

***NobleProg***



# Mikrokontrolery - wprowadzenie

Grzegorz Mazur



## Inteligentne urządzenia

- Współcześnie większość urządzeń elektrycznych zawiera komputery sterujące ich działaniem
  - radia/TV
  - Klimatyzatory, pralki, kuchenki, drobny sprzęt kuchenny
  - ...
- Sterowanie komputerowe jest obecnie tańsze i prostsze w realizacji, niż tradycyjne sterowanie analogowe przy użyciu dedykowanych układów sterujących



## Komputery wbudowane

- Przeznaczone do sterowania urządzeniami
- Ograniczony, prosty interfejs użytkownika
- Zamknięte oprogramowanie – użytkownik nie uruchamia programów
- Niski koszt
- Zestaw modułów peryferyjnych zgodny z zakładanym zastosowaniem
  - np. sterowanie oświetleniem, silnikami itp.



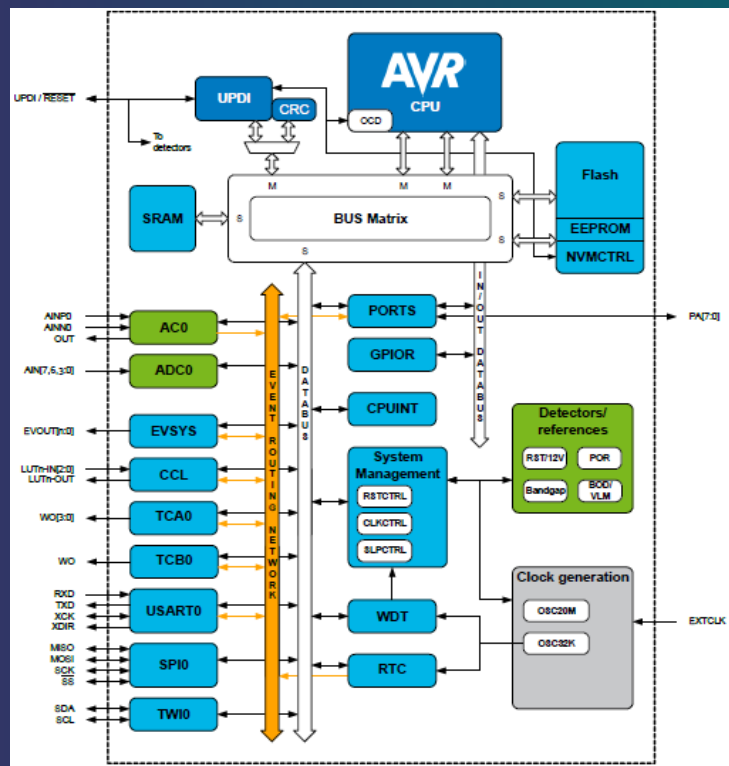
# Mikrokontroler

- Prosty, kompletny komputer zrealizowany w postaci pojedynczego układu scalonego, dostosowany do pracy jako sterownik urządzenia
- Zawiera:
  - Procesor
  - Pamięci – nieulotne (ROM), ulotne (RAM)
  - Sterowniki urządzeń zewnętrznych – bitowe wejście-wyjście, timery, interfejsy komunikacyjne, bloki analogowo-cyfrowe itp.
  - Blok inicjowania i generowania sygnałów synchronizujących

# μC Przykład małego mikrokontrolera – ATtiny402

- Procesor 8-bitowy, częstotliwość pracy do 20 MHz,
- Pamięci: 4 KiB ROM, 256 B RAM
- Moduły peryferyjne: GPIO, timery, ADC, UART, SPI, I2C, ...
- Zastosowania: sterowanie oświetleniem, nadajnik lub odbiornik zdalnego sterowania, otwieranie drzwi itp.
- Obudowa: 8 wyprowadzeń; 2 zasilania + 6 wejść/wyjść
- Cena: 0.35 USD @10 szt. (przed kryzysem 2021)

## ATtiny402



- Matryca szyn – zapewnia wiele równocześnie działających połączeń pomiędzy składnikami uC



## Przykład rozbudowanego mikrokontrolera – STM32L4Rx

- 32-bitowy rdzeń prpcesorowy ARM Cortex-M4, do 120 MHz,
- Pamięci: 2 MiB ROM, 640 KiB RAM
- Moduły peryferyjne: GPIO, timery, USART, I2C, SPI, QSPI, ADC, DAC i wiele innych
- Zastosowania: smart watch/inteligentne opaski, sterowanie urządzeniami z graficznym interfejsem użytkownika, sterowanie głosem, lokalizacja źródeł dźwięku itp.
- Cena: 9 USD @10 szt. (przed kryzysem 2021)





