

Mikroprocesorové a vestavěné systémy (IMP)

<http://www.fit.vut.cz/study/course/230998/>

Přednáška na téma

Vybrané aspekty programování vestavných aplikací pro ARM[®] v jazyce C

Josef Strnadel



Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k programování

Prostředky implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

- (1) **ACLE: ARM[®] C Language Extensions** (<https://developer.arm.com/architectures/system-architectures/software-standards/acle>)
- (2) **CMSIS: Cortex Microcontroller System Interface Standard** (www.arm.com/cmsis)
- (3) **MISRA: Motor Industry Software Reliability Association** (www.misra.org.uk)
- (4) **KDS_IDE: Kinetis Design Studio Integrated Development Environment (IDE)** (http://www.nxp.com/products/software-and-tools/software-development-tools/kinetis-design-studio-integrated-development-environment-ide:KDS_IDE?fsrch=1&sr=1&pageNum=1)
- (5) **KDSUG: Kinetis Design Studio – User's Guide** (<http://cache.nxp.com/docs/en/user-guide/KDSUG.pdf>)
- (6) **KINETIS-SDK: Software Development Kit for Kinetis MCUs** (http://www.nxp.com/products/reference-designs/software-development-kit-for-kinetis-mcus:KINETIS-SDK?tab=Documentation_Tab)
- (7) **MCUXpresso Software and Tools for ARM[®] Cortex[®] -M cores** (<https://www.nxp.com/support/developer-resources/run-time-software/mcuxpresso-software-and-tools:MCUXPRESSO>)
- (8) **Mbed** (<https://www.mbed.com/>)

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Štrnadel

Normy/Standardy

2

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

ACLE

ARM C Language Extensions

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

3

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

...specifikuje **rozšíření jazyka** a **prvky**, které lze implementovat do překladačů C/C++ s cílem umožnit programátorům co nejlépe využít možností ARM; mj. **zahrnuje**:

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

4

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

...specifikuje **rozšíření jazyka** a **prvky**, které lze implementovat do překladačů C/C++ s cílem umožnit programátorům co nejlépe využít možností ARM; mj. **zahrnuje**:

- jména pro části architektur a CPU,

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

4

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

...specifikuje **rozšíření jazyka** a **prvky**, které lze implementovat do překladačů C/C++ s cílem umožnit programátorům co nejlépe využít možností ARM; mj. **zahrnuje:**

- ▶ jména pro části architektur a CPU,
- ▶ předdefinovaná makra pro ověření dostupné funkcionality na cílové architektuře (např. přítomnost FPU či NEON),

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

4

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

...specifikuje **rozšíření jazyka** a **prvky**, které lze implementovat do překladačů C/C++ s cílem umožnit programátorům co nejlépe využít možností ARM; mj. **zahrnuje:**

- ▶ jména pro části architektur a CPU,
- ▶ předdefinovaná makra pro ověření dostupné funkcionality na cílové architektuře (např. přítomnost FPU či NEON),
- ▶ funkce usnadňující programování aplikací,

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

4

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

...specifikuje **rozšíření jazyka** a **prvky**, které lze implementovat do překladačů C/C++ s cílem umožnit programátorům co nejlépe využít možností ARM; mj. **zahrnuje:**

- ▶ jména pro části architektur a CPU,
- ▶ předdefinovaná makra pro ověření dostupné funkcionality na cílové architektuře (např. přítomnost FPU či NEON),
- ▶ funkce usnadňující programování aplikací,
- ▶ atributy aplikovatelné na funkce, data a další entity.

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

4

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

...specifikuje **rozšíření jazyka** a **prvky**, které lze implementovat do překladačů C/C++ s cílem umožnit programátorům co nejlépe využít možností ARM; mj. **zahrnuje**:

- ▶ jména pro části architektury a CPU,
- ▶ předdefinovaná makra pro ověření dostupné funkcionality na cílové architektuře (např. přítomnost FPU či NEON),
- ▶ funkce usnadňující programování aplikací,
- ▶ atributy aplikovatelné na funkce, data a další entity.

...**není to HAL** (Hardware Abstraction Layer) ani **nedefinuje** způsob řízení a externí chování překladačů pomocí parametrů apod.

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

4

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

► předdefinovaná makra

- začínají prefixem `__ARM_`, např. `__ARM_ARCH`,
`__ARM_ACLE`, `__ARM_NEON`

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

5

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

► předdefinovaná makra

- začínají prefixem `__ARM_`, např. `__ARM_ARCH`,
`__ARM_ACLE`, `__ARM_NEON`

► základní **deklarace a definice**, hlavičkové soubory

- viz `<arm_acle.h>` popř. `<arm_neon.h>` pro
implementace na bázi NEON

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

► předdefinovaná makra

- začínají prefixem `__ARM_`, např. `__ARM_ARCH`, `__ARM_ACLE`, `__ARM_NEON`

► základní **deklarace a definice**, **hlavičkové soubory**

- viz `<arm_acle.h>` popř. `<arm_neon.h>` pro implementace na bázi NEON

► základní **datové typy**

- `char` je beznam., znam. `int` je implementačně závislé, `__fp16` pro half-precision (16-bit) floating-point (test HW podpory přes `__ARM_FP`, dále viz podpora formátu IEEE `__ARM_FP16_FORMAT_IEEE` nebo ARM (rozšíření rozsahu odstraněním podpory pro ∞ a NaN) `__ARM_FP16_FORMAT_ALTERNATIVE`)

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

► předdefinovaná makra

- začínají prefixem `__ARM_`, např. `__ARM_ARCH`,
`__ARM_ACLE`, `__ARM_NEON`

► základní **deklarace a definice**, **hlavičkové soubory**

- viz `<arm_acle.h>` popř. `<arm_neon.h>` pro
implementace na bázi NEON

► základní **datové typy**

- `char` je beznam., znam. `int` je implementačně
závislé, `__fp16` pro half-precision (16-bit)
floating-point (test HW podpory přes `__ARM_FP`, dále
viz podpora formátu IEEE `__ARM_FP16_FORMAT_IEEE`
nebo ARM (rozšíření rozsahu odstraněním podpory pro
 ∞ a NaN) `__ARM_FP16_FORMAT_ALTERNATIVE`)

► **atributy**

- pro anotaci typů, objektů a funkcí dodatečnou
informací, např. zarovnání (alignment)

► ...

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně

ZS ak. r. 2022/23

© 2022 Josef Strnadel

- **test** `#if __ARM_ACLE == 201` odpovídá testu **na ACLE 2.1** dle $100 * \text{major_version} + \text{minor_version}$

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

- ▶ **test** `#if __ARM_ACLE == 201` odpovídá testu na **ACLE 2.1** dle $100 * \text{major_version} + \text{minor_version}$
- ▶ `#if __ARM_ARCH >= 801` odpovídá testu na **min. ARMv8.1** dle $X * 100 + Y$ pro ARMvX.Y a $X=8, Y=1$

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

- ▶ **test** `#if __ARM_ACLE == 201` odpovídá testu na **ACLE 2.1** dle $100 * \text{major_version} + \text{minor_version}$
- ▶ `#if __ARM_ARCH >= 801` odpovídá testu na **min. ARMv8.1** dle $X * 100 + Y$ pro ARMvX.Y a $X=8, Y=1$
- ▶ `#if __ARM_ARCH_ISA_ARM = 1` pokud je podporována **instrukční sada ARM**

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

- ▶ **test** `#if __ARM_ACLE == 201` odpovídá testu na **ACLE 2.1** dle $100 * \text{major_version} + \text{minor_version}$
- ▶ `#if __ARM_ARCH >= 801` odpovídá testu na **min. ARMv8.1** dle $X * 100 + Y$ pro ARMvX.Y a $X=8, Y=1$
- ▶ `#if __ARM_ARCH_ISA_ARM = 1` pokud je podporována **instrukční sada ARM**
- ▶ `#if __ARM_ARCH_ISA_THUMB = 1` je-li podporována instrukční sada **Thumb** resp. 2 pro **Thumb-2**

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programováníProstředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

- ▶ `test #if __ARM_ACLE == 201` odpovídá testu na **ACLE 2.1** dle $100 * \text{major_version} + \text{minor_version}$
- ▶ `#if __ARM_ARCH >= 801` odpovídá testu na **min. ARMv8.1** dle $X * 100 + Y$ pro ARMvX.Y a $X=8, Y=1$
- ▶ `#if __ARM_ARCH_ISA_ARM = 1` pokud je podporována **instrukční sada ARM**
- ▶ `#if __ARM_ARCH_ISA_THUMB = 1` je-li podporována instrukční sada **Thumb** resp. 2 pro **Thumb-2**
- ▶ `#if __ARM_BIG_ENDIAN = 1` signalizuje **big-endian**, 0 **little-endian** způsob s/ukládání dat

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

- ▶ `test #if __ARM_ACLE == 201` odpovídá testu na **ACLE 2.1** dle $100 * \text{major_version} + \text{minor_version}$
- ▶ `#if __ARM_ARCH >= 801` odpovídá testu na **min. ARMv8.1** dle $X * 100 + Y$ pro ARMvX.Y a $X=8, Y=1$
- ▶ `#if __ARM_ARCH_ISA_ARM = 1` pokud je podporována **instrukční sada ARM**
- ▶ `#if __ARM_ARCH_ISA_THUMB = 1` je-li podporována instrukční sada **Thumb** resp. 2 pro **Thumb-2**
- ▶ `#if __ARM_BIG_ENDIAN = 1` signalizuje **big-endian**, 0 **little-endian** způsob s/ukládání dat
- ▶ `__ARM_FEATURE_UNALIGNED ,`
`__ARM_FEATURE_LDREX , __ARM_FEATURE_DSP ,`
`__ARM_FEATURE_IDIV , __ARM_FEATURE_CRYPT0 ,`
`__ARM_FEATURE_CRC32 , __ARM_PCS`
- ▶ ...

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programováníProstředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

- **atribut** lze uvodit např. prefixem `__attribute__`

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

7

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

- **atribut** lze uvodit např. prefixem `__attribute__`
 - Př. `A int B x C, D y E; :` pro GCC atribut A platí pro `x i y`, zatímco `B, C (D, E)` platí jen pro `x (y)`
 - `__attribute__((pcs("aapcs")))` ,
`__attribute__((pcs("aapcs-vfp")))` ,
`__attribute__((target("arm")))` ,
`__attribute__((target("thumb")))` ,
 - `__attribute__((aligned(N)))`

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

- **atribut** lze uvodit např. prefixem `__attribute__`
 - Př. `A int B x C, D y E; :` pro GCC atribut A platí pro `x i y`, zatímco B, C (D, E) platí jen pro `x (y)`
 - `__attribute__((pcs("aapcs")))` ,
`__attribute__((pcs("aapcs-vfp")))` ,
`__attribute__((target("arm")))` ,
`__attribute__((target("thumb")))` ,
 - `__attribute__((aligned(N)))`

```
struct S x __attribute__((aligned(16))); /* ACLE */
struct S _Alignas(16) x;                /* C11 */

#include <stdalign.h>                    /* C11 (alt.)* */
struct S alignas(16) x;
struct S alignas(16) x;                 /* C++11 */
```

► ...

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

► ...pro **bariéry**

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

8

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

► ...pro **bariéry**

- `__dmb(/* constant */ unsigned int);` generuje instrukci pro DMB (Data Memory Barrier)

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

8

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

► ...pro **bariéry**

- `__dmb(/* constant */ unsigned int);` generuje instrukci pro DMB (Data Memory Barrier)
- `__dsb(/* constant */ unsigned int);` generuje instrukci pro DSB (Data Synchronization Barrier)

IMP - programování
vestavěných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

8

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programováníProstředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

► ...pro **bariéry**

- `__dmb(/* constant */ unsigned int);` generuje instrukci pro DMB (Data Memory Barrier)
- `__dsb(/* constant */ unsigned int);` generuje instrukci pro DSB (Data Synchronization Barrier)
- `__isb(/* constant */ unsigned int);` generuje instrukci pro ISB (Instruction Synchronization Barrier)

► ...pro **další využití**

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

8

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

► ...pro **bariéry**

- `__dmb(/* constant */ unsigned int);` generuje instrukci pro DMB (Data Memory Barrier)
- `__dsb(/* constant */ unsigned int);` generuje instrukci pro DSB (Data Synchronization Barrier)
- `__isb(/* constant */ unsigned int);` generuje instrukci pro ISB (Instruction Synchronization Barrier)

► ...pro **další využití**

- `void __wfi(void);` gen. instr. wfi (Wait For Interrupt), `void __wfe(void);` gen. instr. wfe (Wait For Event), `void __sev(void);` gen. instr. sev (Set a global Event), `void __yield(void);` gen. instr. yield, `__dbg(/* constant */ unsigned int);` gen. instr. dbg, `void __nop(void);` gen. instr. nop,

► ...

