

Burkhard Mann

C PRO

MIKROKONTROLÉRY

ANSI-C, kompilátory C, spojovací programy – linkery, práce s ATMELE AVR a MSC-51, příklady programování v jazyce C, nástroje pro programování, tipy a triky, ...

μC & praxe

Praha 2003



Kniha je překladem německého originálu

Burkhard Mann: C für Mikrocontroller – ANSI-C, C-Compiler/Linker, Echtzeitbetriebssysteme, C-Programmierbeispiele, Tools für die Programmierung, Tipps und Tricks

ISBN 3-7723-4154-3, vydaného nakladatelstvím Franzis Verlag.

Alle Rechte vorbehalten, auch die der fotomechanischen Wiedergabe und der Speicherung in elektronischen Medien.

Die meisten Produktbezeichnungen von Hard- und Software sowie Firmennamen und Firmenlogos, die in diesem Werk genannt werden, sind in der Regel gleichzeitig auch eingetragene Warenzeichen und sollten als solche betrachtet werden. Der Verlag folgt bei den Produktbezeichnungen im wesentlichen den Schreibweisen der Hersteller.

Franzis Verlag GmbH, 85586 Poing, Germany

Burkhard Mann

C PRO MIKROKONTROLÉRY – ANSI-C, kompilátory C, spojovací programy – linkery, práce s ATMEL AVR a MSC-51, příklady programování v jazyce C, nástroje pro programování, tipy a triky, ...

µC & praxe

Bez předchozího písemného svolení nakladatelství nesmí být kterákoli část kopírována nebo rozmnožována jakoukoli formou (tisk, fotokopie, mikrofilm nebo jiný postup), zadána do informačního systému nebo přenášena v jiné formě či jinými prostředky.

Autor a nakladatelství nepřijímají záruku za správnost tištěných materiálů. Předkládaná zapojení a informace jsou zveřejněny bez ohledu na případné patenty třetích osob. Nároky na odškodnění na základě změn, chyb nebo vynechání jsou zásadně vyloučeny.

Recenze českého vydání Václav Vacek

Veškerá práva vyhrazena.

© Burkhard Mann, 2000–2002

© Franzis Verlag GmbH, 2000

© BEN – technická literatura, 2003

Translation © Václav Losík, 2003

BEN – technická literatura, Věšínova 5, 100 00 Praha 10

Burkhard Mann: **C PRO MIKROKONTROLÉRY – ANSI-C, kompilátory C, spojovací programy – linkery, práce s ATMEL AVR a MSC-51, příklady programování v jazyce C, nástroje pro programování, tipy a triky, ...**

BEN – technická literatura, Praha 2003

1. české vydání

ISBN 80-7300-077-6

Orig.: ISBN 3-7723-4154-3 (Franzis Verlag GmbH)

OBSAH

O KNIZE	7
CO NAJDETE NA DOPROVODNÉM CD	9
PÁR SLOV K ČESKÉMU VYDÁNÍ	10
1 STRUČNÝ ÚVOD DO JAZYKA ANSI-C PRO MIKROKONTROLÉRY	11
1.1 Konstrukce a struktura programu v jazyce C	12
1.2 Proměnné, datové typy, rozsahy platnosti a hodnot	16
1.2.1 Základní typy: <i>int, char, float, double</i>	17
1.2.2 Konstanty a výčtové typy: <i>#define, enum</i>	22
1.2.3 Změna typu: <i>automaticky, pomocí cast</i>	31
1.2.4 Paměťová třída <i>static, extern, register, auto</i> a atribut <i>const, volatile</i>	33
1.2.5 Struktury a uniony: <i>struct, union</i>	37
1.2.6 Pole (<i>arrays</i>), znakové řetězce a bitová pole	41
1.2.7 Vlastní datové typy: <i>typedef</i>	44
1.3 Operátory	46
1.3.1 Přiřazení a aritmetické operátory: <i>=, *, /, %, +, -, ++, --</i>	46
1.3.2 Porovnávací a logické operátory: <i>==, !=, <=, >=, <, >, !, &&, </i>	48
1.3.3 Bitové operátory: <i>&, , <<, >>, ^, ~</i>	50
1.3.4 Funkce jazyka C	52
1.3.5 Podmíněný výraz <i>?:</i>	60
1.3.6 Speciální operátory: <i>sizeof</i>	61
1.3.7 Precedence a asociativita operátorů	61
1.4 Pointery, ukazatele a proměnné-adresy: <i>&, *, ,, -, [],</i>	63
1.5 Řízení programu: <i>if, else, while, switch, case, for</i>	69
1.5.1 Příkazy jazyka C	69
1.5.2 Blok <i>{ }</i>	69
1.5.3 Příkaz <i>if-else</i>	70
1.5.4 Smyčky <i>while</i>	71
1.5.5 Příkaz <i>switch-case</i>	71
1.5.6 Příkaz <i>for</i>	72
1.5.7 Nepodmíněné větvení programu: <i>break, continue, goto</i>	73
1.6 Definice, deklarace	73
1.7 Direktivy preprocesoru	75
1.7.1 Zahmutí souboru : <i>#include</i>	77
1.7.2 Přepínače kompilátoru: <i>#define name, #if, #ifdef, #elif</i>	77

