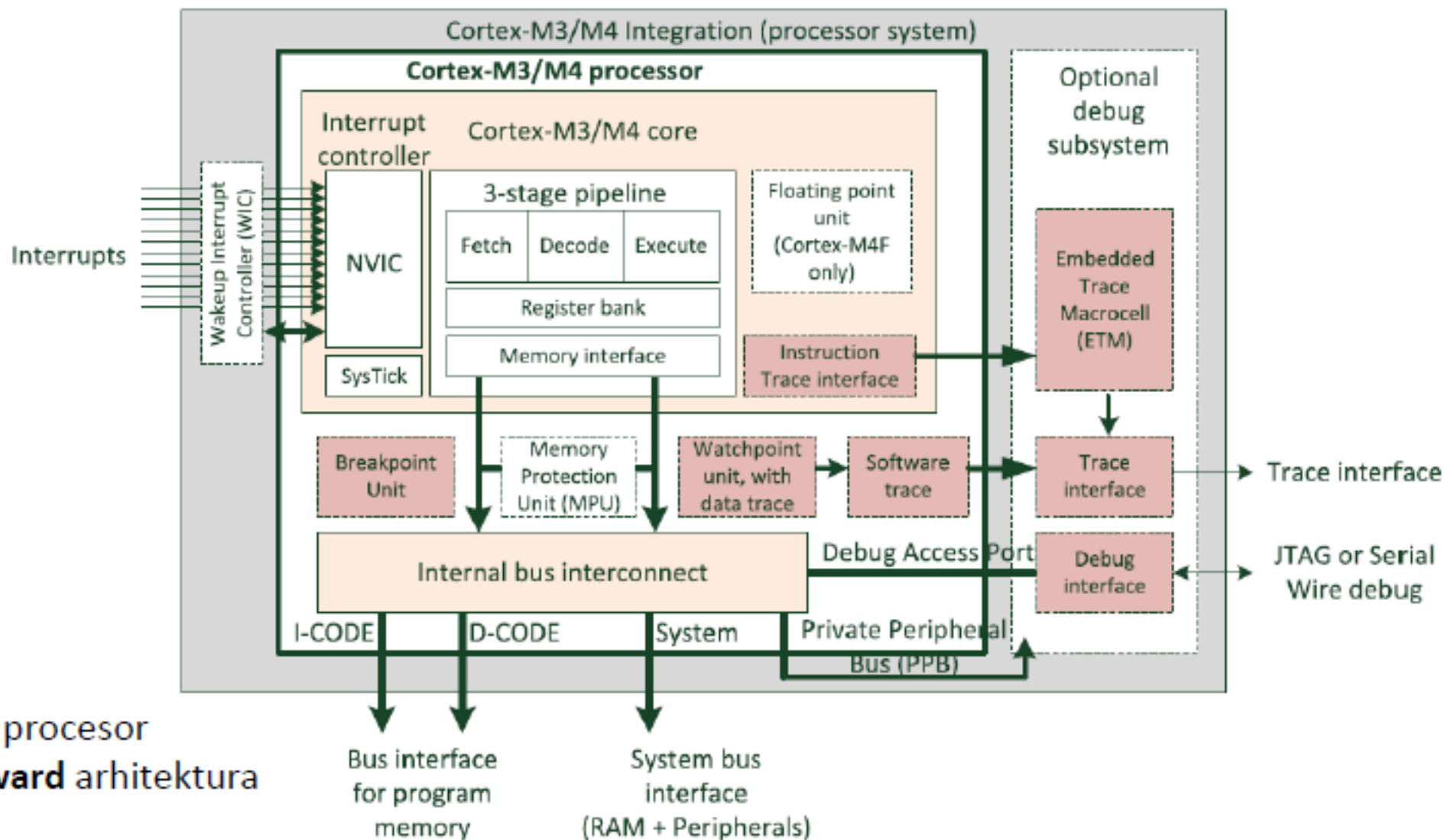


# Arhitektura Cortex-Mx mikrokontrolera



AHB (Advanced High-performance Bus) Bus Matrix je deo ARM arhitekture koji omogućava efikasnu i fleksibilnu komunikaciju između različitih master i slave komponenti unutar sistema na čipu (SoC). AHB je deo AMBA (Advanced Microcontroller Bus Architecture) specifikacije koju je razvio ARM.

