汽车嵌入式系统C编程

和卫民 姜亦学 编著

吉林大学出版社
JILIN UNIVERSITY PRESS

汽车嵌入式系统C编程

和卫民　姜亦学　编著

吉林大学出版社

图书在版编目（CIP）数据

汽车嵌入式系统C编程/和卫民，姜亦学编著. —长春：吉林大学出版社，2012.11
ISBN 978-7-5601-9366-3

Ⅰ.①汽… Ⅱ.①和… ②姜… Ⅲ.①汽车—计算机控制系统—C语言—程序设计 Ⅳ.①U463.6

中国版本图书馆CIP数据核字（2012）第282105号

书　名：汽车嵌入式系统C编程
作　者：和卫民　姜亦学　编著

责任编辑：孟亚黎　责任校对：刘守秀
吉林大学出版社出版、发行
开本：787×1092毫米　1/16
印张：13.125　字数：300千字
ISBN 978-7-5601-9366-3

封面设计：李华三
吉林省吉财印务有限公司　印刷
2012年12月第1版
2012年12月第1次印刷
定价：28.00元

社址：长春市明德路501号　邮编：130021
发行部电话：0431-89580026/28/29
网址：http://www.jlup.com.cn
E-mail:jlup@mail.jlu.edu.cn

内容简介

本书以汽车嵌入式系统软件设计为背景，介绍嵌入式C语言的编码，主要内容包括嵌入式系统介绍、嵌入式软件开发过程必须遵守的基本原则、嵌入式硬件环境的一般结构和工作方式、源代码的编译、链接与定位过程、嵌入式实时操作系统的基本概念、嵌入式C语言重点难点介绍以及嵌入式软件编码过程中提高软件安全可靠性、代码运行效率和可移植性的编码技巧。

本书适合于想成为一名嵌入式软件开发工程师，但是从来没有过嵌入式系统开发经验的读者。同时，那些已经有了一些嵌入式软件开发经验，但仍然对嵌入式系统编码认识不够的非计算机专业的工程师，也可以通过本书学到一些非常实用的嵌入式软件编码技巧和方法。

另外，本书也非常适合作为高校计算机专业学生学习嵌入式软件编码的参考教材。

前　言

目前，嵌入式系统几乎无处不在，嵌入式软件使机器拥有了智能，给人们的生活带来了舒适和享受。至于嵌入式系统软硬件技术在汽车、航天等方面的应用更是举不胜举。

很多刚开始从事嵌入式软件开发的人，虽然曾经学习过很多软件设计的课程或资料，有一些编程语言方面的基础，但是因为以前没有做过实际的嵌入式软件开发项目，也没有“高人”指点，会一直都搞不清嵌入式C和纯C有哪些区别和联系，更谈不上对嵌入式开发有什么认识。这时，一本专门介绍嵌入式C编码的一般规律和技巧的，能够引导一个软件开发工程师透彻了解嵌入式软件编码特点，并能成为一名嵌入式软件程序员高手的这样一本教材是很必要的。目前，结合实际开发经验阐述嵌入式软件实际开发技能的资料仍很匮乏，这是编写本书的主要原因。

本书特色：

➢ 阐述了成为一名优秀的嵌入式软件程序员应该掌握的基本知识和技巧。

➢ 语言的介绍聚焦在它与嵌入式结合后展现的特点和用法。

➢ 描述了对所有微处理器都适用的嵌入式软件编码知识和技巧，而不是像一般同类书籍那样用一大堆单片机应用的例子堆砌而成。

➢ 本书大部分内容都是根据作者本人近年的汽车电子嵌入式软件开发工作中积累的经验和体会总结而成，因此对于嵌入式软件工程师来说具有很高的参考价值。

本书具体内容：

第1章介绍了嵌入式系统的概念和定义、发展概况、嵌入式系统的设计要求、软件在嵌入式系统中的地位，并且以汽车上嵌入式系统的应用为例，介绍了分布式嵌入式系统的一般开发过程。

第2章介绍了嵌入式系统开发各个阶段需要注意的一般原则和方法（按照软件V型生命周期模型）。虽然本书不是软件工程方面的专著，但是了解软件生命周期模型，将有助于我们做好编码工作。

第3章介绍了一个简单的嵌入式程序。通过这个简单的例子以及作者自

己的亲身经历，来告诉那些刚开始嵌入式软件开发的朋友，如何开始自己的第一个嵌入式程序。

第4章介绍一般嵌入式系统的硬件环境。主要内容有：嵌入式硬件环境的一般结构、微处理器对各种硬件资源的寻址方式、存储器的分类、存储和访问机制、I/O设备的输入输出控制方式、嵌入式系统的初始化等等。进行嵌入式软件编码，必须了解嵌入式系统的硬件的结构和特点，才能真正编写出在目标环境中可以高效可靠运行的程序。