1.7.3	Makro: #define jméno text_makra	78
1.7.4	Konstanta: #define jméno hodnota	79
1.7.5	Direktiva #pragma	79
1.8	Zdrojové soubory (source files) a soubory include	80
1.9	Knihovna ANSI (ANSI Library)	81
1.9.1	Vstup/výstup <stdio.h>	82
1.9.2	Funkce pro testování znaků <ctype.h>	84
1.9.3	Funkce pro znakové řetězce <string.h>	84
1.9.4	Matematické funkce <math.h>	86
1.9.5	Pomocné funkce <stdlib.h>	87
1.9.6	Hledání chyb <assert.h>	88
1.9.7	Seznamy proměnných argumentů <stdarg.h>	88
1.9.8	Globální skoky <setjmp.h>	88
1.9.9	Signály <signal.h>	88
1.9.10	Datum a čas <time.h>	89
1.9.11	Mezní hodnoty <limit.h>	89
2	KOMPILÁTOR C PRO MIKROKONTROLÉRY	91
2.1	Jazyk C a architektury MCU: von Neumann, Harvard, RISC, CISC, CISP	97
2.2	Požadavky jazyka C na architekturu MCU	99
2.3	8bitové architektury MCU od firmy Atmel	101
2.3.1	Rozšířené 8bitové mikrokontroléry RISC rodiny AVR	101
2.3.2	MCS-51	109
2.4	IAR Embedded Workbench	116
2.4.1	Založení jednoduchého projektu	118
2.4.1.1	Editor	120
2.4.1.2	Nastavení projektu	121
2.4.1.3	Kompilace a spojování	127
2.4.2	Ladicí program C-Spy	128
2.4.3	Kompilátor C firmy IAR Systems pro mikrokontroléry AVR	132
2.4.3.1	Rozšíření jazyka	133
2.4.3.2	Pragma direktivy a předdefinované symboly	137
2.4.3.3	Vlastní funkce (intrinsic), AVR-LIB a makra	139
2.4.3.4	Startup kód: cstartup.s90	141
2.4.4	Spojovací program XLINK pro AVR	145
2.4.5	Efektivní kód C pro mikrokontroléry AVR	150
2.4.5.1	Používání ukazatelů	151
2.4.5.2	Registry sfrb a přístupy vstupu/výstupu	153
2.4.5.3	Bitové proměnné	155
2.4.5.4	Přístup na EEPROM	160

2.4.5.5	<i>Definice proměnných</i>	165
2.4.5.6	<i>Iterace, smyčky</i>	166
2.4.5.7	<i>Kód jazyka C a kód assembleru</i>	169
2.4.6	<i>Kompilátor C pro mikrokontrolér 8051 od firmy IAR</i>	171
2.5	Ladící program (debugger) AVR Studio	177
2.6	EC++ pro mikrokontroléry	178
3	PŘÍKLADY PROGRAMŮ V JAZYCE C PRO AVR	183
3.1	Řízení přerušení UART	183
3.2	Indikace na displeji LCD	194
3.3	Časovač (Timer)	198
4	TIPY A TRIKY V JAZYCE C	201
4.1	Efektivní C: velikost kódu, paměťové místo, typy proměnných	201
4.2	Pozor na pasti: Jak se vyhnout typickým chybám v C	208
5	SYSTÉMY PRACUJÍCÍ V REÁLNÉM ČASE	213
5.1	Všeobecný popis funkce	214
5.2	Vysvětlení pojmů: task, multitasking, preempting, RoundRobin	215
5.3	Plánovač (scheduler)	217
5.4	Komunikace mezi tasky	218
6	DOBŘÝ PROGRAMOVACÍ STYL V JAZYCE C	221
6.1	Návrh/design programu	221
6.2	Soubory, funkce, konvence pro volbu jmen	224
6.3	Softwarová rozhraní	226
6.4	Defenzivní programování	228
7	NÁSTROJE PRO PROGRAMOVÁNÍ V JAZYCE C	229
8	DODATKY	233
8.1	Formátovaný výstup (printf conversions)	233
8.2	Formátovaný vstup (scanf conversions)	234
8.3	Tabulka ASCII	236