# Cortex-M3/M4 – procesori bazirani na ARMv7-M arhitekturi



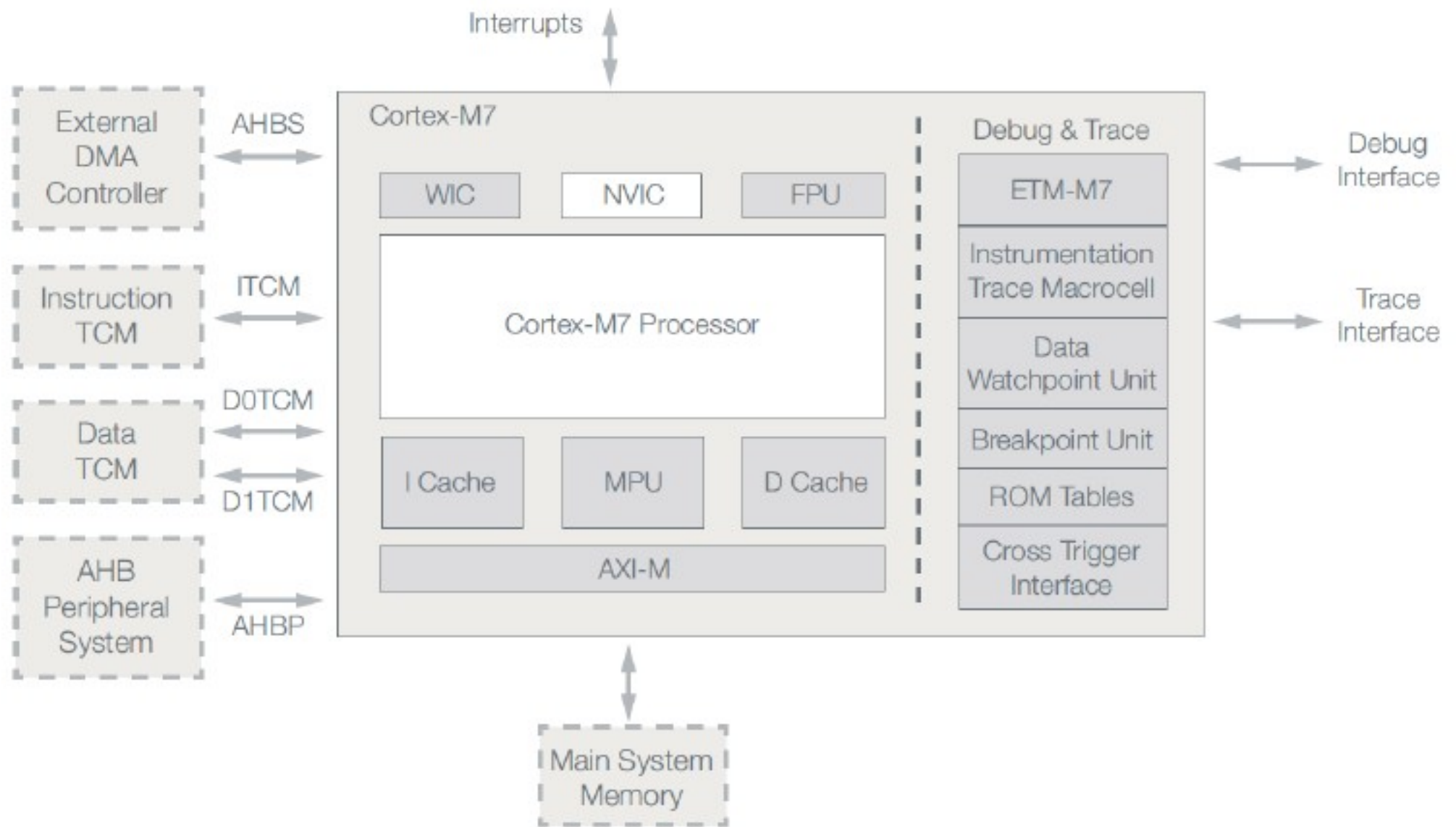
# ARM Cortex-M3/M4 tehnologije

- Svaka od [Cortex-M](#) serije procesora je specifična, ali poseduje i sledeće zajedničke karakteristike:

| RISC procesorsko jezgro                                                                                                                                                          | <a href="#">Thumb-2®</a> instukcijski set                                                                                                                                                             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>•32-bit CPU</li><li>•Predvidiv rad</li><li>•3-stepena protočna obrada</li></ul>                                                            | <ul style="list-style-type: none"><li>•Kompromis između 16/32-bitnih instrukcija</li><li>•3x manja veličina koda nego kod 8-bitnih platformi</li><li>•Bez negativnog uticaja na performanse</li></ul> |
| Modovi rada sa smanjenom potrošnjom                                                                                                                                              | Nested Vectored Interrupt Controller (NVIC)                                                                                                                                                           |
| <ul style="list-style-type: none"><li>•Integrirani modovi rada</li><li>•Više modova potrošnje</li><li>•Softverska kontrola</li></ul>                                             | <ul style="list-style-type: none"><li>•Malo kašnjenje servisiranja prekida</li><li>•Bez potrebe za programiranjem u assembleru</li><li>•Servisne rutine u C kodu</li></ul>                            |
| Alati i RTOS                                                                                                                                                                     | Podrška za debugovanje                                                                                                                                                                                |
| <ul style="list-style-type: none"><li>•Široka lepeza alata</li><li>•<a href="#">Cortex Microcontroller Software Interface Standard</a></li><li>•Software reuse podrška</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>• JTAG ili 2-pin <a href="#">Serial Wire Debug</a></li><li>•Podrška za višeprocorski rad</li><li>•Debugovanje u realnom vremenu</li></ul>                       |