## Pamięci nieulotne

- ROM – Read-only memory – pamięć stała
  - Wyprodukowana z określoną, niemodyfikowalną zawartością
  - Współcześnie pamięci ROM są na ogół realizowane jako pamięci jednokrotnie lub wielokrotnie zapisywalne, zapisywane przez producenta przy końcu procesu produkcyjnego wraz z blokadą możliwości dalszej modyfikacji zawartości
- PROM – Programmable ROM/OTP ROM – pamięć stała jednokrotnie zapisywalna
  - Dostarczana jako czysta (zwykle same jedynki), może być jednokrotnie zapisana przy użyciu dedykowanego programatora, poza układem docelowym



## Pamięci nieulotne – EPROM

- EPROM (UV-Erasable PROM) – pamięć kasowana światłem ultrafioletowym; 1970..1990
  - Dostarczana jako pusta (zwykle same jedyńki), programowane przez użytkownika/producenta urządzenia przy użyciu dedykowanego programatora
  - Może być skasowana wyłącznie w całości przy użyciu światła UV
  - Obudowa ceramiczna z oknem kwarcowym nad strukturą półprzewodnikową
  - Wersje układów w obudowie bez okna mogą być zapisane tylko jeden raz, bez możliwości skasowania (OTP – one-time programmable)
  - Oznaczenia typów: 27xxx, 27Cxxx
  - Programowanie przy użyciu napięcia 9..25 V
  - Trwałość: zwykle do 100 kasowań



## Pamięci nieulotne - EEPROM

- EEPROM – Electrically-Erasable PROM – pamięć nieulotna kasowana elektrycznie
  - Może być zapisywana i kasowana w układzie docelowym
  - Kasowanie/modyfikacja pojedynczych bajtów lub niewielkich bloków
  - Operacja kasowania i zapisu może zajmować 1..20 ms, w zależności od typu układu
  - Może być zawarta w strukturze uC lub mieć postać układu scalonego, zwykle z interfejsem równoległym lub szeregowym (SPI, I2C)
  - Trwałość: zwykle 100 tys. .. 1 mln kasowań
- Flash EEPROM
  - Podobna do EEPROM, ale kasowaniu podlega blok zwany stroną
    - Rozmiar strony: 128 B..128 KiB, w zależności od technologii



## Pamięci nieulotne – Flash EEPROM

- Pamięć EEPROM z kasowaniem wyłącznie bloków (stron)
- Dwie odmiany o odmiennej charakterystyce:
  - NOR – do 0.5 GiB, rozmiar strony typ. 128 B.. 4 KiB, zapis pojedynczych bajtów lub słów
    - Dostępna w postaci układów z interfejsem równoległym lub szeregowym lub jako blok funkcjonalny mikrokontrolerów
    - Używana do przechowywania programów i danych (stałych, parametrów konfiguracyjnych) w mikrokontrolerach
  - NAND – pojemność wielu GiB, blok kasowalny 32..128 KiB, blok zapisywalny 512 B..4 KiB
    - Zastosowania: karty pamięci, pendrive, SSD, pamięć masowa w smartfonach i tabletach



## Nowsze technologie pamięci nieulotnych

- Nowoczesne pamięci nieulotne nie wymagają dostarczania wysokich energii przy modyfikacji zawartości
  - Szybki zapis (równie szybki, jak odczyt)
- FRAM (ferroelectric RAM)
  - Używana jako główna pamięć w mikrokontrolerach TI MSP430FR, do kilkudziesięciu KiB
  - Dostępna w postaci układów z interfejsem I2C lub SPI
- MRAM (magnetoresistive RAM)
  - Układy o pojemnościach do 16 Mib



## Programowanie modułów peryferyjnych

- Moduły peryferyjne współczesnych mikrokontrolerów zawierają wiele rejestrów (danych, sterujących, stanu)
- W mikrokontrolerze często występuje kilka modułów tego samego typu
- Na poziomie języka C moduły są widoczne jako struktury
  - struktury są zdefiniowane w plikach nagłówkowych dostarczanych przez producenta  $\mu C$
  - Poszczególne rejestry są polami struktur
  - Struktura reprezentująca instancje modułu jest dostępna poprzez stałą wskaźnikową, zdefiniowaną w pliku nagłówkowym  $\mu C$
  - Przykłady:
    - GPIOA->IDR – rejestra danych wejściowych portu A GPIO
    - USART2->CR1 – rejestr sterujący modułu USART2

Wprowa...  
• Pliki nagłówkowe zawierają również definicje bitów i pól, np.

USART CR1 UE



## Taktowanie $\mu C$

- Poszczególne zastosowania  $\mu C$  narzucają różne wymagania co do częstotliwości i precyzji taktowania układu.
- Mikrokontroler może korzystać z wbudowanego generatora przebiegu synchronizującego o małej precyzji lub z zewnętrznego, dokładniejszego wzorca częstotliwości
- W konstrukcji współczesnych mikrokontrolerów przyjmuje się, że  $\mu C$  zawsze musi poprawnie rozpocząć pracę
  - Po zainicjowaniu korzysta z wewnętrznego generatora o gwarantowanym działaniu
  - Bezpośrednio po rozpoczęciu działania oprogramowanie może przełączyć źródło taktowania