9	RD2 KIT C PROGRAMMING	241
9.1	Umíte ASM – začněte programovat i v C	241
9.2	Vývojový kit s procesorem T89c51RD2	242
9.3	Popis konektorů a přípojných míst	244
9.4	RD2-Flasher	249
9.4.1	<i>Práce s programem FLASHER</i>	<i>250</i>
9.4.2	<i>Tipy, triky, praxe</i>	<i>251</i>
9.4.3	<i>Atmel FLIP</i>	<i>252</i>
9.5	Úvod do programování v Keil C51 a SDCC	253
9.6	Popis prostředí μ Vision2 IDE	256
9.7	SDCC – Small Device C Compiler	258
9.8	40 řešených příkladů v jazyce C pro Keil i SDCC	261
9.8.1	<i>Sériový kanál</i>	<i>263</i>
9.8.2	<i>LCD displej 2 × 16 znaků v 4bitovém režimu komunikace</i>	<i>264</i>
9.8.3	<i>Maticová klávesnice 4 × 3 tlačítka</i>	<i>266</i>
9.8.4	<i>Systém přerušení</i>	<i>266</i>
9.8.5	<i>Časovač Watchdog</i>	<i>267</i>
9.8.6	<i>Čítačem podporované programovatelné pole PCA, časovač T2 ...</i>	<i>268</i>
9.8.7	<i>Paměť programu FLASH</i>	<i>270</i>
9.8.8	<i>Paměť EEPROM</i>	<i>271</i>
9.8.9	<i>Vnější paměť dat XRAM</i>	<i>271</i>
9.8.10	<i>Speciální funkce procesoru</i>	<i>271</i>
9.8.11	<i>Diagnostika RD2 Kitu</i>	<i>272</i>
9.8.12	<i>Pokročilé použití vývojových nástrojů</i>	<i>273</i>
10	LITERATURA	275
	Prezentace firmy HW server	276
	Prezentace firmy HT Eurep	277
	Knihy nakladatelství	
	BEN – technická literatura	278
	Kontaktní adresy na firmu	
	BEN – technická literatura	280

O KNIZE

Dnes již sotva existuje technický obor z běžného života, ať již je to oblast multimédií, komunikací, automobilové techniky nebo průmyslu, v níž nejdůležitější řídicí funkce nepřevzaly mikrokontroléry. Nové, stále výkonnější výrobky, jako jsou satelitní přijímače, set-top-boxy, internetové boxy, DVD přehrávače, navigační systémy GPS a mobilní telefony, kladou stále rostoucí požadavky jak na mikrokontroléry, tak na software, který je pro ně nutno vyvinout.

Mezi mikrokontroléry nazývanými též stručně MCU (MicroController Unit), rozdělenými podle šířky registrů a datové sběrnice na 8, 16 a 32bitové typy, jsou doposud nejrozšířenější 8bitové a 16bitové mikrokontroléry, které představují 80 % všech případů aplikací. Podíl 32bitových typů v „embedded systems“ roste především ve vysoce integrovaných čipech, jako jsou dekodéry MPEG nebo přípravky GPS, u nichž jen jedna komponenta je 32bitová CPU. Pro mnoho aplikací však 8bitová MCU zůstává z hlediska poměru cena/výkon tím nejlepším řešením. Výzkumy dokládají, že poptávka po 8bitových mikrokontrolérech bude značná ještě po dlouhou dobu i v 21. století.

Není tedy divu, že trh mikrokontrolérů existující již více než 20 let je ožíván novými rodinami a architekturami. V posledních letech se objevily mj. nové 8bitové rodiny mikrokontrolérů PIC, AVR a 16bitové rodiny jako H8S, XA, C167, M16C. A jistě budou následovat další.