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

8

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

► `uint32_t __arm_rsr(const char
*special_register);`

```
unsigned int midr =  
__arm_rsr("cp15:0:c0:c0:0");
```

► `void* __arm_rsrp(const char
*special_register);`

► `void* __arm_wsr(const char
*special_register, uint32_t value);`

► `void* __arm_wsrp(const char
*special_register, const void *value);`

► ...

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

9

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr



Cortex Microcontroller Software Interface Standard

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

10

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

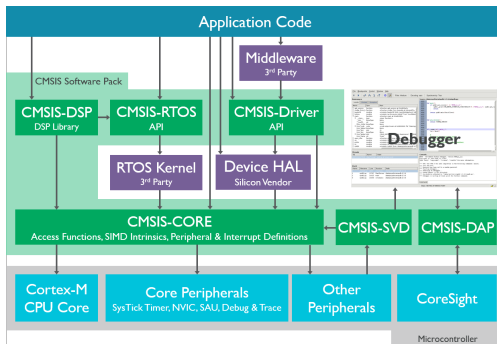
Mbed

Další

Závěr

... **abstrakční vrstva** pro zařízení založená na Cortex(-M);
mj. **definuje**:

Komponenty:



IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

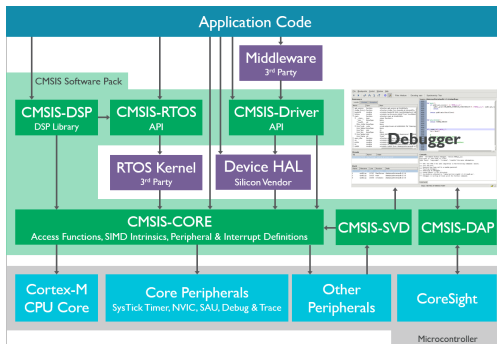
Další

Závěr

... **abstrakční vrstva** pro zařízení založená na Cortex(-M);
mj. **definuje**:

- ▶ jednotný způsob v přístupu (k registrům periférií, vektorům výjimek, ...)

Komponenty:



IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

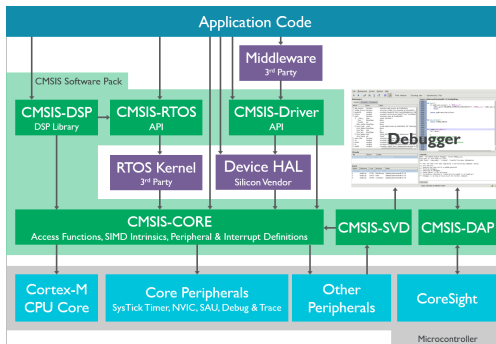
IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23

© 2022 Josef Strnadel

... **abstrakční vrstva** pro zařízení založená na Cortex(-M);
mj. **definuje**:

- ▶ jednotný způsob v přístupu (k registrům periférií, vektorům výjimek, ...)
- ▶ jména (registrů periférií, vektorů výjimek, ...)

Komponenty:



IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

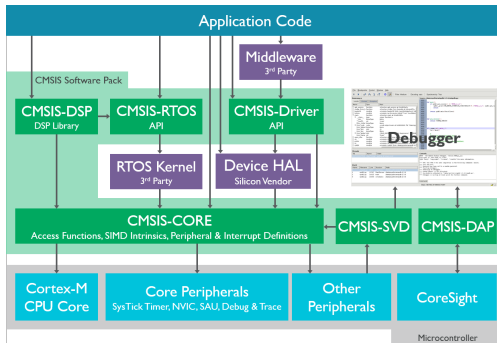
IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23

© 2022 Josef Strnadel

... **abstrakční vrstva** pro zařízení založená na Cortex(-M);
mj. **definuje**:

- ▶ jednotný způsob v přístupu (k registrům periférií, vektorům výjimek, ...)
- ▶ jména (registrů periférií, vektorů výjimek, ...)
- ▶ rozhraní pro ladění aplikací nezávislé na zařízení

Komponenty:



IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23

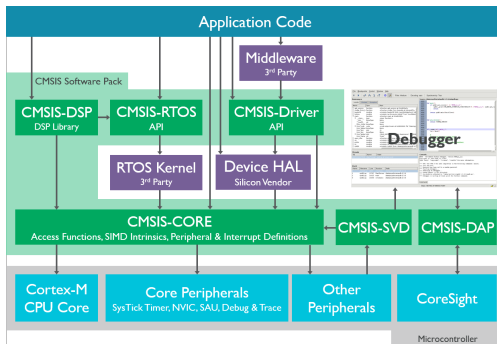
© 2022 Josef Strnadel

... **abstrakční vrstva** pro zařízení založená na Cortex(-M);
mj. **definuje**:

- ▶ jednotný způsob v přístupu (k registrům periférií, vektorům výjimek, ...)
- ▶ jména (registrů periférií, vektorů výjimek, ...)
- ▶ rozhraní pro ladění aplikací nezávislé na zařízení

Komponenty:

- ▶ CMSIS-**Core**
- ▶ CMSIS-**Driver**
- ▶ CMSIS-**RTOS**
- ▶ CMSIS-**SVD**



IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23

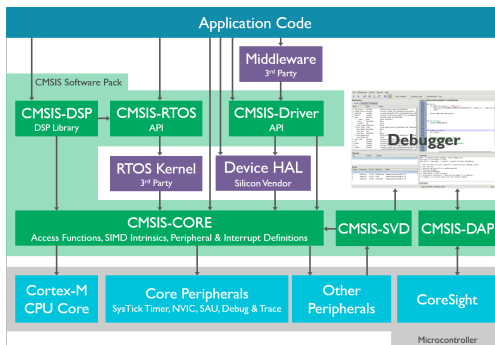
© 2022 Josef Strnadel

... **abstrakční vrstva** pro zařízení založená na Cortex(-M);
mj. **definuje**:

- ▶ jednotný způsob v přístupu (k registrům periférií, vektorům výjimek, ...)
- ▶ jména (registrů periférií, vektorů výjimek, ...)
- ▶ rozhraní pro ladění aplikací nezávislé na zařízení

Komponenty:

- ▶ CMSIS-**Core**
- ▶ CMSIS-**Driver**
- ▶ CMSIS-**RTOS**
- ▶ CMSIS-**SVD**
- ▶ CMSIS-**DSP**
- ▶ CMSIS-**Pack**
- ▶ CMSIS-**DAP**



IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

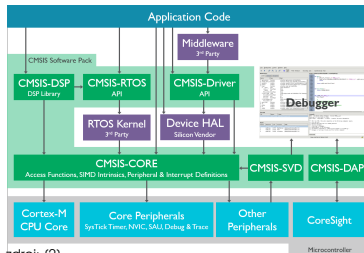
IMP @ FIT VUT v Brně

ZS ak. r. 2022/23

© 2022 Josef Strnadel

... **implementuje** základní run-time systém pro zařízení na bázi Cortex-M a umožňuje uživateli přístup k jádru procesoru a jeho periferiím.

... **definuje**:



zdroj: (2)

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

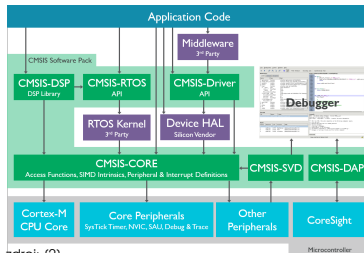
Další

Závěr

... **implementuje** základní run-time systém pro zařízení na bázi Cortex-M a umožňuje uživateli přístup k jádru procesoru a jeho periferiím.

... **definuje:**

- Hardware Abstraction Layer (HAL) pro registry CPU, SysTick, NVIC, System Control Block, MPU, FPU a funkce pro přístup k nim,



zdroj: (2)

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

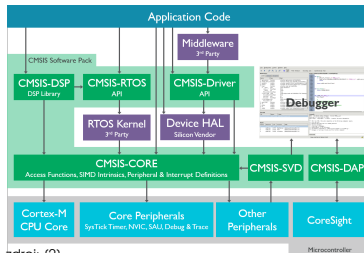
Další

Závěr

... **implementuje** základní run-time systém pro zařízení na bázi Cortex-M a umožňuje uživateli přístup k jádru procesoru a jeho periferiím.

... **definuje**:

- ▶ Hardware Abstraction Layer (HAL) pro registry CPU, SysTick, NVIC, System Control Block, MPU, FPU a funkce pro přístup k nim,
- ▶ názvy systémových výjimek,



zdroj: (2)

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

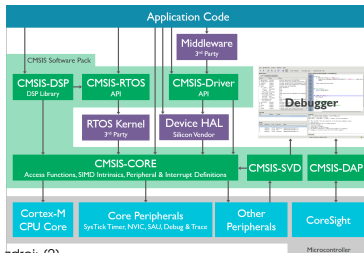
Další

Závěr

... **implementuje** základní run-time systém pro zařízení na bázi Cortex-M a umožňuje uživateli přístup k jádru procesoru a jeho periferiím.

... **definuje**:

- ▶ Hardware Abstraction Layer (HAL) pro registry CPU, SysTick, NVIC, System Control Block, MPU, FPU a funkce pro přístup k nim,
- ▶ názvy systémových výjimek,
- ▶ způsob organizace hlavičkových souborů,



zdroj: (2)

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23

© 2022 Josef Strnadel

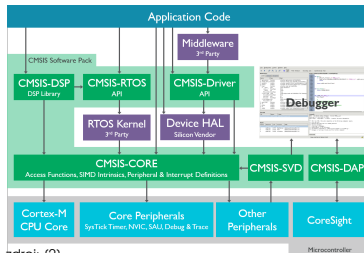
12

57

... **implementuje** základní run-time systém pro zařízení na bázi Cortex-M a umožňuje uživateli přístup k jádru procesoru a jeho periferiím.

... **definuje**:

- ▶ Hardware Abstraction Layer (HAL) pro registry CPU, SysTick, NVIC, System Control Block, MPU, FPU a funkce pro přístup k nim,
- ▶ názvy systémových výjimek,
- ▶ způsob organizace hlavičkových souborů,
- ▶ metody inicializace koncových zařízení, např. funkce SystemInit() pro nastavení hodinového podsystému,



zdroj: (2)

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

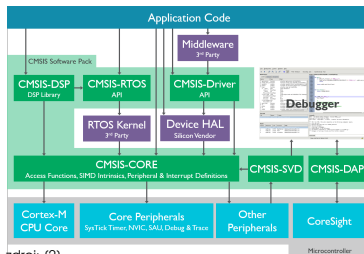
Další

Závěr

... **implementuje** základní run-time systém pro zařízení na bázi Cortex-M a umožňuje uživateli přístup k jádru procesoru a jeho periferiím.

... **definuje**:

- ▶ Hardware Abstraction Layer (HAL) pro registry CPU, SysTick, NVIC, System Control Block, MPU, FPU a funkce pro přístup k nim,
- ▶ názvy systémových výjimek,
- ▶ způsob organizace hlavičkových souborů,
- ▶ metody inicializace koncových zařízení, např. funkce SystemInit() pro nastavení hodinového podsystému,
- ▶ funkce pro generování instrukcí nepřístupných z ISO/IEC C,



zdroj: (2)

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

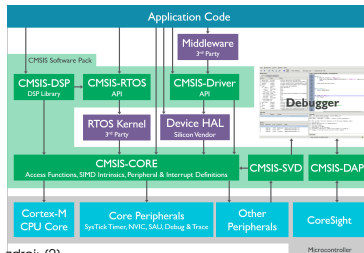
Další

Závěr

... **implementuje** základní run-time systém pro zařízení na bázi Cortex-M a umožňuje uživateli přístup k jádru procesoru a jeho periferiím.