第5章介绍了源代码的编译、链接、定位过程，以及代码的下载和调试方法。

第6章介绍了嵌入式操作系统中的一些基本概念。具体内容有实时的概念、共享资源、代码临界段、任务的切换、互斥条件的实现等等。目前除了非常简单的嵌入式系统外，几乎所有的嵌入式系统中都集成了嵌入式操作系统，只有了解操作系统中的基本概念，我们才能理解应用程序的各个任务是如何调度的，资源是如何分配的，以及我们编写的程序如何移植到操作系统中来。

第7章介绍了嵌入式C语言中的重点和难点。本章并没有非常系统地介绍C语言的所有概念和知识，现在市场上的关于C语言的专著实在太多了。所以本章重点根据嵌入式的特点，把C语言中的重点和难点，以及和嵌入式应用关系非常密切的内容做了详细的介绍，并举了很多应用的编码实例。

第8章介绍如何编写出安全可靠的程序，重点介绍提高软件安全和可靠性的常用的一些编码原则和编码技巧。如数据和函数的安全保护、数据运算的溢出处理、共享资源的保护、断言的应用等等。

第9章介绍如何编写运行高效的程序，重点介绍如何优化程序的运行效率，以及在实际的编码过程中可能会用到的提高代码执行效率、降低资源消耗的编码技巧。如ROM的优化、RAM的优化、运行时间的优化、如何降低CPU的运算强度等等。

第10章介绍提高代码可移植性的常用编码技巧。如软件模块的封装和可配置、软件模块源文件的组织、硬件异构的屏蔽等。

编著者

于一汽技术中心

说　明

1. 没有特殊声明，本书中所有源代码中数据类型使用如下定义：

```
/*Fix-point type definitions  */
typede funsigned char          uint8;
typede fsigned char            sint8;
typede funsigned short         uint16;
typede fsigned short           sint16;
typede funsigned long          uint32;
typede fsigned long            sint32;
```

2. 本书中所有的源代码只是为了说明相应的知识和理论，均未经过严格的测试。

缩略语（按在文中出现的顺序排列）

PDA	Personal Digital Assistant
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
I/O	input/output
EPROM	Erasable Programmable ROM
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
EMS	Engine Management System
ABS	Anti-locked Braking System
BCM	Body Control Module
DBU	Dash-Board ECU
CAN	Controller Area Network
LIN	Local Interconnect Network)
MOST	Media Oriented System Transport
ROM	Read Only Memory
RAM	Random Access Memory
ECU	Electronic Control Unit
ECM	Electronic Control Module
OSEK	德文缩写，含义为：Open Systems and the Corresponding Interfaces for Automotive Electronics
AUTOSAR	AUTomotive Open System Architecture
CRC	Cyclic Redundancy Check
API	Application Programming Interface

CPU	Central Processing Unit
DMA	Direct Memory Access
A/D	Analog/Digital
D/A	Digital/Analog
DRAM	Dynamic RAM
SRAM	Static RAM
NVRAM	Non-Volatile RAM
MSB	Most Significant Bit/Byte
LSB	Least Significant Bit/Byte
EMI	Electo-Magnetic Interference
PC	Program Counter
SFR	Special Function Register
OS	Operating System
COFF	Common Object File Format
ELF	Extended Linker Format
GUI	Graphical User Interface
ISR	Interrupt Service Routine
RTOS	Real-Time Operation System
WDT	Watch Dog Timer

目　录

1 嵌入式系统介绍

1.1 嵌入式系统的定义

很多书中都给出了嵌入式系统的定义，IEEE 对于嵌入式系统的定义：An Embedded system is the devices used to control, monitor, or assist the operation of equipment, machinery or plants. *Programming Enmbedded Systems in C and C++*一书中对于嵌入式系统的定义为：An *embedded system* is a combination of computer hardware and software, and perhaps additional mechanical or other parts, designed to perform a specific function. 结合这两种定义，我想这样定义嵌入式系统比较合适：

嵌入式系统(embedded system)是以具体应用(special function)为中心，以计算机软件和硬件技术为基础，软硬件可裁剪，适用于应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗有严格要求的专用计算机系统。它一般由嵌入式微处理器、外围硬件设备、嵌入式操作系统以及用户的应用程序四个部分组成，用于实现对其他设备的控制、监视或管理等功能。

在日常生活中，嵌入式系统的例子有很多。几乎所有电器设备都可以认为是嵌入式系统，如掌上 PDA、移动计算设备、电视机顶盒、手机、数字电视、多媒体、汽车、微波炉、数字相机、家庭自动化系统、电梯、空调、安全系统、自动售货机、蜂窝式电话、消费电子设备、工业自动化仪表与医疗仪器等。所有这些电器设备都是为了满足我们某一个特殊的应用需求，都使用了计算机技术，除了计算机软硬件之外，往往还可能包含其他机械和电子零部件，而且对功能、可靠性、成本、体积、功耗都有严格的要求。

注意嵌入式系统和个人通用计算机(personal computer)的区别和联系。通用计算机和嵌入式系统一样也是由基本的计算机软硬件及外围硬件设备组成，但是要注意个人计算机并不是针对具体应用(specail function)，它可以做很多种事情，所以一般个人计算机也被人们称做通用计算机(general-purpose computer)。