# Cortex-M3/M4 osnovne karakteristike

|                              |                                                           |
|------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Arhitektura                  | ARMv7-M (Harvard)                                         |
| Instrukcijski set            | <a href="#">Thumb®</a> / <a href="#">Thumb-2</a>          |
| Protočna obrada              | 3-stepena + spekulacija skoka                             |
| <i>Dhrystone</i> test        | 1.25 DMIPS/MHz                                            |
| MPU                          | Optional 8 region                                         |
| Prekidi                      | NMI + 1 to 240 physical interrupts                        |
| Kašnjenje prekida            | 12 taktnih ciklusa                                        |
| Kašnjenje gnježdenja prekida | 6 taktnih ciklusa                                         |
| Nivoi prioriteta prekida     | 8 do 256 nivoa prioriteta                                 |
| Prekidni kontroler           | Do 240 prekida                                            |
| Redukcija potrošnje          | Sleep/deep sleep modovi rada                              |
| Bit-operacije                | Integrisane instrukcije (atomske)                         |
| Posebne instrukcije          | HW deljenje (2-12 ciklusa) & množenje (32x32) 1 ciklus.   |
| Podrška za debugovanje       | Opciono JTAG & <a href="#">Serial-Wire Debug</a> portovi. |





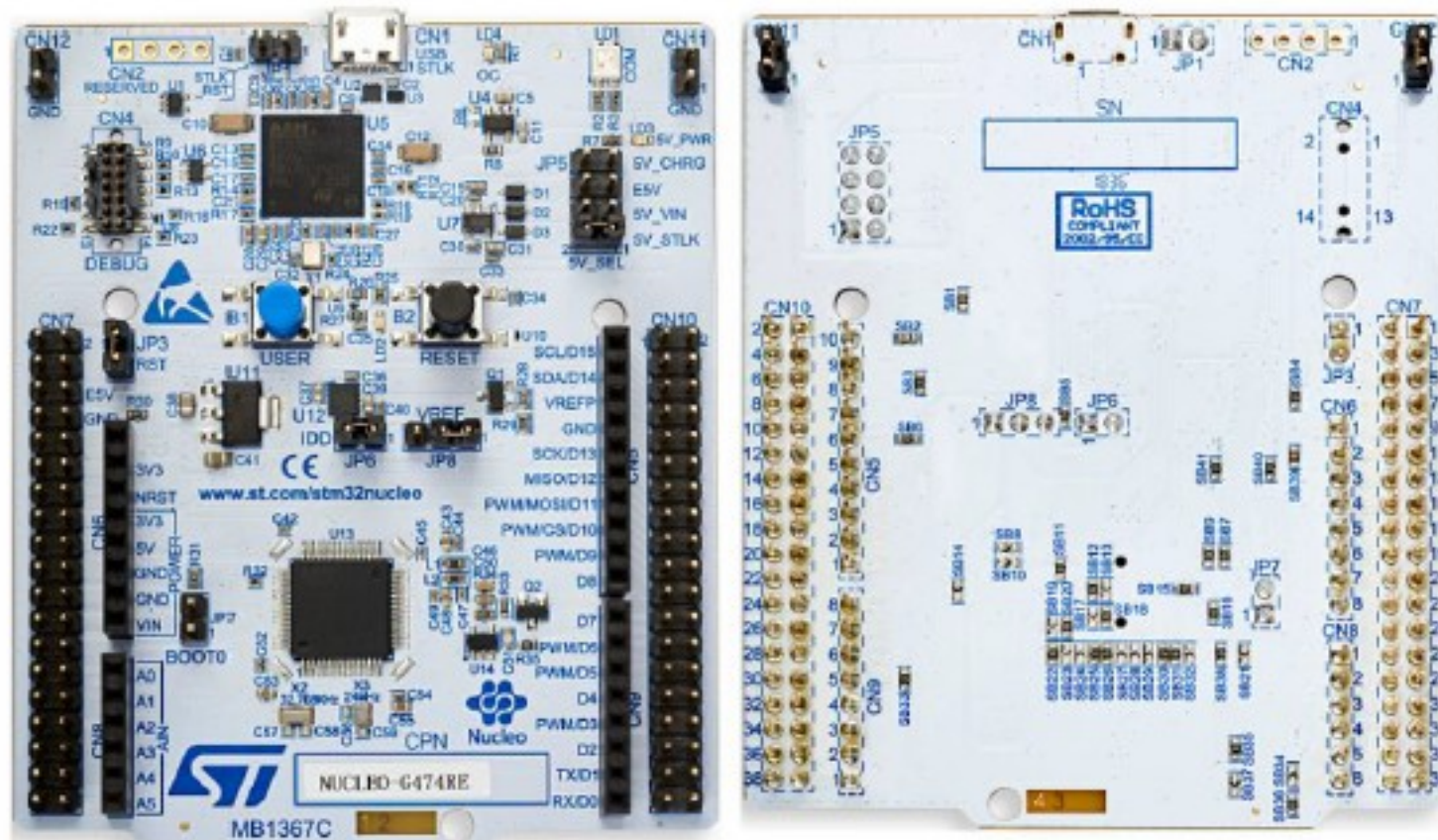


- Moguća alternativa
- Otvorena RISC platforma
- University of California, Berkeley.
- <http://riscv.org/>

|                                                 | ARM<br>Cortex-A5    | RISC-V<br>Rocket    | Ratio |
|-------------------------------------------------|---------------------|---------------------|-------|
| Width (bits)                                    | 32                  | 64                  | 2x    |
| Frequency                                       | >1GHz               | >1GHz               | 1x    |
| Dhrystone Performance<br>(Dmips/MHz)            | 1.57                | 1.72                | 1.1x  |
| Area (no caches)                                | 0.27mm <sup>2</sup> | 0.14mm <sup>2</sup> | 0.5x  |
| Area (16 KB caches)                             | 0.53mm <sup>2</sup> | 0.39mm <sup>2</sup> | 0.7x  |
| Area Efficiency<br>(Dmips/MHz/mm <sup>2</sup> ) | 3.0                 | 4.4                 | 1.5x  |
| Dynamic Power<br>(mW/MHz)                       | <0.080              | 0.034               | ≥0.4x |