... **definuje**:

- ▶ Hardware Abstraction Layer (HAL) pro registry CPU, SysTick, NVIC, System Control Block, MPU, FPU a funkce pro přístup k nim,
- ▶ názvy systémových výjimek,
- ▶ způsob organizace hlavičkových souborů,
- ▶ metody inicializace koncových zařízení, např. funkce SystemInit() pro nastavení hodinového podsystému,
- ▶ funkce pro generování instrukcí nepřístupných z ISO/IEC C,
- ▶ proměnnou umožňující určit kmitočet sys. hodin a zjednodušit nastavení časovače SysTick.



zdroj: (2)

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně

ZS ak. r. 2022/23

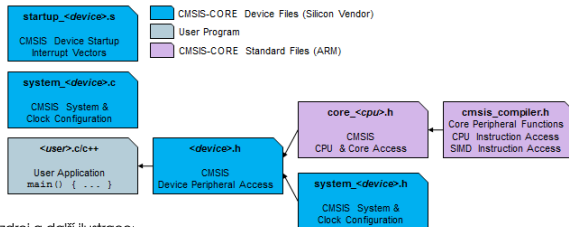
© 2022 Josef Strnadel

12

57

► CMSIS-Core **Device templates**

(Register **names** of the Core Peripherals and names of the Core Exception Vectors. **Functions** to access core peripherals, special CPU instructions and SIMD instructions (for Cortex-M4 and Cortex-M7) Generic **startup** code and system **configuration** code)



zdroj a další ilustrace:

http://arm-software.github.io/CMSIS_5/Core/html/templates_pg.html

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

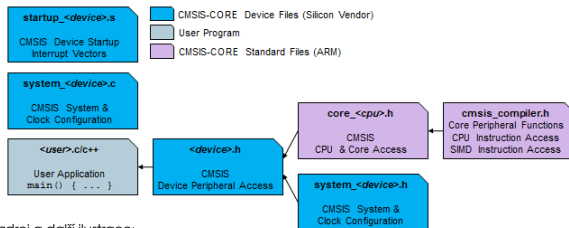
Mbed

Další

Závěr

► CMSIS-Core **Device templates**

(Register **names** of the Core Peripherals and names of the Core Exception Vectors. **Functions** to access core peripherals, special CPU instructions and SIMD instructions (for Cortex-M4 and Cortex-M7) Generic **startup** code and system **configuration** code)



zdroj a další ilustrace:

http://arm-software.github.io/CMSIS_5/Core/html/templates_pg.html

► CMSIS-Core **Processor files**

. \CMSIS\Core\Include (core_cm4.h, core_cm0plus.h)

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně

ZS ak. r. 2022/23

© 2022 Josef Strnadel

Device Header File `<device.h>` obsahuje:

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standards

Informační zdroje

ACLE

14

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

Device Header File <device.h> obsahuje:

► Interrupt Number Definition

```
typedef enum IRQn
{
    /***** Processor Core Exceptions Numbers *****/
    NonMaskableInt_IRQn = -14,
    ...
    SysTick_IRQn = -1,
    /***** Device-Specific Interrupt Numbers *****/
    WAKEUP0_IRQn = 0,
    ...
    EINT0_IRQn = 31,
} IRQn_Type;
```

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

14

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

Device Header File <device.h> obsahuje:

► Interrupt Number Definition

```
typedef enum IRQn
{
    /***** Processor Core Exceptions Numbers *****/
    NonMaskableInt_IRQn = -14,
    ...
    SysTick_IRQn = -1,
    /***** Device-Specific Interrupt Numbers *****/
    WAKEUP0_IRQn = 0,
    ...
    EINT0_IRQn = 31,
} IRQn_Type;
```

► Configuration of the Processor and Core Peripherals

```
#define __CM4_REV 0x0001      /* Core revision r0p1 */
#define __MPU_PRESENT 1      /* MPU present or not */
#define __NVIC_PRIO_BITS 3    /* Number of Bits used for Priority Levels */
#define __Vendor_SysTickConfig 0 /* Set to 1 if different SysTick Config is used */
#define __FPU_PRESENT 1      /* FPU present or not */
...
#include <core_cm4.h>         /* Cortex-M4 processor and core peripherals */
```

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

14

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

Device Header File <device.h> obsahuje:

► Interrupt Number Definition

```
typedef enum IRQn
{
    /***** Processor Core Exceptions Numbers *****/
    NonMaskableInt_IRQn = -14,
    ...
    SysTick_IRQn = -1,
    /***** Device-Specific Interrupt Numbers *****/
    WAKEUP0_IRQn = 0,
    ...
    EINT0_IRQn = 31,
} IRQn_Type;
```

► Configuration of the Processor and Core Peripherals

```
#define __CM4_REV 0x0001      /* Core revision r0p1 */
#define __MPU_PRESENT 1      /* MPU present or not */
#define __NVIC_PRIO_BITS 3    /* Number of Bits used for Priority Levels */
#define __Vendor_SysTickConfig 0 /* Set to 1 if different SysTick Config is used */
#define __FPU_PRESENT 1      /* FPU present or not */
...
#include <core_cm4.h>         /* Cortex-M4 processor and core peripherals */
```

► Device Peripheral Access Layer (pro každou periférii, př. pro TMR)

```
typedef struct
{
    __IOM uint32_t TimerLoad;      /* (@ 0x40000000) TMR Structure */
    __IM uint32_t TimerValue;      /* (@ 0x00000004) Timer Load */
    __IOM uint32_t TimerCounter;   /* (@ 0x00000008) Timer Counter Current Value */
    __IOM uint32_t TimerControl;   /* (@ 0x0000000C) Timer Control */
    ...
} <DeviceAbbreviation>_TMR_TypeDef;
```

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Štrnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

14

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programováníProstředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23

© 2022 Josef Štrnadel

57

Device Header File <device.h> obsahuje:

► Interrupt Number Definition

```
typedef enum IRQn
{
    /***** Processor Core Exceptions Numbers *****/
    NonMaskableInt_IRQn = -14,
    ...
    SysTick_IRQn = -1,
    /***** Device-Specific Interrupt Numbers *****/
    WAKEUP0_IRQn = 0,
    ...
    EINT0_IRQn = 31,
} IRQn_Type;
```

► Configuration of the Processor and Core Peripherals

```
#define __CM4_REV 0x0001      /* Core revision r0p1 */
#define __MPU_PRESENT 1      /* MPU present or not */
#define __NVIC_PRIO_BITS 3    /* Number of Bits used for Priority Levels */
#define __Vendor_SysTickConfig 0 /* Set to 1 if different SysTick Config is used */
#define __FPU_PRESENT 1      /* FPU present or not */
...
#include <core_cm4.h>         /* Cortex-M4 processor and core peripherals */
```

► Device Peripheral Access Layer (pro každou periférii, př. pro TMR)

```
typedef struct
{
    __IOM uint32_t TimerLoad;      /* (@ 0x40000000) TMR Structure */
    __IM uint32_t TimerValue;      /* (@ 0x00000004) Timer Load */
    __IOM uint32_t TimerCounter;   /* (@ 0x00000008) Timer Counter Current Value */
    __IOM uint32_t TimerControl;  /* (@ 0x0000000C) Timer Control */
    ...
} <DeviceAbbreviation>_TMR_TypeDef;
```

► Access Functions for Peripherals (opt.)

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

14

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně

ZS ak. r. 2022/23

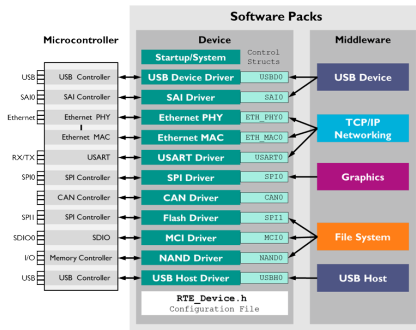
© 2022 Josef Strnadel

57

... **API** sjednocující/popisující rozhraní ovladačů pro řízení základních periférií z middleware vrstvy (stacks) a uživatelské aplikace. Konkrétní implementace bývají rozšířeny o Memory BUS, GPIO, DMA atd.

... Základní **API skupiny**:

- ▶ CAN
- ▶ Ethernet (MAC/PHY)
- ▶ I2C, SPI, USART
- ▶ MCI (SD/MMC)
- ▶ NAND+Flash
- ▶ SAI (Serial audio interface PCM, AC'97, ...)
- ▶ Storage
- ▶ USB (Host, Device)



zdroj: arm-software.github.io/CMSIS_5/Driver/html/

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

(blíže viz / čerpáno z http://arm-software.github.io/CMSIS_5/Driver/html/theoryOperation.html)

- ▶ API **funkce** ovladače jsou přístupné přes strukturu (Access Struct) instance dané periferie; př. pro SPI:

```
ARM_DRIVER_SPI Driver_SPI1; // access functions for SPI1 interface
ARM_DRIVER_SPI Driver_SPI2; // access functions for SPI2 interface
ARM_DRIVER_SPI Driver_SPI3; // access functions for SPI3 interface

typedef struct _ARM_DRIVER_SPI {
    ARM_DRIVER_VERSION      (*GetVersion) (void);
    ARM_SPI_CAPABILITIES    (*GetCapabilities) (void);
    int32_t                  (*Initialize) (ARM_SPI_SignalEvent_t cb_event);
    int32_t                  (*Uninitialize) (void);
    int32_t                  (*PowerControl) (ARM_POWER_STATE state);
    int32_t                  (*Send) (const void *data, uint32_t num);
    int32_t                  (*Receive) (void *data, uint32_t num);
    int32_t                  (*Transfer) (const void *data_out, void *data_in,
                                         uint32_t num);
    uint32_t                 (*GetDataCount) (void);
    int32_t                  (*Control) (uint32_t control, uint32_t arg);
    ARM_SPI_STATUS           (*GetStatus) (void);
} const ARM_DRIVER_SPI;
```

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23

© 2022 Josef Strnadel

16

57

(blíže viz / Čerpáno z http://arm-software.github.io/CMSIS_5/Driver/html/theoryOperation.html)

- **API funkce** ovladače jsou přístupné přes strukturu (Access Struct) instance dané periferie; př. pro SPI:

```
ARM_DRIVER_SPI Driver_SPI1; // access functions for SPI1 interface
ARM_DRIVER_SPI Driver_SPI2; // access functions for SPI2 interface
ARM_DRIVER_SPI Driver_SPI3; // access functions for SPI3 interface

typedef struct _ARM_DRIVER_SPI {
    ARM_DRIVER_VERSION      (*GetVersion) (void);
    ARM_SPI_CAPABILITIES    (*GetCapabilities) (void);
    int32_t                  (*Initialize) (ARM_SPI_SignalEvent_t cb_event);
    int32_t                  (*Uninitialize) (void);
    int32_t                  (*PowerControl) (ARM_POWER_STATE state);
    int32_t                  (*Send) (const void *data, uint32_t num);
    int32_t                  (*Receive) ( void *data, uint32_t num);
    int32_t                  (*Transfer) (const void *data_out, void *data_in,
                                         uint32_t num);
    uint32_t                 (*GetDataCount) (void);
    int32_t                  (*Control) (uint32_t control, uint32_t arg);
    ARM_SPI_STATUS           (*GetStatus) (void);
} const ARM_DRIVER_SPI;
```

- **Tok volání funkcí** ("GetVer. → GetCapab. → Init. → PowerCtrl. → Uninit.")

```
drv->Initialize (...); // Allocate I/O pins
drv->PowerControl (ARM_POWER_FULL); // Power up peripheral, setup IRQ/DMA

drv->PowerControl (ARM_POWER_OFF); // Terminate any pending transfers,
// reset IRQ/DMA, power off peripheral

drv->Uninitialize (...); // Release I/O pins
```

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

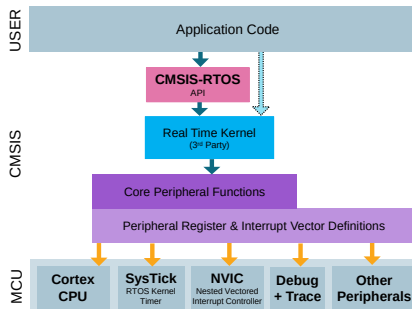
IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23
© 2022 Josef Strnadel

16

57

... **abstrakční vrstva**¹ pro aplikace založené na RTOS –
výchozí API v1 (CMSIS-RTOS RTX), zobecněné **API v2**
(**CMSIS-RTOS 2**)

API v2 mj. **zahrnuje**:



zdroj: (2)

Volitelé rozšíření zahrnují MPU, n-CPU systémy, DMA, deterministické přepínání kontextu, round-robin, zamezení uváznutí či inverzi priorit, snížení latence přerušení pomocí instr. `ldrex`, `strex`...