To, co se v poslední době výrazně změnilo, je způsob programování mikrokontrolérů. Klíčové slovo **Time-to Market** znamená kratší doby vývoje softwaru při rostoucí složitosti aplikací a zachování nebo zvýšení **kvality**. Dále jsou to z toho plynoucí požadavky na opakovatelnou použitelnost, průhlednost, přenosnost, udržovatelnost softwarových modulů, které vyžadují použití vyšších programovacích jazyků a speciálních vývojových nástrojů.

Jazyk ANSI-C v posledních letech dokázal, že je pro požadavky oboru mikrokontrolérů velmi vhodný. C je v současné době nejčastěji používaný programovací jazyk, a to nejen při programování mikrokontrolérů. Jeho blízkost hardwaru a efektivní a pružná práce s paměťmi a přídatnými zařízeními uspokojuje zejména požadavky »embedded systems« (uzavřených, zapouzdřených systémů).

Mnohým připadá přechod z assembleru na jazyk C obtížný. Pochybnosti týkající se velikosti kódu a rychlosti zpracování však již u moderních mikrokontrolérů a kompilátorů C nejsou na místě. Firmy Atmel a IAR Systems dávají skvělý příklad v podobě úspěšné rodiny mikrokontrolérů AVR. Výše uvedené požadavky moderního softwarového inženýrství jsou do jazyka C podstatně snáze přenositelné.

Proto vznikla i tato kniha, která ve stručném úvodu omezujícím se na podstatné věci vysvětluje základy ANSI-C relevantní pro mikrokontroléry. V popředí stojí tvorba efektivního programového kódu. Podrobněji jsou například uváděny zvláštnosti jazyka C pro rodiny mikrokontrolérů AVR, MCS-51. Na doprovodném CD jsou vedle všech příkladů a tabulek jazyka C k dispozici také kompilátor pro jazyk C

a simulátory MCU od firmy IAR Systems, které jsou určeny pro rodiny AVR a 8051 AT89 firmy Atmel, takže všechny příklady je možno způsobem blízkým praxi napodobit v simulátoru.

Je také ukázáno, jak je možno si vývojovou práci zjednodušit v rámci vývojového systému Embedded Workbench pomocí nástrojů editor, make, kompilátor (překladač), spojovací program (linker, sestavovací program), ladicí program (debugger). A přirozeně také mnoho tipů a triků, které mají začátečníkům v C usnadnit začátky a zkušeným poskytnout podněty k zamyšlení. Mysleli jsme však i na rychlé vyhledávání informací. Proto jsou v knize používány tři symboly pro „zapamatovat si“, „promyslet si“ a „napodobit“.



Pomocí tohoto piktogramu je možno rychle vyhledávat základní vědomosti nebo důležitá shrnutí, která jsou často používána. Má smysl si je zapamatovat a šetřit tak časem.



Abyste pochopili pozadí, je důležité si promyslet souvislosti. Proto je v knize používán tento piktogram, který označuje příklady, porovnání, podněty, použití nástrojů nebo také způsoby nastavení.



Všechny příklady označené tímto způsobem je možno zpracovávat a napodobovat pomocí přiložené demoverze Embedded Workbench™ od firmy IAR Systems. Součástí tohoto vývojového prostředí (workbench) je ladicí program (debugger) C-Spy jako simulátor MCU na stolním počítači, pomocí něhož je možno testovat a analyzovat kód C.

Za podporu při přípravě této knihy děkuji na tomto místě firmě Kathrein Werke KG v Rosenheimu, panu Hartmannovi a jeho pomocníkům ve firmě IAR Systems AG a firmě Atmel. V neposlední řadě děkuji i své rodině, bez jejíž pomoci by takový projekt nebylo možno zvládnout.