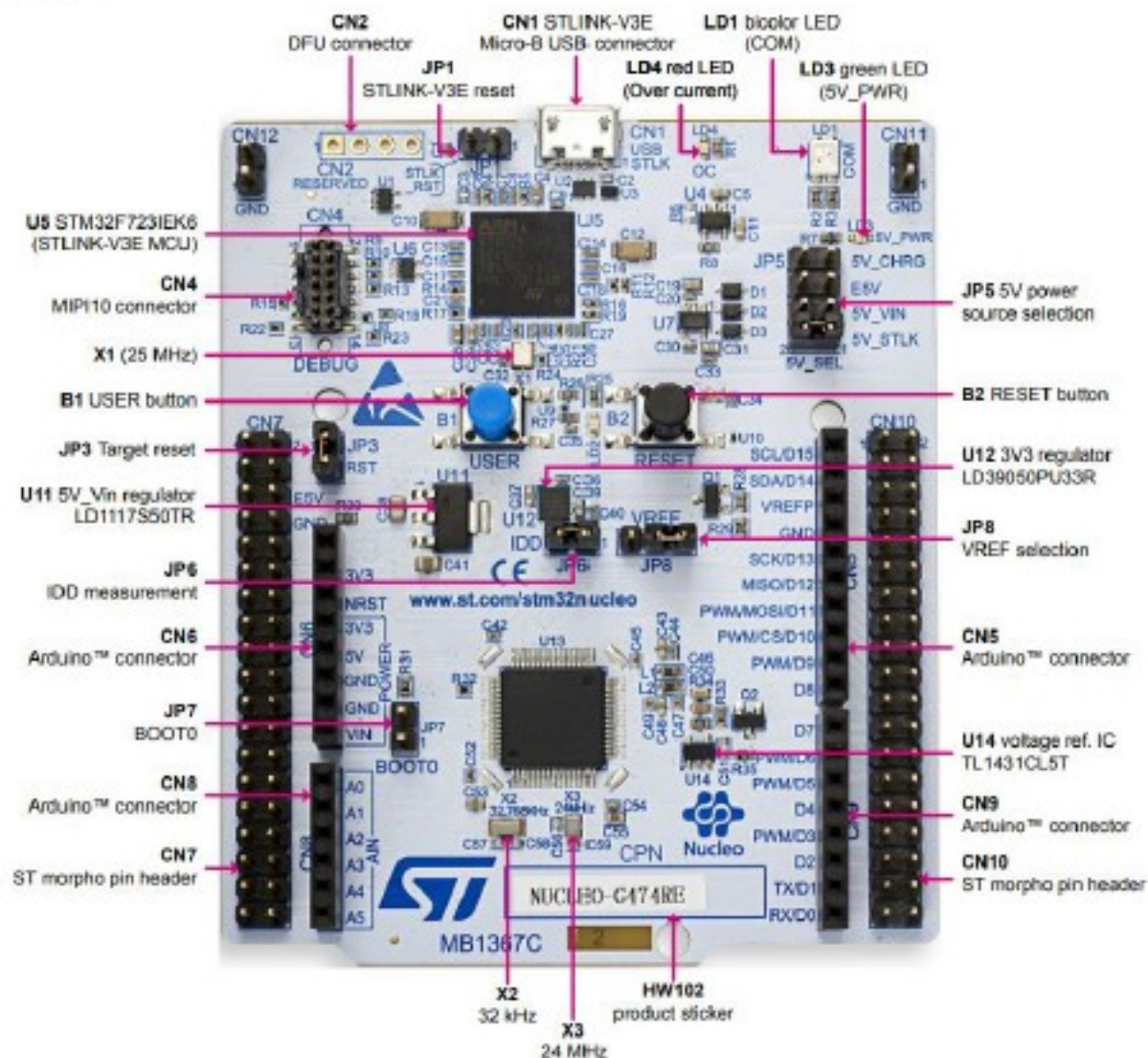
# Карактеристике Nucleo плоче STM32G474RE