¹ blíže viz / čerpáno z http://arm-software.github.io/CMSIS_5/RTOS2/html/index.html

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Štrnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23

© 2022 Josef Štrnadel

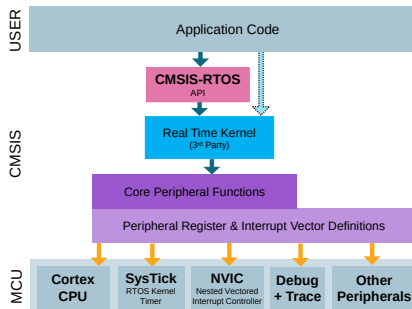
17

57

... **abstrakční vrstva**¹ pro aplikace založené na RTOS –
výchozí API v1 (CMSIS-RTOS RTX), zobecněné **API v2**
(**CMSIS-RTOS 2**)

API v2 mj. **zahrnuje**:

- funkce, identifikátory a parametry nad OS,



zdroj: (2)

Volitelé rozšíření zahrnují MPU, n-CPU systémy, DMA, deterministické přepínání kontextu, round-robin, zamezení uváznutí či inverzi priorit, snížení latence přerušení pomocí instr. `ldrex`, `strex`...

¹ blíže viz / čerpáno z http://arm-software.github.io/CMSIS_5/RTOS2/html/index.html

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

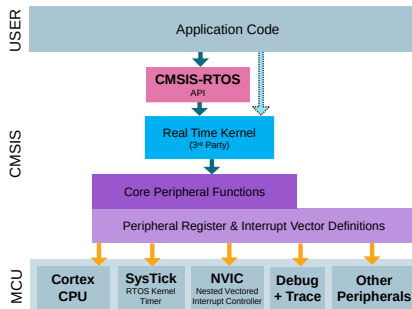
IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23

© 2022 Josef Strnadel

... abstrakční vrstva¹ pro aplikace založené na RTOS – výchozí API v1 (CMSIS-RTOS RTX), zobecněné **API v2** (CMSIS-RTOS 2)

API v2 mj. **zahrnuje**:

- ▶ funkce, identifikátory a parametry nad OS,
- ▶ správu mutexů a semaforů, vláken, času (timeouts, osDelay(), osDelayUntil, osThreadYield, časovače)



zdroj: (2)

Volitelná rozšíření zahrnují MPU, n-CPU systémy, DMA, deterministické přepínání kontextu, round-robin, zamezení uváznutí či inverzi priorit, snížení latence přerušení pomocí instr. ldrex, strex...

¹ blíže viz / čerpáno z http://arm-software.github.io/CMSIS_5/RTOS2/html/index.html

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

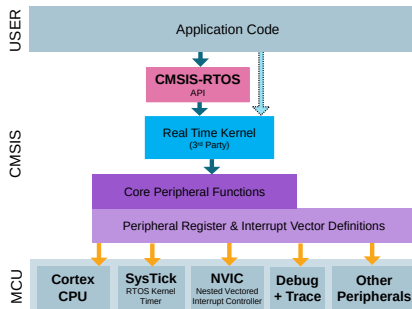
Další

Závěr

... abstrakční vrstva¹ pro aplikace založené na RTOS – výchozí API v1 (CMSIS-RTOS RTX), zobecněné **API v2** (CMSIS-RTOS 2)

API v2 mj. **zahrnuje**:

- ▶ funkce, identifikátory a parametry nad OS,
- ▶ správu mutexů a semaforů, vláken, času (timeouts, osDelay(), osDelayUntil, osThreadYield, časovače)
- ▶ funkce pro práci s přerušeními a podporu provádění na úrovni ISR,



zdroj: (2)

Volitelé rozšíření zahrnují MPU, n-CPU systémy, DMA, deterministické přepínání kontextu, round-robin, zamezení uváznutí či inverzi priorit, snížení latence přerušeni pomocí instr. ldrex, strex...

¹ blíže viz / čerpáno z http://arm-software.github.io/CMSIS_5/RTOS2/html/index.html

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23

© 2022 Josef Strnadel

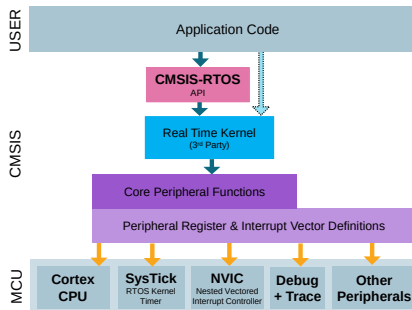
17

57

... abstrakční vrstva¹ pro aplikace založené na RTOS – výchozí API v1 (CMSIS-RTOS RTX), zobecněné **API v2** (CMSIS-RTOS 2)

API v2 mj. **zahrnuje:**

- ▶ funkce, identifikátory a parametry nad OS,
- ▶ správu mutexů a semaforů, vláken, času (timeouts, osDelay(), osDelayUntil, osThreadYield, časovače)
- ▶ funkce pro práci s přerušeními a podporu provádění na úrovni ISR,
- ▶ událostmi řízenou komunikaci mezi vlákny a ISR (příznaky vláken/událostí, fronty zpráv),
- ▶ ...



zdroj: (2)

Volitelná rozšíření zahrnují MPU, n-CPU systémy, DMA, deterministické přepínání kontextu, round-robin, zamezení uváznutí či inverzi priorit, snížení latence přerušeni pomocí instr. ldrex, strex...

¹ blíže viz / čerpáno z http://arm-software.github.io/CMSIS_5/RTOS2/html/index.html

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

cmsis_os2.h

```
//...
typedef struct {
    uint32_t api; // API version (major.minor.rev: mmnnnnrrrr dec).
    uint32_t kernel; // Kernel version (major.minor.rev: mmnnnnrrrr dec).
} osVersion_t;

typedef enum {
    osOK = 0, // Operation completed successfully.
    //...
} osStatus_t;

//...
typedef enum {
    osThreadInactive = 1, // Inactive.
    //...
} osThreadState_t;

//...
#define osWaitForever 0xFFFFFFFFU // Wait forever timeout value.
#define osFlagsWaitAny 0x00000000U // Wait for any flag (default).
#define osFlagsWaitAll 0x00000001U // Wait for all flags.
#define osFlagsNoClear 0x00000002U // Do not clear flags which have been specified
to wait for.

//...
osStatus_t osKernelInitialize (void);
int32_t osKernelLock (void);
osThreadId_t osThreadNew (osThreadFunc_t func, void *argument, const osThreadAttr_t
*attr);
osStatus_t osDelay (uint32_t ticks);
osStatus_t osSemaphoreRelease (osSemaphoreId_t semaphore_id);
void *osMemoryPoolAlloc (osMemoryPoolId_t mp_id, uint32_t timeout);
osStatus_t osMessageQueuePut (osMessageQueueId_t mq_id, const void *msg_ptr,
uint8_t msg_prio, uint32_t timeout);
//...
```

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Štrnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

18

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programováníProstředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23

57

© 2022 Josef Štrnadel

main.c

```
#include "RTE_Components.h"
#include CMSIS_device_header
#include "cmsis_os2.h"

void app_main (void *argument) {
    //...
    for (;;) {}
}

int main (void) {
    SystemCoreClockUpdate(); // System Initialization
#ifdef RTE_Compiler_EventRecorder
    EventRecorderInitialize(EventRecordError, 1U); // Init&start Event Recorder
#endif
    // ...
    osKernelInitialize(); // Initialize CMSIS-RTOS
    osThreadNew(app_main, NULL, NULL); // Create application main thread
    osKernelStart(); // Start thread execution
    for (;;) {}
}
```

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Štrnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

19

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

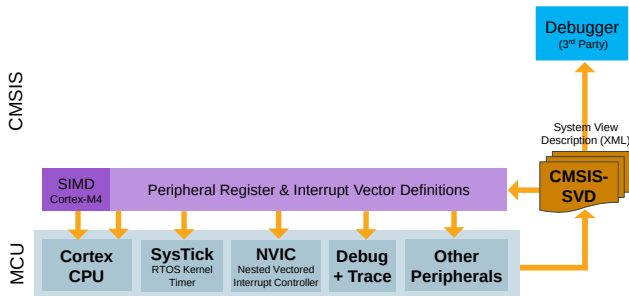
Mbed

Další

Závěr

(System View Description)

... **XML** formát **pro formalizaci popisu mikrokontroléru** na bázi ARM Cortex-M, konkrétně paměťově mapovaných registrů periférií.



zdroj: (2)

Formát popisu je organizován stylem **shora dolů**, od vysokoúrovňového popisu periférií k jejich bitům v příslušných paměťově mapovaných registrech.

Ilustrace:

http://arm-software.github.io/CMSIS_5/SVD/html/svd_Example_pg.html

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23

© 2022 Josef Strnadel

MISRA

Motor
Industry
Software
Reliability
Association

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

21

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr



Problém: žádný programovací jazyk nedokáže garantovat, že na jeho základě vytvořený spustitelný program se bude vždy chovat přesně tak, jak jeho programátor zamýšlel.

Obvyklé příčiny problému a motivace pro MISRA(-C)

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

22

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23

© 2022 Josef Strnadel

57

²např. <http://www.ioccc.org/1984/anonymous/anonymous.c>, soutěž <http://www.ioccc.org/>



Problém: žádný programovací jazyk nedokáže garantovat, že na jeho základě vytvořený spustitelný program se bude vždy chovat přesně tak, jak jeho programátor zamýšlel.

Obvyklé příčiny problému a motivace pro MISRA(-C)

- jazyk C má slabou podporu testování za běhu (run-time checking)

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr



Problém: žádný programovací jazyk nedokáže garantovat, že na jeho základě vytvořený spustitelný program se bude vždy chovat přesně tak, jak jeho programátor zamýšlel.

Obvyklé příčiny problému a motivace pro MISRA(-C)

- ▶ jazyk C má slabou podporu testování za běhu (run-time checking)
- ▶ programátoři dělají chyby (nepřehledný kód², překlepy, nechtěné přetypování atd.), z nichž mnohé vedou na syntakticky správné, avšak nechtěné konstrukce

př. A: `i=5` versus `i==5`, př. B: `if (a==b) ; { ... }`

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

²např. <http://www.ioccc.org/1984/anonymous/anonymous.c>, soutěž <http://www.ioccc.org/>



Problém: žádný programovací jazyk nedokáže garantovat, že na jeho základě vytvořený spustitelný program se bude vždy chovat přesně tak, jak jeho programátor zamýšlel.

Obvyklé příčiny problému a motivace pro MISRA(-C)

- ▶ jazyk C má slabou podporu testování za běhu (run-time checking)
- ▶ programátoři dělají chyby (nepřehledný kód², překlipy, nechtěné přetypování atd.), z nichž mnohé vedou na syntakticky správné, avšak nechtěné konstrukce

př. A: `i=5` versus `i==5`, př. B: `if (a==b) ; { ... }`

- ▶ programátoři nerozumějí beze zbytku všem konstrukcím jazyka

př.: `x & 1 == 0` versus `(x & 1) == 0`

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23

© 2022 Josef Strnadel

²např. <http://www.ioccc.org/1984/anonymous/anonymous.c>, soutěž <http://www.ioccc.org/>



Problém: žádný programovací jazyk nedokáže garantovat, že na jeho základě vytvořený spustitelný program se bude vždy chovat přesně tak, jak jeho programátor zamýšlel.

Obvyklé příčiny problému a motivace pro MISRA(-C)

- ▶ jazyk C má slabou podporu testování za běhu (run-time checking)
- ▶ programátoři dělají chyby (nepřehledný kód², překlepy, nechtěné přetypování atd.), z nichž mnohé vedou na syntakticky správné, avšak nechtěné konstrukce

```
př. A: i=5 versus i==5, př. B: if (a==b) ; { ... }
```

- ▶ programátoři nerozumějí beze zbytku všem konstrukcím jazyka

```
př.: x & 1 == 0 versus (x & 1) == 0
```

- ▶ překladač může "chápat" některé konstrukce jazyka jinak než čeká programátor, zejména neplynou-li jasně z ISO/IEC C

```
př.: int x[4] = {0, 1, 2, 3}, i;  
int *p=x+5; /* undef. */  
i=1/x[0]; /* undef. */
```

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

22

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23

© 2022 Josef Strnadel

²např. <http://www.ioccc.org/1984/anonymous/anonymous.c>, soutěž <http://www.ioccc.org/>



Problém: žádný programovací jazyk nedokáže garantovat, že na jeho základě vytvořený spustitelný program se bude vždy chovat přesně tak, jak jeho programátor zamýšlel.