Kolbermoor, leden 2000, Burkhardt Mann

CO NAJDETE NA DOPROVODNÉM CD-ROM

CD obsahuje související programy a především zdrojové příklady ke knize. Naleznete zde všechny informace potřebné pro snadnou práci s knihou. Tyto informace lze rozdělit do logických celků, které se nacházejí v oddělených adresářích:

- adresář **_DATA** je pracovní adresář funkce AUTORUNu,
- adresář **_UTIL** obsahuje instalační soubory programů Adobe Acrobat Reader,
- adresář **ATMEL** je zčásti tvořen původním obsahem německého doprovodného CD a zčásti aktuálními daty převzatými z jejich webových stránek.
_nove (aktuální verze programu AVR Studio, programátor ISP,
katalogové listy mikrokontrolérů ATMEL, ...)
Acrobat (katalogové listy z původního CD),
images (pracovní adresář z původního CD),
PDF (dokumentace z původního CD),
Software (vývojové prostředí z původního CD).
- adresář **BEN.WWW** obsahuje off-line verzi www stránek nakladatelství BEN – technická literatura (aktualizováno k počátku března 2003), jejichž součástí je počítačová verze tištěného katalogu – Edičního plánu „jaro/léto 2003“,
- adresář **CZ** je vlastní náplň CD, tj. jedná se o dokumenty HTML. Část z nich byla přeložena ze zdrojového adresáře DE do češtiny a dále graficky upravena. Část byla aktualizována, doplněna a dále rozšířena. Vše v češtině nebo angličtině.
- adresář **DE** je převážná část CD, které bylo součástí původního německého originálu knihy. Vše v němčině.
- adresář **IAR** je zčásti tvořen původním obsahem německého doprovodného CD a zčásti převzatými daty z demonstračního CD firmy IAR.
ApplicationNotes (Aplikační poznámky k původním datům),
Datasheets (katalogové listy k původním datům),
Files (nová doprovodná dokumentace),
Demos (nové demoverze programů),
Workbench_8051 (bližší popis této starší verze programu zde v knize),
Workbench_AVR (bližší popis této starší verze programu zde v knize),
XML (systémové soubory prezentace IAR).
- adresář **PRIKLADY** jsou zdrojové texty k příkladům ke kapitolám 1, 2 a 3.
- adresář **SW_TOOLS** je software a programovací nástroje převzaté z původního německého vydání.

PÁR SLOV K ČESKÉMU VYDÁNÍ

Na knize jsme začali pracovat počátkem roku 2002, kdy jsme podepsali a zaplatili licenci udělenou německým vydavatelem. Nějakou dobu ji zpracovával překladatel, poté jsme ji po několika měsících práce v závěru roku 2002 dokončili u nás v redakci nakladatelství BEN – technická literatura.

Vezmeme-li v úvahu, že autor knihu dokončil a rukopis odevzdal v lednu 2000, uběhla od sestavení původních informací, tvořících jádro knihy, již poměrně dlouhá doba. Z těchto důvodů jsme se snažili počátkem roku aktualizovat alespoň obsah doprovodného CD ROM, abyste jako čtenáři dostali do ruky opravdu hodnotný kus díla. Pokud bychom totiž chtěli náplň knihy neustále aktualizovat, dostávali bychom se do začarovaného kruhu, neboť než bychom stačili zpracovat nové verze programů, tak by byla k mání nová verze AVR Studia nebo programu Emdeded Workbench.

Není však účelem této knihy popisovat konkrétní verze programů, ale dodat čtenářům jisté know-how, aby byli schopni se zmiňovanými programy pracovat sami.

Počátkem roku jsme od firmy IAR obdrželi jejich CD s demoverzemi programů (vydané na přelomu 2002/2003), z nichž jsme jejich hlavní produkty umístili na doprovodném CD. Zároveň i firma Atmel aktualizovala výrazně vzhled svých www stránek, který je zároveň přehlednější.

Jak sami zjistíte, průměrně zabírají instalace Emdeded Workbench kolem 20 MB datového prostoru (pro každý jednotlivý mikrokontrolér) a pro mikrokontroléry řady Atmel AVR je to dokonce cca 42 MB. Ne každý má možnost připojení „rychlého Internetu“, což byl hlavní důvod – raději jsme počkali na zaslání CD z firmy IAR, než abychom vydali knihu s doprovodným CD, které bude mít zastaralý obsah.

Takže přesto, že vychází kniha oproti původním předpokladům s mírným zpožděním, v konečném důsledku nám to vlastně pomohlo výrazně aktualizovat obsah doprovodného CD ROM.

Libor Kubica
redakce@ben.cz

Doporučujeme (na doprovodném CD):

IAR Emdeded Workbench Evaluation version for Atmel AVR v2.27B

\\IAR\Demos\EWAVR\ewavr-ev.exe

AVR Studio 4.06 for Windows 9x/NT/2000

\\ATMEL_nove\avr_4.0\AvrStudio4RC1.exe