- STM32G4 микроконтролер (Arm® Cortex®-M4 са 170 MHz) у LQFP64 пакету који садржи:
  - 128 KBytes флеш меморије и 32 Kbytes SRAM меморије за STM32G431RBT6,
  - 512 KBytes флеш меморије и 96 Kbytes SRAM меморије за STM32G491RET6,
  - 512 KBytes флеш меморије и 128 Kbytes SRAM меморије за STM32G474RET6.
- Потпуно компатабилан са STM32G473RET6 (512 Kbytes флеш меморије и 128 Kbytes SRAM меморије),
- 1 корисничка LED диода,
- 1 корисничко дугме и 1 дугме за рестартовање,
- 32.768 kHz LSE кристални осцилатор,
- 24 MHz HSE уграђени осцилатор,
- Конектори на плочи:
  - USB са Micro-AB,
  - MIPI® конектор за дебаговање,
  - ARDUINO® Uno V3 проширени конектор и
  - ST morpho проширени пин хедери за пун приступ улазима/излазима свих STM32G4 микроконтролера.
- Флексибилне опције напајања: ST-LINK, USB VBUS, или спољашњи извори,
- Уграђени дебагер/програмер STLINK-V3E са USB способношћу поновног набрајања: масовна меморија, виртуелни COM порт и дебаг порт,
- Свеобухватне библиотеке бесплатног софтвера и примери доступни за STM32CubeG4 MCU пакет,
- Подршка широком избору интегрисаних развојних окружења укључујући: IAR Embedded Workbench®, MDK-ARM, и STM32CubeIDE.



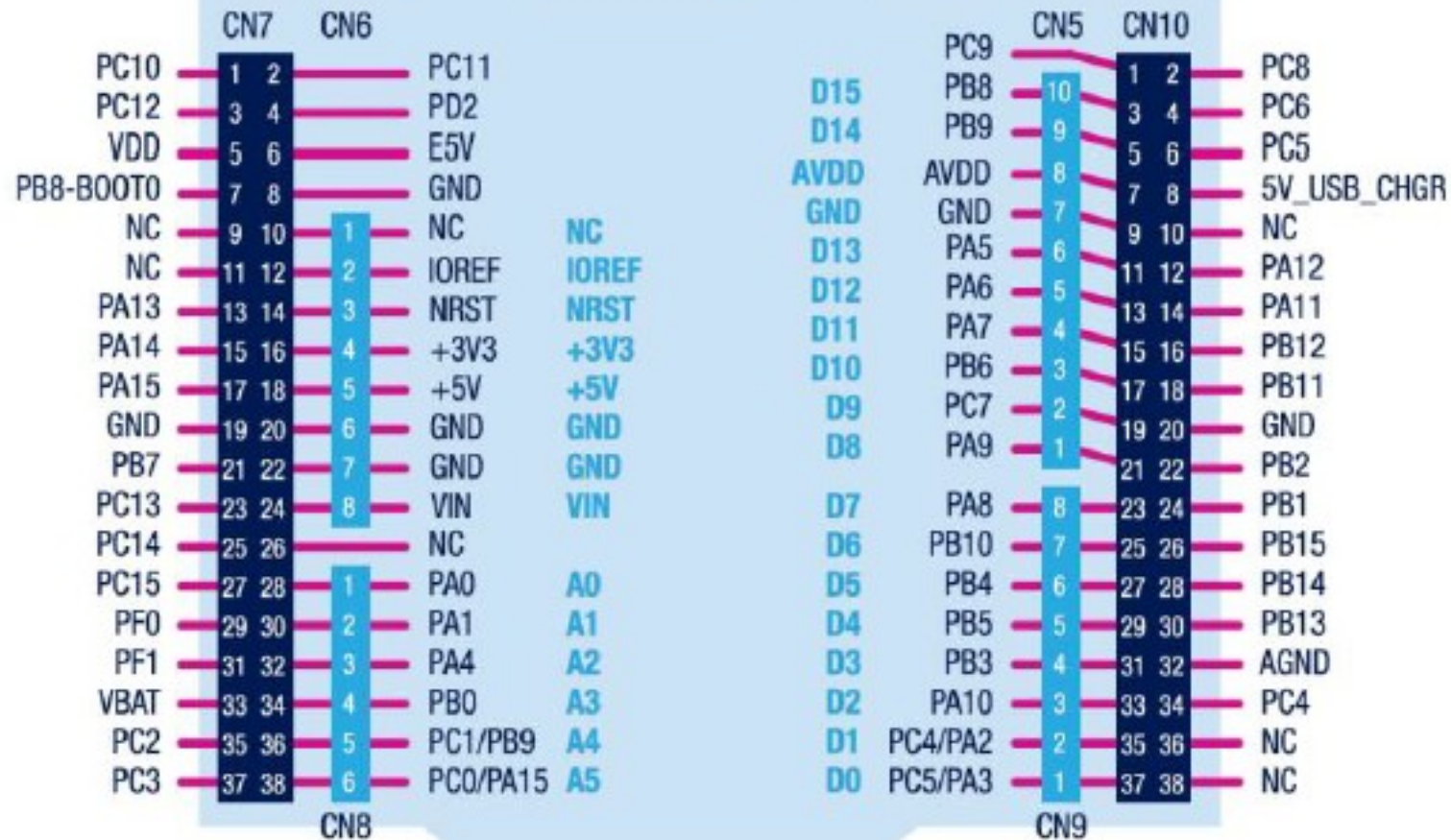


Преко конектора CN1 врши се напајање плоче са рачунаром. Изглед плоче са периферијама је приказан на слици 2.