Obvyklé příčiny problému a motivace pro MISRA(-C)

- ▶ jazyk C má slabou podporu testování za běhu (run-time checking)
- ▶ programátoři dělají chyby (nepřehledný kód², překlepy, nechtěné přetypování atd.), z nichž mnohé vedou na syntakticky správné, avšak nechtěné konstrukce

```
př. A: i=5 versus i==5, př. B: if (a==b) ; { ... }
```

- ▶ programátoři nerozumějí beze zbytku všem konstrukcím jazyka

```
př.: x & 1 == 0 versus (x & 1) == 0
```

- ▶ překladač může "chápat" některé konstrukce jazyka jinak než čeká programátor, zejména neplynou-li jasně z ISO/IEC C

```
př.: int x[4] = {0, 1, 2, 3}, i;  
int *p=x+5; /* undef. */  
i=1/x[0]; /* undef. */
```

- ▶ překladač může obsahovat chyby

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

22 MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23

© 2022 Josef Strnadel

²např. <http://www.ioccc.org/1984/anonymous/anonymous.c>, soutěž <http://www.ioccc.org/>



Problém: žádný programovací jazyk nedokáže garantovat, že na jeho základě vytvořený spustitelný program se bude vždy chovat přesně tak, jak jeho programátor zamýšlel.

Obvyklé příčiny problému a motivace pro MISRA(-C)

- ▶ jazyk C má slabou podporu testování za běhu (run-time checking)
- ▶ programátoři dělají chyby (nepřehledný kód², překlepy, nechtěné přetypování atd.), z nichž mnohé vedou na syntakticky správné, avšak nechtěné konstrukce

```
př. A: i=5 versus i==5, př. B: if (a==b) ; { ... }
```

- ▶ programátoři nerozumějí beze zbytku všem konstrukcím jazyka

```
př.: x & 1 == 0 versus (x & 1) == 0
```

- ▶ překladač může "chápat" některé konstrukce jazyka jinak než čeká programátor, zejména neplynou-li jasně z ISO/IEC C

```
př.: int x[4] = {0, 1, 2, 3}, i;  
int *p=x+5; /* undef. */  
i=1/x[0]; /* undef. */
```

- ▶ překladač může obsahovat chyby
- ▶ chyby za běhu programu

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

22 MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23

© 2022 Josef Strnadel

²např. <http://www.ioccc.org/1984/anonymous/anonymous.c>, soutěž <http://www.ioccc.org/>



Výskyt problémů lze významně omezit **zúžením** (**omezením**) programovacího jazyka.

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

23

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr



Výskyt problémů lze významně omezit **zúžením** (**omezením**) programovacího jazyka.

- Jedná se o **preventivní**, aktivní, **opatření** založené na tom, že **jazykové konstrukce** **potencionálně vedoucí k chybám nejsou povoleny/doporučeny** při psaní programů (aplikace “software best practice”).

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

23 MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr



Výskyt problémů lze významně omezit **zúžením** (**omezením**) programovacího jazyka.

- Jedná se o **preventivní**, aktivní, **opatření** založené na tom, že **jazykové konstrukce potencionálně vedoucí k chybám nejsou povoleny/doporučeny** při psaní programů (aplikace “software best practice”).
- **Úroveň programování** však, kromě omezení jazyka, **zahrnuje další aspekty** přispívající ke snížení výskytu problémů, např. **trénink/zkušenosti**, **programátorská “style guide”**, **volba překladače**, **metriky**, ...

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

23 MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr



Výskyt problémů lze významně omezit **zúžením** (**omezením**) programovacího jazyka.

- ▶ Jedná se o **preventivní**, aktivní, **opatření** založené na tom, že **jazykové konstrukce potencionálně vedoucí k chybám nejsou povoleny/doporučeny** při psaní programů (aplikace "software best practice").
- ▶ **Úroveň programování** však, kromě omezení jazyka, **zahrnuje další aspekty** přispívající ke snížení výskytu problémů, např. **trénink/zkušenosti**, **programátorská "style guide"**, **volba překladače**, **metriky**, ...
- ▶ Pro dosažení vysoké kvality software je **potřeba věnovat obdobné úsilí i dalším aspektům v kontextu softwarového inženýrství**, např. **dokumentaci procesu vývoje**, **systému kvality dle ISO 9x**, **projektovému řízení**, **analýze rizik**, **sběru požadavků**, ...

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

23

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

Rule <number> (<category>): <requirement text>
[<source ref>]

Normative text

... kde

- ▶ **<number>** je unikátní označení pravidla ("id skupiny pravidla" ". "id pravidla v rámci skupiny")
- ▶ **<category>** je jedno z "required", "advisory"
- ▶ **<requirement text>** je znění pravidla
- ▶ [**<source ref>**] odkazuje na primární zdroj(e) informací podporující existenci daného pravidla
- ▶ **normative text** odůvodňuje existenci pravidla, ilustruje aplikaci pravidla, shrnuje související problémy a navrhuje jejich řešení

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

24

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

Rule 1.1 (required): Veškerý kód musí být v souladu s ISO/IEC 9899:1990 “Programming languages – C” pozměněném a opraveveném dle ...

Rule 1.4 (required): Překladač/linker musí být otestován, zda u externích identifikátorů rozlišuje malá a velká písmena³ a podporuje významnost⁴ na 31 znaků.

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standards

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

25

Poznámky k
programování

Prostředky

implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

³case sensitivity

⁴character significance

Rule 2.1 (required): Zdrojový kód v jazyce symbolických instrukcí musí být zapouzdřen a izolován⁵.

Rule 2.2 (required): Zdrojový kód může obsahovat pouze komentáře stylu `/* ... */`.

Rule 2.3 (required): Řetězec znaků `/*` nesmí být použit v komentáři.

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

26

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

⁵např. pomocí makra či ASM/C funkcí

Rule 3.3 (advisory): Implementace celočíselného dělení příslušným překladačem by měla být charakterizována, zdokumentována a vzata v potaz.

$$-5/3 = -1, -5\%3 = -2$$

versus

$$-5/3 = -2, -5\%3 = +1$$

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standards

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

Rule 5.2 (required): Identifikátory ve vnitřním bloku⁶ musí být odlišné od identifikátorů z vnějšího bloku, aby se zabránilo přezkrytování identifikátorů.

```
int16_t i;    /* deklarace "i" z vnějšího bloku */
{
    int16_t i; /* deklarace "i" z vnitřního bloku */
    ...
    i=3;      /* nemusí být zřejmé, které "i" */
}
```

Rule 5.7 (advisory): Žádný identifikátor nesmí být zaveden opakovaně⁷.

```
struct air_speed { int16_t speed; /* knots */ } *x;
struct gnd_speed { int16_t speed; /* mph */ } *y;
x->speed = y->speed; /* knots X mph */
```

⁶ rozsahu platnosti, angl. scope

⁷ angl. reused

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

28

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

Rule 6.1 (required): Typ char smí být použit pouze pro uložení a použití hodnot znaků.

př.: 'A', '5', '\n', "a"

Rule 6.2 (required): Typy signed char, unsigned char smí být použity pouze pro uložení a použití číselných hodnot.

př.: 0, 5, 23, \x10, -3

Rule 6.3 (advisory): Definice typů⁸ indikující bitovou šířku typu a jeho bez/znaménkovost musí být použity namísto základních typů jazyka.

př. (ISO/POSIX typedefs):

```
typedef      char   char_t;
typedef signed  char   int8_t;
typedef unsigned char  uint8_t;
typedef signed  short int16_t;
typedef unsigned short uint16_t;
...
```

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

29 MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

**Rule 8.1 (required): Funkce musí mít deklarován proto-
typ⁹ a tento musí být viditelný jak definici, tak volání
funkce.**

**Rule 8.2 (required): V každé deklaraci či definici objek-
tů/funkcí musí být explicitně uvedeny všechny typy**

```
př.:
extern      x; /* implicitní typ (int) */
extern int16_t x; /* OK */
const      y; /* implicitní typ */
const int16_t y; /* OK */
static     foo(void); /* implicitní typ */
static int16_t foo(void); /* OK */
...
```

**Rule 8.5 (required): Hlavičkový soubor¹⁰ nesmí obsaho-
vat definice objektů/funkcí.**

⁹typicky v hlavičkovém souboru

¹⁰slouží k deklaraci objektů, prototypů funkcí, definici typů a maker

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

30 MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

Rule 9.1 (required): Použití proměnné musí předcházet přiřazení její hodnoty.

Rule 9.2 (required): Nenulová inicializace polí/struktur pomocí závorek musí odrážet jejich organizaci a shodovat se s ní.

př. k závorkování:

```
int16_t y[3][2] = { 1, 2, 3, 4, 5, 6 }; /* špatně */
int16_t y[3][2] = { {1, 2}, {3, 4}, {5, 6} }; /* OK */
...
```

př. k ne/nulové inicializaci:

```
int16_t x[5] = { 1, 2, 3, 0, 0 }; /* OK */
int16_t x[5] = { 0 }; /* OK */
int16_t x[5] = { 1, 2, 3 }; /* nenulová inicializace */
...
```

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

31

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

Rule 13.1 (required): Přířazovací příkaz nesmí být použit v logickém výrazu.

```
x=y;  
if (x != 0){  
    foo();  
}
```

```
if ((x=y) != 0){  
    foo();  
}
```

```
if (x = y){  
    foo();  
}
```

Rule 13.3 (required): Výrazy nad čísly s plovoucí řádovou čárkou nesmí být testovány na ne/rovnost.

Rule 13.5 (required): Tři výrazy příkazu “for” se musí týkat výhradně řízení smyčky.

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

Rule 14.1 (required): Každý kód musí být dosažitelný.

Rule 14.7 (required): Funkce musí mít jediný bod návratu, umístěný na konci jejího těla.

Rule 14.8 (required): Příkaz tvořící tělo příkazu “switch”, “while”, “do ... while” nebo “for” musí být složený.

```
for(i=0; i<=N; i++) {  
    buffer[i] = 0;  
}
```

```
while(new_data_ready)  
    process_data();  
    service_watchdog();
```

Rule 14.9 (required): Za podmíněným příkazem “if” musí následovat složený příkaz. Za “else” musí následovat složený příkaz nebo další “if”.

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

33

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

Rule 16.1 (required): Funkce nesmí být definovány s proměnným počtem argumentů.

Rule 16.2 (required): Funkce nesmí, přímo či nepřímo, volat sebe samu.

Rule 16.8 (required): Všechny návratové cesty z funkce s ne-void návratovým typem musí pro návrat explicitně použít příkaz “return” s výrazem.

Rule 16.10 (required): Vrací-li funkce informaci o chybě, pak tato informace musí být testována.

...

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

34

57

Poznámky k programování

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

35 Poznámky k programování

Prostředky

implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

př. k nastavení GPIO vývodů:

```
const gpio_input_pin_user_config_t buttons[] = { {  
    .pinName = BUT0,  
    .config.isPullEnable = true,  
    .config.pullSelect = kPortPullDown,  
    .config.isPassiveFilterEnabled = true,  
    .config.isDigitalFilterEnabled = true,  
    .config.interrupt = kPortIntDisabled  
}, ... };  
  
const gpio_output_pin_user_config_t leds[] = { {  
    .pinName = LED0,  
    .config.outputLogic = 0,  
    .config.slewRate = kPortSlowSlewRate,  
    .config.isOpenDrainEnabled = true,  
    .config.driveStrength = kPortLowDriveStrength,  
}, ... };  
  
const gpio_output_pin_user_config_t buzzer0[] = { {  
    .pinName = BUZZER,  
    .config.outputLogic = 0,  
    .config.slewRate = kPortSlowSlewRate,  
    .config.isOpenDrainEnabled = true,  
    .config.driveStrength = kPortLowDriveStrength,  
}, ... };  
  
GPIO_DRV_OutputPinInit(&leds[0]);  
GPIO_DRV_OutputPinInit(&buzzer0[0]);  
GPIO_DRV_InputPinInit(&buttons[0]);
```

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Štrnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje
ACLE
CMSIS
MISRA-C

Poznámky k
programování

36

Prostředky
implementace

Informační zdroje
Co je v dokumentaci?
Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS
KSDK
Processor Expert
MCUXpresso
Mbed
Další

Závěr

Prostředky implementace

Stejnou funkcionalitu lze naprogramovat různě (SDK)



VYSOKÉ UČENÍ FAKULTA
TECHNICKÉ INFORMAČNÍCH
V BRNĚ TECHNOLOGIÍ

př. k nastavení GPIO vývodu:

```
typedef struct {
    uint32_t *pcr_reg;
    GPIO_MemMapPtr gpio_ptr;
    uint32_t pinmask;
    uint32_t flags;
} LWGPIO_STRUCT, * LWGPIO_STRUCT_PTR;

LWGPIO_STRUCT btn, LWGPIO_STRUCT leds[4];
int btnPressed = 0;

void isr_button(void *pin){
    btnPressed = lwgpio_int_get_flag(&btn);
    lwgpio_int_clear_flag(&btn);
}

lwgpio_init(&btn, BSP_BUTTON1, LWGPIO_DIR_INPUT, LWGPIO_VALUE_NOCHANGE);
lwgpio_set_functionality(&btn, BSP_BUTTON1_MUX_IRQ);
lwgpio_set_attribute(&btn, LWGPIO_ATTR_PULL_DOWN, LWGPIO_AVAL_ENABLE);
lwgpio_set_attribute(&btn, LWGPIO_ATTR_PULL_UP, LWGPIO_AVAL_ENABLE);
lwgpio_int_init(&btn, LWGPIO_INT_MODE_FALLING);
_int_install_isr(lwgpio_int_get_vector(&btn), isr_button, NULL);
_bsp_int_init(lwgpio_int_get_vector(&btn), 3, 0, TRUE);
lwgpio_int_enable(&btn, TRUE);

lwgpio_init(&leds[0], BSP_LED1, LWGPIO_DIR_OUTPUT, LWGPIO_VALUE_LOW);
lwgpio_set_functionality(&leds[0], BSP_LED1_MUX_GPIO);
lwgpio_set_value(&leds[0], LWGPIO_VALUE_HIGH);
```

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Štrnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

37

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23

57

© 2022 Josef Štrnadel

př. k nastavení GPIO vývodů:

```
#include "mbed.h"

DigitalOut led_red(LED_RED);
DigitalIn sw2(SW2);
InterruptIn sw2(SW2);

void check_sw2(void)
{
    if (sw2 == 0) {
        pc.printf("SW2 button pressed.
n");
        led_red = 0;
        led_green = 1;
    }
}

void sw2_release(void) {
    led_red = !led_red;
    printf("On-board button SW2 was released.
n");
}

int main() {
    sw2.rise(&sw2_release);
    while (true) {
    }
}
```

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

38

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

57

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23
© 2022 Josef Strnadel

př. k nastavení GPIO vývodu:

```
#define GPIO_PIN(x) (1 << x)
bool bit;

SIM->SCGC5 = SIM_SCGC5_PORTB_MASK;
PORTB->PCR[0] = ( PORT_PCR_MUX(0x01) );
PTB->PDDR |= GPIO_PIN(0); // alt. GPIO_PDDR |= ...
PTB->PDOR |= GPIO_PIN(0); // alt. GPIO_PDOR |= ...
GPIO_PDDR |= GPIO_PIN(0);
GPIO_PDOR |= GPIO_PIN(0);

PORTB->PCR[0] = (
    PORT_PCR_MUX(0x01) |
    PORT_PCR_ISF(1) |
    PORT_PCR_IRQC(0xA) |
    PORT_PCR_PE(1) |
    PORT_PCR_PS(1)
);

PTB->PDDR &= GPIO_PIN(0); // alt. GPIO_PDDR &= ...
bit = PTB->PDOR & GPIO_PIN(0); // alt. bit = GPIO_PDOR ...

NVIC_ICPR |= ...; // alt. NVIC_ClearPendingIRQ(...)
NVIC_ISER |= ...; // alt. NVIC_EnableIRQ(...)

void PORTB_IRQHandler(void) { ... }
```

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

39

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

- (1) **ARM®v7-M Architecture Reference Manual**
(<https://developer.arm.com/documentation/ddi0403/ee/>)
- (2) **Cortex™-M4 Devices Generic User Guide** (<http://infocenter.arm.com/help/topic/com.arm.doc.duit0553a/index.html>)
- (3) **Cortex™-M0+ Devices Generic User Guide** (<http://infocenter.arm.com/help/topic/com.arm.doc.duit0662b/index.html>)
- (4) **ARM® Cortex®-M4 Processor Technical Reference Manual**
(http://infocenter.arm.com/help/topic/com.arm.doc.100166_0001_00_en/index.html)
- (5) **ARM® Cortex®-M0+ Processor Technical Reference Manual** (<http://infocenter.arm.com/help/topic/com.arm.doc.ddi0484c/index.html>)
- (6) **Dokumentace ke Kinetis® K60 z FITkit3** (MK60DN512VMD100): 100MHz Cortex-M4 256/512KB Flash (144 pin) (https://www.nxp.com/products/processors-and-microcontrollers/arm-microcontrollers/general-purpose-mcus/k-series-cortex-m4/k6x-ethernet/kinetis-k60-100-mhz-mixed-signal-integration-microcontrollers-based-on-arm-cortex-m4-k60_100)
- (7) **Kinetis® K60 z FITkit3**: Sub-Family Reference Manual (<https://www.nxp.com/webapp/Download?colCode=K60P144M100SF2V2RM>)
- (8) **Kinetis® KL05 z IMP lab.** (MKL05Z...): Sub-Family Reference Manual
(<https://www.nxp.com/webapp/Download?colCode=KL05P48M48SF1RM>)

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Časovač

Další

Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23
© 2022 Josef Strnadel

Dokumentace k ARM® je decentralizovaná – je užitečné vědět, “kde co najít”:

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky

implementace

Informační zdroje

41

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

57

Dokumentace k ARM® je decentralizovaná – je užitečné vědět, “kde co najít”:

- [Architecture Reference Manual \(ARM\)](#) $\approx$ 1k stran

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

41

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

57

Dokumentace k ARM® je decentralizovaná – je užitečné vědět, “kde co najít”:

- ▶ [Architecture Reference Manual \(ARM\)](#) $\approx$ 1k stran
- ▶ [Technical Reference Manual \(TRM\)](#) $\approx$.1k stran

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

41 Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

Dokumentace k ARM® je decentralizovaná – je užitečné vědět, “kde co najít”:

- ▶ [Architecture Reference Manual \(ARM\)](#) $\approx$ 1k stran
- ▶ [Technical Reference Manual \(TRM\)](#) $\approx$.1k stran
- ▶ [Device Generic User Guide \(DGUG\)](#) $\approx$.25k stran

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

41 Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

Dokumentace k ARM® je decentralizovaná – je užitečné vědět, “kde co najít”:

- ▶ [Architecture Reference Manual \(ARM\)](#) $\approx$ 1k stran
- ▶ [Technical Reference Manual \(TRM\)](#) $\approx$.1k stran
- ▶ [Device Generic User Guide \(DGUG\)](#) $\approx$.25k stran
- ▶ [\(Family\) Reference Manual \(FRM\)](#) $\approx$ 2k stran

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

41

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

57

Dokumentace k ARM® je decentralizovaná – je užitečné vědět, “kde co najít”:

- ▶ [Architecture Reference Manual \(ARM\)](#) $\approx$ 1k stran
- ▶ [Technical Reference Manual \(TRM\)](#) $\approx$.1k stran
- ▶ [Device Generic User Guide \(DGUG\)](#) $\approx$.25k stran
- ▶ [\(Family\) Reference Manual \(FRM\)](#) $\approx$ 2k stran
- ▶ + další dokumentace (k DPS, SDK apod.)

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

41

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

57

... inicializace MCU (viz [http:](http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMP/private/VYUKA/CVICENI_A_LABORATORE/lab1/main.c)

```
//www.fit.vutbr.cz/study/courses/IMP/private/  
VYUKA/CVICENI_A_LABORATORE/lab1/main.c)
```

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky

implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

42

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

57

Činnosti¹¹ související s nastavením systému z pohledu software:

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Štrnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky

implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

43

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23

© 2022 Josef Štrnadel

57

¹¹ zdroj: <https://cache.nxp.com/docs/en/quick-reference-guide/KQRUG.pdf?fsrch=1&sr=1&pageNum=1>

Činnosti¹¹ související s nastavením systému z pohledu software:

► Reset a bootování

► Základní inicializace v software

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

43

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23

© 2022 Josef Strnadel

57

¹¹ zdroj: <https://cache.nxp.com/docs/en/quick-reference-guide/KQRUG.pdf?fsrch=1&sr=1&pageNum=1>

Činnosti¹¹ související s nastavením systému z pohledu software:

► Reset a bootování

- inicializace SP, PC z adresy 0 resp. 4

► Základní inicializace v software

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky

implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

43

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23

© 2022 Josef Strnadel

57

¹¹ zdroj: <https://cache.nxp.com/docs/en/quick-reference-guide/KQRUG.pdf?fsrch=1&sr=1&pageNum=1>

Činnosti¹¹ související s nastavením systému z pohledu software:

► Reset a bootování

- inicializace SP, PC z adresy 0 resp. 4
- během a po resetu jsou číslicové I/O vývody (vyjma JTAG) ve stavu vysoké impedance (disabled), ...

► Základní inicializace v software

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

43

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

¹¹ zdroj: <https://cache.nxp.com/docs/en/quick-reference-guide/KQRUG.pdf?fsrch=1&sr=1&pageNum=1>

Činnosti¹¹ související s nastavením systému z pohledu software:

► Reset a bootování

- inicializace SP, PC z adresy 0 resp. 4
- během a po resetu jsou číslicové I/O vývody (vyjma JTAG) ve stavu vysoké impedance (disabled), ...
- po resetu jsou zakázána přerušení, hodiny většiny modulů jsou vypnuty, watchdog je aktivní, ...

► Základní inicializace v software

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

43

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23

© 2022 Josef Strnadel

57

¹¹ zdroj: <https://cache.nxp.com/docs/en/quick-reference-guide/KQRUG.pdf?fsrch=1&sr=1&pageNum=1>

Činnosti¹¹ související s nastavením systému z pohledu software:

► Reset a bootování

- inicializace SP, PC z adresy 0 resp. 4
- během a po resetu jsou číslicové I/O vývody (vyjma JTAG) ve stavu vysoké impedance (disabled), ...
- po resetu jsou zakázána přerušení, hodiny většiny modulů jsou vypnuty, watchdog je aktivní, ...

► Základní inicializace v software

- nulování registrů r0–r12

```
MOV r0, #0, ...
```

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

43

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

¹¹ zdroj: <https://cache.nxp.com/docs/en/quick-reference-guide/KQRUG.pdf?fsrch=1&sr=1&pageNum=1>

Činnosti¹¹ související s nastavením systému z pohledu software:

► Reset a bootování

- inicializace SP, PC z adresy 0 resp. 4
- během a po resetu jsou číslicové I/O vývody (vyjma JTAG) ve stavu vysoké impedance (disabled), ...
- po resetu jsou zakázána přerušení, hodiny většiny modulů jsou vypnuty, watchdog je aktivní, ...

► Základní inicializace v software

- nulování registrů r0–r12

```
MOV r0, #0, ...
```

- povolení přerušení

```
CPSIE i
```

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

43

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

¹¹ zdroj: <https://cache.nxp.com/docs/en/quick-reference-guide/KQRUG.pdf?fsrch=1&sr=1&pageNum=1>

Činnosti¹¹ související s nastavením systému z pohledu software:

► Reset a bootování

- inicializace SP, PC z adresy 0 resp. 4
- během a po resetu jsou číslicové I/O vývody (vyjma JTAG) ve stavu vysoké impedance (disabled), ...
- po resetu jsou zakázána přerušení, hodiny většiny modulů jsou vypnuty, watchdog je aktivní, ...

► Základní inicializace v software

- nulování registrů r0–r12

```
MOV r0, #0, ...
```
- povolení přerušení

```
CPSIE i
```
- skok na inicializace dle C/C++

```
bl start
```
- ...

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

43

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

¹¹ zdroj: <https://cache.nxp.com/docs/en/quick-reference-guide/KQRUG.pdf?fsrch=1&sr=1&pageNum=1>

Činnosti¹² související s nastavením systému z pohledu software:

- ▶ ...
- ▶ Aplikačně specifické inicializace (**Startup**)

▶ ...

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky

implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

44

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

¹²zdroj: <https://cache.nxp.com/docs/en/quick-reference-guide/KQRUG.pdf?fsrch=1&sr=1&pageNum=1>

Činnosti¹² související s nastavením systému z pohledu software:

- ▶ ...
- ▶ Aplikačně specifické inicializace (**Startup**)
 - ▶ **Vypnutí watchdog**

```
asm(" CPSID i"); /* disable all interrupts */  
/* Write 0xC520 to the unlock register */  
WDOG_UNLOCK = 0xC520;  
/* Followed by 0xD928 to complete the unlock */  
WDOG_UNLOCK = 0xD928;  
/* enable all interrupts */  
asm(" CPSIE i");  
/* Clear the WDOGEN bit to disable the watchdog */  
WDOG_STCTRLH &= WDOG_STCTRLH_WDOGEN_MASK;
```

▶ ...