# NUCLEO-G431RB

# NUCLEO-G474RE



Arduino Uno ST morpho





Слика 4. STM32CubeMX



**IAR Embedded Workbench**

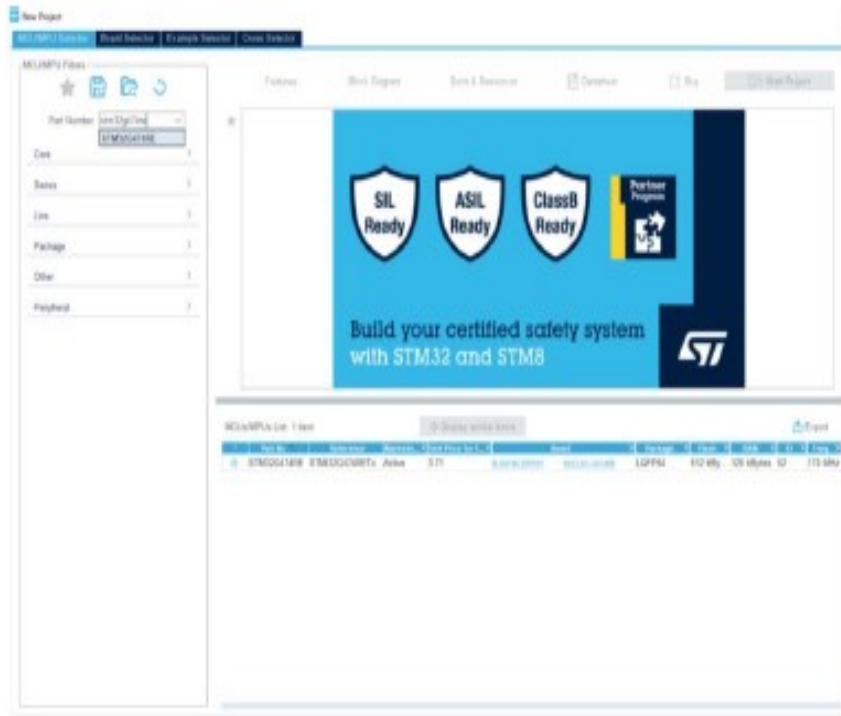
Слика 5. IAR Embedded Workbench IDE

- EWARM – IAR,
- MDK-ARM – Keil,
- SW4STM32 – Eclipse,
- STM32CubeIDE – интегрисано развојно окружење за STM32,
- Makefile – Visual Studio Code,
- Other Toolchains (GPDSC) – остали алати.