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

44

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

¹²zdroj: <https://cache.nxp.com/docs/en/quick-reference-guide/KQRUG.pdf?fsrch=1&sr=1&pageNum=1>

Činnosti¹² související s nastavením systému z pohledu software:

- ▶ ...
- ▶ Aplikačně specifické inicializace (**Startup**)
 - ▶ **Vypnutí watchdog**

```
asm(" CPSID i"); /* disable all interrupts */
/* Write 0xC520 to the unlock register */
WDOG_UNLOCK = 0xC520;
/* Followed by 0xD928 to complete the unlock */
WDOG_UNLOCK = 0xD928;
/* enable all interrupts */
asm(" CPSIE i");
/* Clear the WDOGEN bit to disable the watchdog */
WDOG_STCTRLH &= WDOG_STCTRLH_WDOGEN_MASK;
```

- ▶ **Inicializace RAM**
 - ▶ přesun dat/funkcí z Flash do RAM, ...
- ▶ ...

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

44

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

¹²zdroj: <https://cache.nxp.com/docs/en/quick-reference-guide/KQRUG.pdf?fsrch=1&sr=1&pageNum=1>

Činnosti¹³ související s nastavením systému z pohledu software:

- ▶ Aplikačně specifické inicializace (**Startup**)
 - ▶ ...

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky

implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

45

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23

© 2022 Josef Strnadel

57

¹³zdroj: <https://cache.nxp.com/docs/en/quick-reference-guide/KQRUG.pdf?fsrch=1&sr=1&pageNum=1>

Činnosti¹³ související s nastavením systému z pohledu software:

- ▶ Aplikačně specifické inicializace (**Startup**)

- ▶ ...

- ▶ **Povolení hodin portů**

```
SIM_SCGC5 |= (SIM_SCGC5_PORTA_MASK  
...  
| SIM_SCGC5_PORTE_MASK );
```

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

45

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23

© 2022 Josef Strnadel

57

¹³zdroj: <https://cache.nxp.com/docs/en/quick-reference-guide/KQRUG.pdf?fsrch=1&sr=1&pageNum=1>

Činnosti¹³ související s nastavením systému z pohledu software:

- ▶ Aplikačně specifické inicializace (**Startup**)

- ▶ ...

- ▶ **Povolení hodin portů**

```
SIM_SCGC5 |= (SIM_SCGC5_PORTA_MASK  
...  
| SIM_SCGC5_PORTE_MASK );
```

- ▶ **Nastavení MCG** (Multipurpose Clock Generator)

- ▶ režim, referenční zdroj, frekvence, ...

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

45

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23

© 2022 Josef Strnadel

57

¹³zdroj: <https://cache.nxp.com/docs/en/quick-reference-guide/KQRUG.pdf?fsrch=1&sr=1&pageNum=1>

Činnosti¹³ související s nastavením systému z pohledu software:

- ▶ Aplikačně specifické inicializace (**Startup**)

- ▶ ...

- ▶ **Povolení hodin portů**

```
SIM_SCGC5 |= (SIM_SCGC5_PORTA_MASK  
...  
| SIM_SCGC5_PORTE_MASK );
```

- ▶ **Nastavení MCG** (Multipurpose Clock Generator)

- ▶ režim, referenční zdroj, frekvence, ...

- ▶ **Povolení přerušení** (př. pro GPIO PTA4 + Int.Ena.)

```
PORTA_PCR4 = PORT_PCR_MUX(0x1); // GPIO is alt1 funct.  
PORTA_PCR4 |= PORT_PCR_IRQC(0x9); // on rising EDGE  
enable_irq(87); // init. NVIC to enable IRQ
```

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

45

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

¹³zdroj: <https://cache.nxp.com/docs/en/quick-reference-guide/KQRUG.pdf?fsrch=1&sr=1&pageNum=1>

Činnosti¹³ související s nastavením systému z pohledu software:

- ▶ Aplikačně specifické inicializace (**Startup**)

- ▶ ...

- ▶ **Povolení hodin portů**

```
SIM_SCGC5 |= (SIM_SCGC5_PORTA_MASK  
...  
| SIM_SCGC5_PORTE_MASK );
```

- ▶ **Nastavení MCG** (Multipurpose Clock Generator)

- ▶ režim, referenční zdroj, frekvence, ...

- ▶ **Povolení přerušení** (př. pro GPIO PTA4 + Int.Ena.)

```
PORTA_PCR4 = PORT_PCR_MUX(0x1); // GPIO is alt1 funct.  
PORTA_PCR4 |= PORT_PCR_IRQC(0x9); // on rising EDGE  
enable_irq(87); // init. NVIC to enable IRQ
```

- ▶ **Povolení UART** pro terminálovou komunikaci

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

45

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23

© 2022 Josef Strnadel

57

¹³zdroj: <https://cache.nxp.com/docs/en/quick-reference-guide/KQRUG.pdf?fsrch=1&sr=1&pageNum=1>

Činnosti¹³ související s nastavením systému z pohledu software:

- ▶ Aplikačně specifické inicializace (**Startup**)

- ▶ ...

- ▶ **Povolení hodin portů**

```
SIM_SCGC5 |= (SIM_SCGC5_PORTA_MASK  
...  
| SIM_SCGC5_PORTE_MASK );
```

- ▶ **Nastavení MCG** (Multipurpose Clock Generator)

- ▶ režim, referenční zdroj, frekvence, ...

- ▶ **Povolení přerušení** (př. pro GPIO PTA4 + Int.Ena.)

```
PORTA_PCR4 = PORT_PCR_MUX(0x1); // GPIO is alt1 funct.  
PORTA_PCR4 |= PORT_PCR_IRQC(0x9); // on rising EDGE  
enable_irq(87); // init. NVIC to enable IRQ
```

- ▶ **Povolení UART** pro terminálovou komunikaci

- ▶ **Volání main()**

```
main();
```

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

45

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23

© 2022 Josef Strnadel

57

¹³zdroj: <https://cache.nxp.com/docs/en/quick-reference-guide/KQRUG.pdf?fsrch=1&sr=1&pageNum=1>

► pro konkrétní modul je nutno nastavit 3 registry

NVICISERx (NVIC Interrupt Set Enable Register),
NVICICPRx (NVIC Interrupt Clear Pending Register),
NVICIPxx (NVIC Interrupt Priority).

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

46

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

57

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23
© 2022 Josef Strnadel

¹⁴zdroj: <https://cache.nxp.com/docs/en/quick-reference-guide/KQRUG.pdf?fsrch=1&sr=1&pageNum=1>

¹⁵část Interrupt Channel Assignments

- ▶ pro konkrétní modul je nutno nastavit 3 registry

NVICISERx (NVIC Interrupt Set Enable Register),
NVICICPRx (NVIC Interrupt Clear Pending Register),
NVICIPxx (NVIC Interrupt Priority).

- ▶ posloupnost kroků¹⁴

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

46

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

57

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23
© 2022 Josef Strnadel

¹⁴zdroj: <https://cache.nxp.com/docs/en/quick-reference-guide/KQRUG.pdf?fsrch=1&sr=1&pageNum=1>

¹⁵část Interrupt Channel Assignments

- ▶ pro konkrétní modul je nutno nastavit 3 registry

NVICISERx (NVIC Interrupt Set Enable Register),
NVICICPRx (NVIC Interrupt Clear Pending Register),
NVICIPxx (NVIC Interrupt Priority).

- ▶ posloupnost kroků¹⁴
 - ▶ zjištění čísel vektoru a IRQ z referenčního manuálu¹⁵

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

46

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

57

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23
© 2022 Josef Strnadel

¹⁴zdroj: <https://cache.nxp.com/docs/en/quick-reference-guide/KQRUG.pdf?fsrch=1&sr=1&pageNum=1>

¹⁵část Interrupt Channel Assignments

- ▶ pro konkrétní modul je nutno nastavit 3 registry

NVICISERx (NVIC Interrupt Set Enable Register),
NVICICPRx (NVIC Interrupt Clear Pending Register),
NVICIPxx (NVIC Interrupt Priority).

- ▶ posloupnost kroků¹⁴

- ▶ zjištění čísel vektoru a IRQ z referenčního manuálu¹⁵
- ▶ volba x registrů a indexu bitu y dle IRQ ($x = \text{IRQ}/32$,
 $y = \text{IRQ} \% 32$); př. pro IRQ=85 (i dále): $x=2$, $y=21$

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

46

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

57

¹⁴zdroj: <https://cache.nxp.com/docs/en/quick-reference-guide/KQRUG.pdf?fsrch=1&sr=1&pageNum=1>

¹⁵část Interrupt Channel Assignments

- ▶ pro konkrétní modul je nutno nastavit 3 registry

NVICISERx (NVIC Interrupt Set Enable Register),
NVICICPRx (NVIC Interrupt Clear Pending Register),
NVICIPxx (NVIC Interrupt Priority).

- ▶ posloupnost kroků¹⁴

- ▶ zjištění čísel vektoru a IRQ z referenčního manuálu¹⁵
- ▶ volba x registrů a indexu bitu y dle IRQ ($x = \text{IRQ}/32$, $y = \text{IRQ} \% 32$); př. pro IRQ=85 (i dále): $x=2$, $y=21$
- ▶ povolení přerušení

```
NVICICPR2 |= (1<<21); //Clear any pending interrupts  
NVICISER2 |= (1<<21); //Enable interrupts from module
```

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

46

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

¹⁴zdroj: <https://cache.nxp.com/docs/en/quick-reference-guide/KQRUG.pdf?fsrch=1&sr=1&pageNum=1>

¹⁵část Interrupt Channel Assignments

- ▶ pro konkrétní modul je nutno nastavit 3 registry

NVICISERx (NVIC Interrupt Set Enable Register),
NVICICPRx (NVIC Interrupt Clear Pending Register),
NVICIPxx (NVIC Interrupt Priority).

- ▶ posloupnost kroků¹⁴

- ▶ zjištění čísel vektoru a IRQ z referenčního manuálu¹⁵
- ▶ volba x registrů a indexu bitu y dle IRQ ($x = \text{IRQ}/32$, $y = \text{IRQ} \% 32$); př. pro IRQ=85 (i dále): $x=2$, $y=21$
- ▶ povolení přerušení

```
NVICICPR2 |= (1<<21); //Clear any pending interrupts  
NVICISER2 |= (1<<21); //Enable interrupts from module
```

- ▶ nastavení priority ($xx = \text{IRQ}$)

```
NVICIP85 = 0x30; //Prio.=3 (high nibble); low ignored
```

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

46

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

57

¹⁴zdroj: <https://cache.nxp.com/docs/en/quick-reference-guide/KQRUG.pdf?fsrch=1&sr=1&pageNum=1>

¹⁵Část Interrupt Channel Assignments

- ▶ pro konkrétní modul je nutno nastavit 3 registry

```
NVICISERx (NVIC Interrupt Set Enable Register),  
NVICICPRx (NVIC Interrupt Clear Pending Register),  
NVICIPxx (NVIC Interrupt Priority).
```

- ▶ posloupnost kroků¹⁴

- ▶ zjištění čísel vektoru a IRQ z referenčního manuálu¹⁵
- ▶ volba x registrů a indexu bitu y dle IRQ ($x = \text{IRQ}/32$, $y = \text{IRQ} \% 32$); př. pro IRQ=85 (i dále): $x=2$, $y=21$
- ▶ povolení přerušení

```
NVICICPR2 |= (1<<21); //Clear any pending interrupts  
NVICISER2 |= (1<<21); //Enable interrupts from module
```

- ▶ nastavení priority ($xx = \text{IRQ}$)

```
NVICIP85 = 0x30; //Prio.=3 (high nibble); low ignored
```

- ▶ vložení vektoru do tabulky vektorů přerušení

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

46

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

¹⁴zdroj: <https://cache.nxp.com/docs/en/quick-reference-guide/KQRUG.pdf?fsrch=1&sr=1&pageNum=1>

¹⁵část Interrupt Channel Assignments

- ▶ pro konkrétní modul je nutno nastavit 3 registry

```
NVICISERx (NVIC Interrupt Set Enable Register),  
NVICICPRx (NVIC Interrupt Clear Pending Register),  
NVICIPxx (NVIC Interrupt Priority).
```

- ▶ posloupnost kroků¹⁴

- ▶ zjištění čísel vektoru a IRQ z referenčního manuálu¹⁵
- ▶ volba x registrů a indexu bitu y dle IRQ ($x = \text{IRQ}/32$, $y = \text{IRQ} \% 32$); př. pro IRQ=85 (i dále): $x=2$, $y=21$
- ▶ povolení přerušení

```
NVICICPR2 |= (1<<21); //Clear any pending interrupts  
NVICISER2 |= (1<<21); //Enable interrupts from module
```

- ▶ nastavení priority ($xx = \text{IRQ}$)

```
NVICIP85 = 0x30; //Prio.=3 (high nibble); low ignored
```

- ▶ vložení vektoru do tabulky vektorů přerušení
- ▶ povolení přerušení (lokálně) u modulu

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

46

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

¹⁴zdroj: <https://cache.nxp.com/docs/en/quick-reference-guide/KQRUG.pdf?fsrch=1&sr=1&pageNum=1>

¹⁵Část Interrupt Channel Assignments

- ▶ pro konkrétní modul je nutno nastavit 3 registry

NVICISERx (NVIC Interrupt Set Enable Register),
NVICICPRx (NVIC Interrupt Clear Pending Register),
NVICIPxx (NVIC Interrupt Priority).