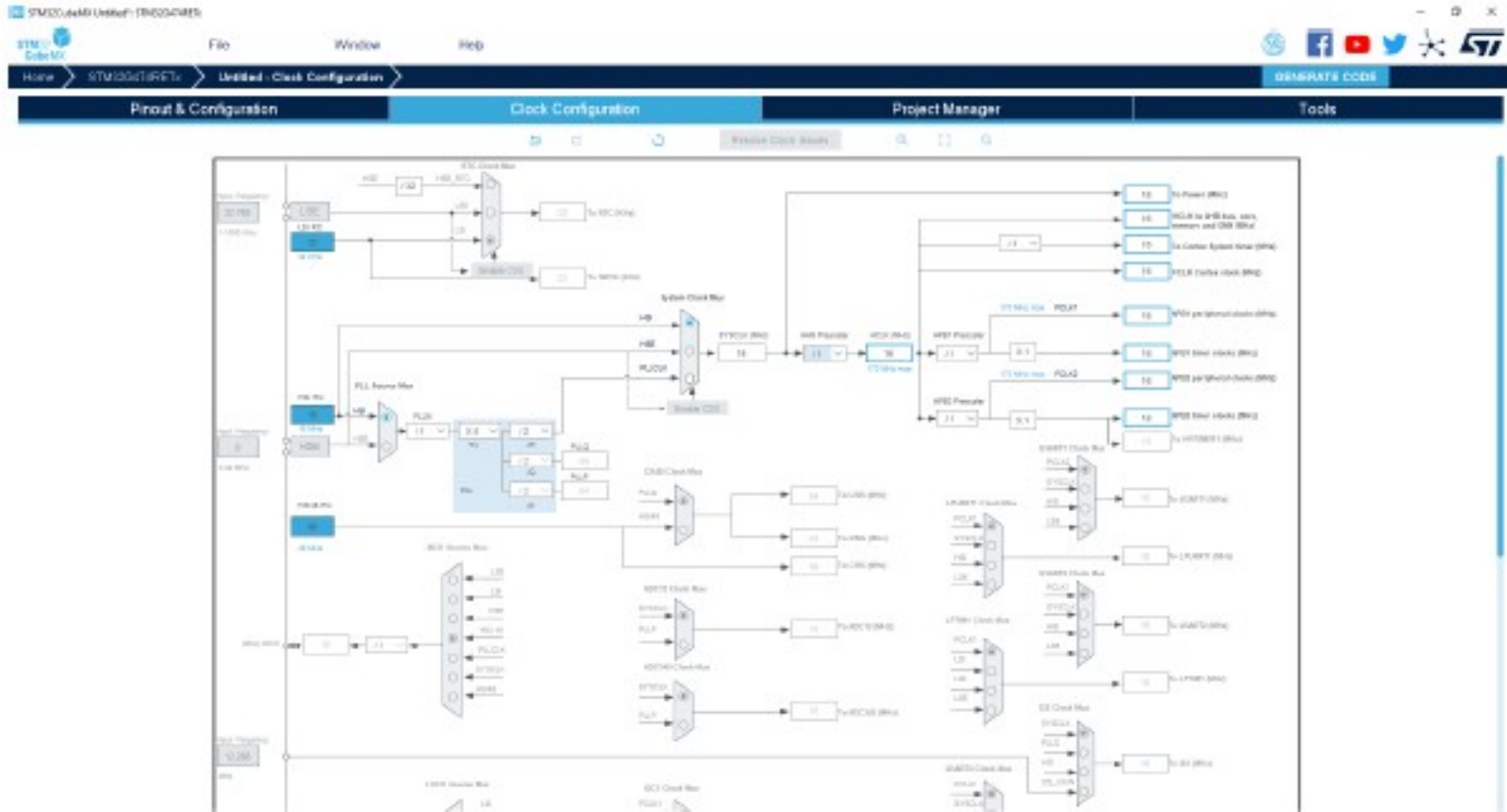
# ST-LINK V2 programator



# Programiranje: Konfiguracija, odabir mikrokontrolera



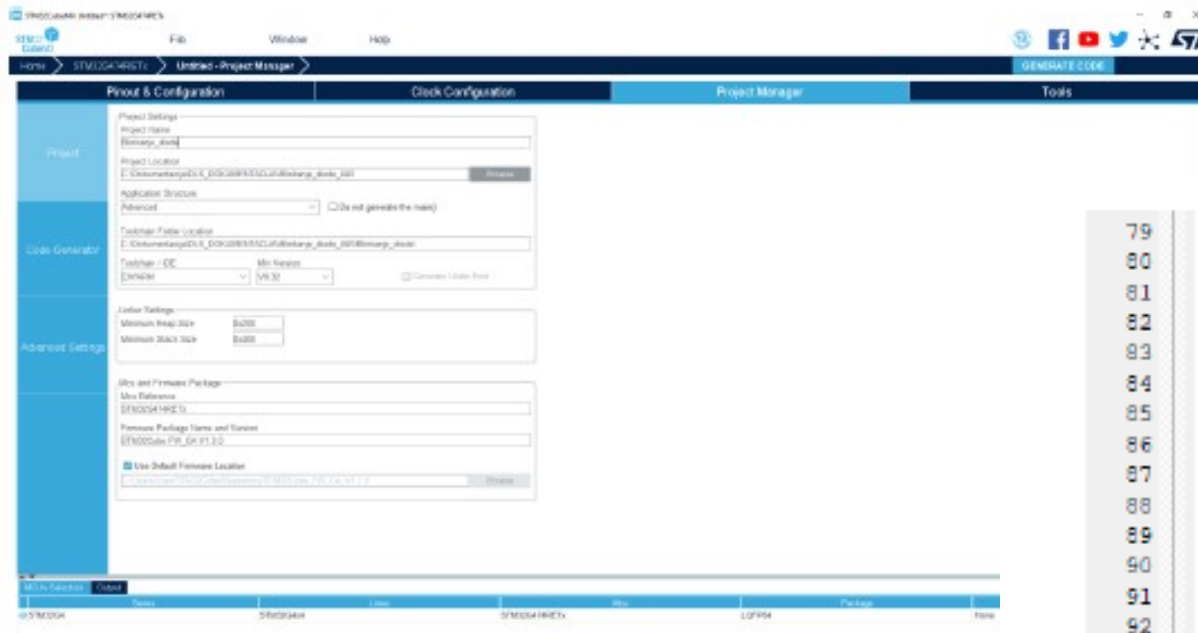
# Konfiguracija takta



Aleksandar Peulić



# Izbor radnog okruženja, generisanje koda



```
79  /* Configure the system clock */
80  SystemClock_Config();
81
82  /* USER CODE BEGIN SysInit */
83
84  /* USER CODE END SysInit */
85
86  /* Initialize all configured peripherals */
87  MX_GPIO_Init();
88  /* USER CODE BEGIN 2 */
89
90  /* USER CODE END 2 */
91
92  /* Infinite loop */
93  /* USER CODE BEGIN WHILE */
94  while (1)
95  {
96      /* USER CODE END WHILE */
97      HAL_GPIO_TogglePin(LED_GPIO_Port, LED_Pin);
98      HAL_Delay(1000);
99      /* USER CODE BEGIN 3 */
100 }
101 /* USER CODE END 3 */
102 }
103
```

# Proteus 8 simulacija

UNTITLED - Proteus 8 Professional - Home Page

File System Help

Home Page X

## PROTEUS DESIGN SUITE 8.6

### Getting Started

- Schematic Capture
- PCB Layout
- Simulation
- Migration Guide

### Help

- Help Home
- Schematic Capture
- PCB Layout
- Simulation

### About

© Labcenter Electronics 1989-2017  
Release 8.6 SP2 (Build 23525) with Advanced Simulation  
[www.labcenter.com](http://www.labcenter.com)

Registered To:  
Grassington North Yorkshire  
Labcenter Electronics Ltd  
Customer Number: 01-75675-344  
Network Licence Subscription Expires: 01/01/2031