- ▶ posloupnost kroků¹⁴

- ▶ zjištění čísel vektoru a IRQ z referenčního manuálu¹⁵
- ▶ volba x registrů a indexu bitu y dle IRQ ($x = \text{IRQ}/32$, $y = \text{IRQ} \% 32$); př. pro IRQ=85 (i dále): $x=2$, $y=21$
- ▶ povolení přerušení

```
NVICICPR2 |= (1<<21); //Clear any pending interrupts  
NVICISER2 |= (1<<21); //Enable interrupts from module
```

- ▶ nastavení priority ($xx = \text{IRQ}$)

```
NVICIP85 = 0x30; //Prio.=3 (high nibble); low ignored
```

- ▶ vložení vektoru do tabulky vektorů přerušení
- ▶ povolení přerušení (lokálně) u modulu
- ▶ v ISR: zamezit reentranci nulováním příznaku přerušení u modulu

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

46

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

57

¹⁴zdroj: <https://cache.nxp.com/docs/en/quick-reference-guide/KQRUG.pdf?fsrch=1&sr=1&pageNum=1>

¹⁵Část Interrupt Channel Assignments

KDS

Kinetis
Design
Studio

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

47

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

57

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23

© 2022 Josef Strnadel

Kinetis Design Studio (4) ...

- ▶ je vývojové **GNU/Eclipse prostředí** pro zařízení na bázi MCU řady Kinetis od Freescale/NXP,
- ▶ podporuje zařízení založená na **Cortex-M**,
- ▶ **integruje** Procesor Expert, Kinetis Software Development Kit (KSDK), ... ,
- ▶ podporuje řadu **ladicích rozhraní/adaptérů** – SEGGER J-Link/J-Trace, P&E USB Multilink Universal/USB Multilink Universal FX, CMSIS-DAP ... ,
- ▶ pro redukci binárního obrazu aplikace využívá **newlib-nano C runtime library**,
- ▶ porty pro Windows, Linux, Mac
- ▶ nastavení Semihosting viz např. <https://mcuoneclipse.com/2015/05/27/semihosting-for-kinetis-design-studio-v3-0-0-and-gnu-arm-embedded-launchpad/>

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

48

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

- ▶ **Stažení/instalace**
- ▶ Vytvoření **pracovní plochy** (Workspace)
- ▶ Vytvoření **projektu**
 - ▶ Výběr **zařízení** (device)
 - ▶ Podpora **rychlého prototypování** aplikací (Rapid application development) pomocí SDK, Processor Expert, ...
 - ▶ Volba **překladače/toolchain** (GNU C, IAR ARM C, Keil ARM C/C++, ...)
- ▶ **Sestavení** projektu (Building)
 - ▶ `<CTRL+B>` pro "Build All"
- ▶ **Nahrání aplikace** do mikrokontroléru
- ▶ **Ladění** (Debugging)
 - ▶ Volba a nastavení ladicího rozhraní – OpenOCD/SDA, P&E Multilink, Segger J-Link/Trace, ...

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

49

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

KSDK

Kinetis Software Development Kit

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

50

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

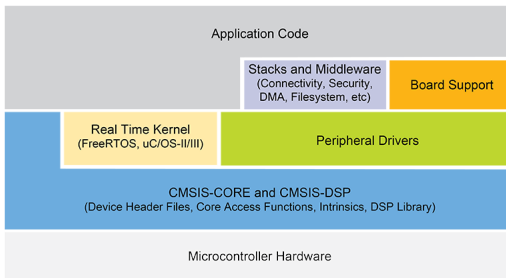
Závěr

57

IMP @ FIT VUT v Brně
ZS ak. r. 2022/23
© 2022 Josef Strnadel

Architekturu KSDK tvoří 5 komponent (6):

- Soubory a knihovny v souladu s CMSIS
- Ovladače periferií
- Implementace a podpora pro RTOS
- Stacks and Middleware
- Podpora pro vývojovou desku a demo aplikace



zdroj: (6), Kinetis SDK v.2.0 API Reference Manual

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky

implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

51

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

Další

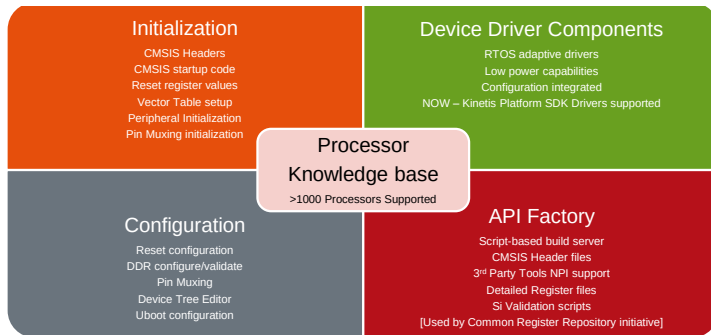
Závěr

IMP @ FIT VUT v Brně

ZS ak. r. 2022/23

© 2022 Josef Strnadel

57



převzato z https://www.nxp.com/pages/nxp-technical-sessions-library:DWFREESCALE_OLL,
Develop with the SDK for Kinetis MCUs (FTF-SDS-F0468)

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

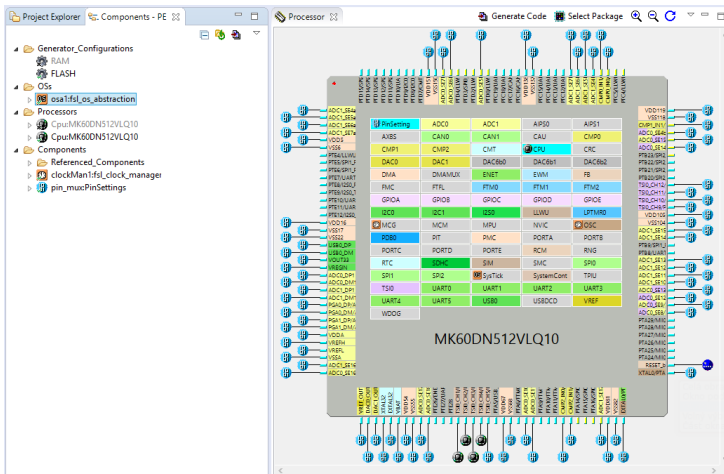
Mbed

Další

Závěr

52

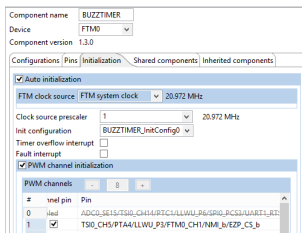
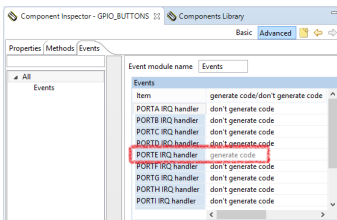
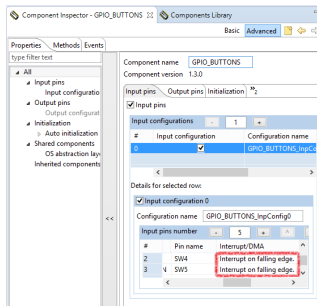
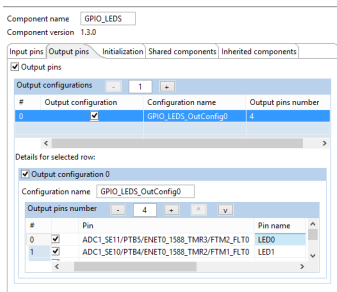
57



IMP - programování vestavných app. v C

Processor Expert

Závěr



IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Štrnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje
ACLE
CMSIS
MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace
Informační zdroje
Co je v dokumentaci?
Vztah dokumentace-
programování

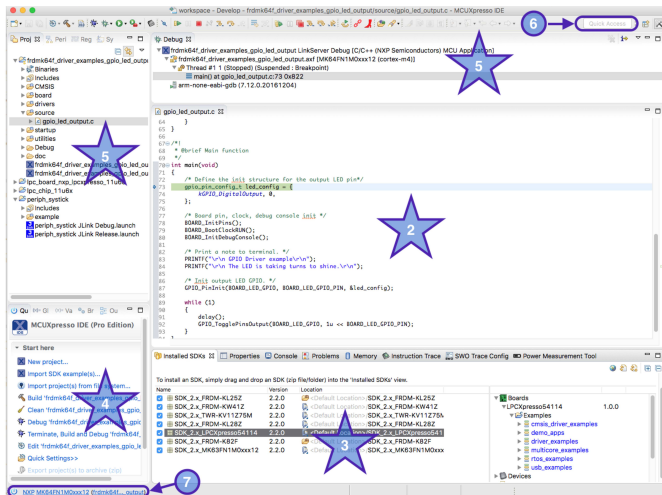
Vývojové nástroje

KDS
KSDK
Processor Expert
MCUXpresso
Mbed
Další

Závěr

54

57



převzato z (7)

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Štrnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje
ACLE
CMSIS
MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace
Informační zdroje
Co je v dokumentaci?
Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS
KSDK
Processor Expert

MCUXpresso

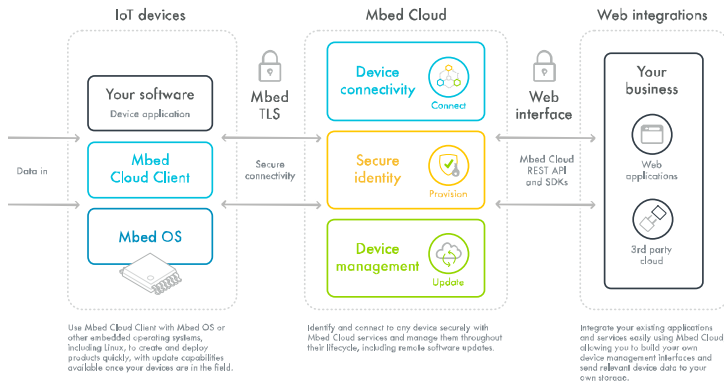
Mbed

Další

Závěr

55

57



převzato z (8)

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje
ACLE
CMSIS
MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky
implementace
Informační zdroje
Co je v dokumentaci?
Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS
KSDK
Processor Expert
MCUXpresso

Mbed

Další

Závěr

- ▶ **FreeMASTER** <https://www.nxp.com/design/software/development-software/freemaster-run-time-debugging-tool:FREEMASTER>
- ▶ **SystemView** <https://www.segger.com/products/development-tools/systemview/>
- ▶ **uC/Probe** <http://micrium.com/probe/uC-Probe-UsersManual.pdf>
- ▶ **IAR** <https://www.iar.com/products/overview/>
- ▶ ...

IMP - programování
vestavných app. v C

Josef Strnadel

Normy/Standardy

Informační zdroje

ACLE

CMSIS

MISRA-C

Poznámky k
programování

Prostředky

implementace

Informační zdroje

Co je v dokumentaci?

Vztah dokumentace-
programování

Vývojové nástroje

KDS

KSDK

Processor Expert

MCUXpresso

Mbed

57

Další

Závěr

57

Shrnutí a další harmonogram

Jsou nějaké dotazy, komentáře, náměty ... ?