Free Memory: 1,574 MB  
Windows 7 SP1 (x64) v6.01, Build 7601

### Start

[Open Project](#) [New Project](#) [New Flowchart](#) [Open Sample](#)

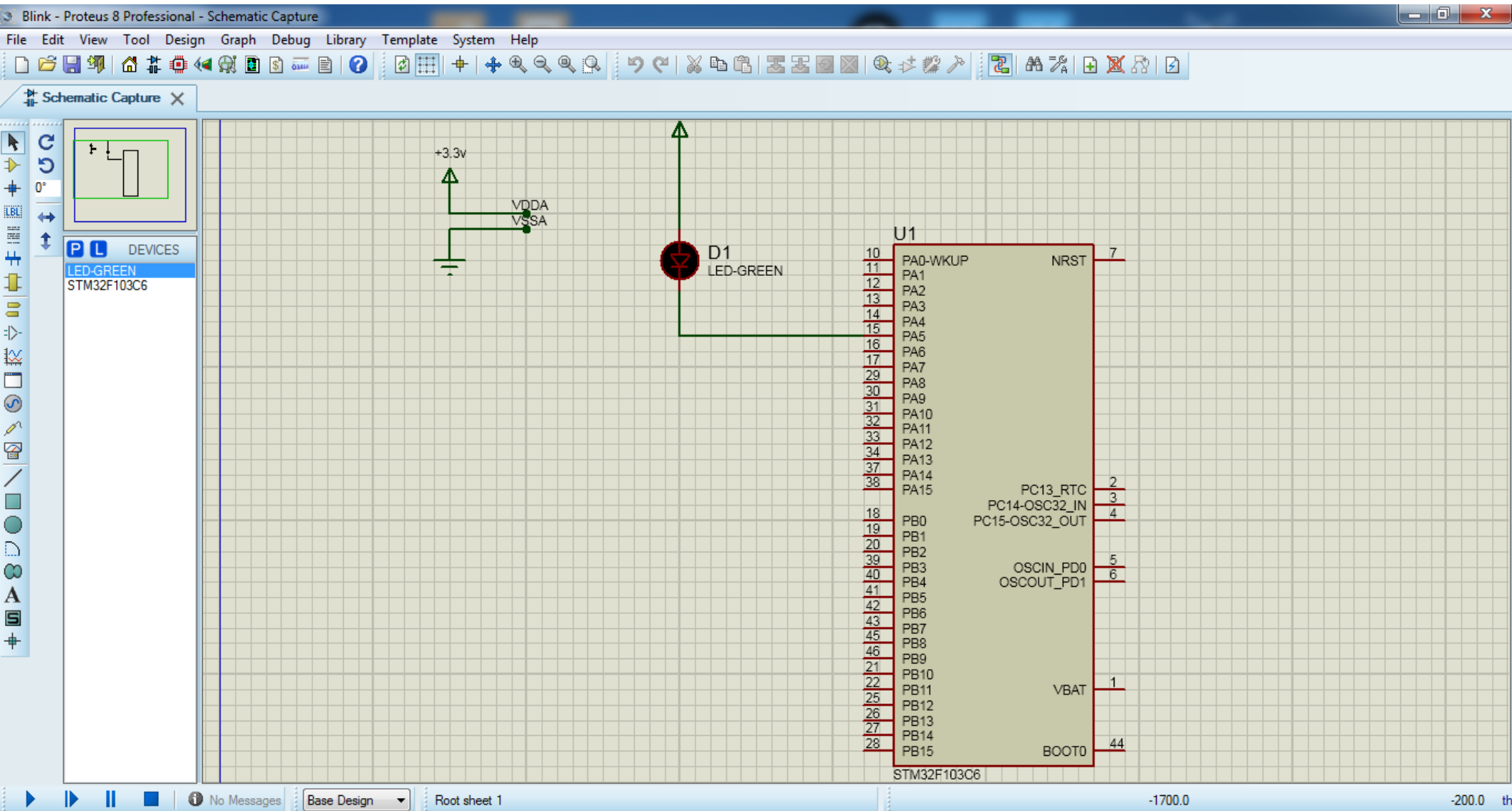
#### Recent Projects

### News

#### Proteus Design Suite Professional

##### New Version Available

| Description                                                | Release Date | USC Valid |                          |
|------------------------------------------------------------|--------------|-----------|--------------------------|
| <a href="#">Proteus Professional 8.13 [8.13.31525]</a>     | 03/09/2021   | Yes       | <a href="#">Download</a> |
| <a href="#">Proteus Professional 8.12 SP2 [8.12.31155]</a> | 17/06/2021   | Yes       | <a href="#">Download</a> |
| <a href="#">Proteus Professional 8.11 SP1 [8.11.30228]</a> | 03/11/2020   | Yes       | <a href="#">Download</a> |
| <a href="#">Proteus Professional 8.10 SP3 [8.10.29560]</a> | 18/05/2020   | Yes       | <a href="#">Download</a> |
| <a href="#">Update check completed 8.9.28501</a>           | 05/09/2019   | Yes       | <a href="#">Download</a> |



Aleksandar Peulić