嵌入式系统的硬件部分，像个人计算机一样也包括处理器、存储器及外设器件和 I/O 端口及一些外围设备等。但嵌入式系统它不具备像硬盘那样大容量的存储介质，而大多使用 EPROM、EEPROM 或闪存(Flash Memory)作为存储介质。个人计算机本身其实就包含很多嵌入式系统，如键盘、光驱、软驱、内置调制解调器，这些其实本身就是一个小的嵌入式系统。

很多时候，嵌入式系统往往只是一些大型系统和设备中的一个组成部分。比如现在的汽车和一些先进的卡车，都包含了很多嵌入式系统。有用来控制发动机喷油点火和排放的 EMS(Engine Management System)、有控制防抱死的 ABS(Anti-locked

Braking System)、有控制车窗车门等车身器件的BCM(Body Control Module),还有控制仪表盘显示的DBU(Dash-Board ECU),当这些嵌入式系统需要交互和协调工作时,往往会通过通讯网络连接起来并按照制定好的通讯协议进行信息交换。比如,汽车上非常典型的通讯总线有CAN、LIN、FlexRay和MOST,而且无线通讯技术也有应用,比如遥控钥匙(Remote key)。

1.2 嵌入式系统的历史和未来

1971年,intel开发了世界上第一个微处理器4004,当时这款微处理器是用在一家日本公司的商用计算器上的。在1969年,这家日本公司让intel为它们的每一个最新款计算器分别设计一个符合各自应用需求的集成电路,于是在1971年,微处理器4004就诞生了。

但是intel公司设计的是一个可以用于所有计算器的通用微处理器,而不是为每一款计算器都设计一款处理器。这款微处理器用来读和执行一套存在微处理器外部存储器芯片中的软件指令。Intel的想法是通过软件使每一款计算器具有自己的特点。这款微处理器取得了很大的成功,它的应用在接下来的10年内稳步提高。早期的应用包括无人火箭的空间探测、交通灯控制以及航天飞行控制系统。

终于在20世纪80年代,嵌入式系统呈现爆炸式增长。嵌入式系统把微处理器的应用带入到我们每个人的工作和生活中。我们生活中很多电器,如微波炉、面包机、电视、音响、遥控器等等,我们工作中的传真机、打印机、读卡器等等都是嵌入式系统。这种持续的增长一直没有停止过,直到现在。凡是电器、凡是和智能沾边的事物都会和嵌入式系统有着紧密的联系。

现在几乎每天都有新的嵌入式产品上市,小到手机、彩电,大到汽车,随着嵌入式新产品的不断问世,我们的生活和工作方式也在不知不觉中发生了巨大的变化,而这种变化还在继续。

1.3 理解嵌入式实时系统(real-time system)

所谓实时系统(real-time system),就是对系统的响应时间有要求的计算机系统。其实所有的嵌入式系统都可以理解为实时系统,只不过对系统的响应时间要求的严格程度不同而已。一般对于实时系统来说,如果超出了它所能接受的最慢响应时间,跟给出错误响应一样糟糕。

如果实时系统的响应时间超出了它的最低限度,那么后果将是不可预料的。如在汽车上,防抱死系统(ABS)、安全气囊(airbag)都是典型的实时操作系统,如果它们的响应时间突然失效,那么结果严重的话可能是车毁人亡。对于航天飞机上实时系统的应用来说,这种失效更加严重。这种因为时间的失效导致的后果越严重,它的实时性要求将越严格,安全级别也越高。

对于实时系统的软件性能来说,可能更重视软件的运行效率,因为同一个硬件平

台，软件的运行将最终决定整个嵌入式实时系统的响应速度。本书提出了很多优化程序执行速度的方法和技巧，它们对于嵌入式实时系统的软件开发来说是很具有参考价值的。

1.4 嵌入式软件的作用和影响

其实，嵌入式系统的很多功能，既可以使用各种集成电路芯片来实现，也可以使用软件来实现，甚至可以完全使用集成电路，不使用软件就可以实现嵌入式系统的功能。但为什么实际的应用中不是这样呢？

如果用集成电路和硬线连接来实现嵌入式系统的功能，产品成本将很高，而且产品功能升级维护也很困难。而软件使得嵌入式系统的开发变得非常灵活，不需要更改硬件结构，通过修改程序就可以轻松实现嵌入式系统功能的维护和升级。

嵌入式系统发展到现在，硬件环境已经高度集成，各种芯片已经非常成熟，所以嵌入式系统出现的产品缺陷大部分都来源于软件。另外，随着嵌入式系统中软件功能越来越复杂，导致软件复杂度越来越高，软件出现错误的几率也大大提高。所以一款嵌入式产品的质量很大程度上取决于软件，在软件中，简单的数据溢出、一个符号错误往往就可以导致整个嵌入式系统崩溃。

在汽车行业，1999 年 7 月 22 日，通用汽车公司(General Motors)因为其软件设计上的一个问题，被迫召回 350 万辆已经出厂的汽车。宝马公司 2003 年 7 月因发动机 ECU 的软件问题而提出召回缺陷汽车。同样，电梯和医疗器械产品上也出现过类似的严重问题。由此可以看出，软件质量问题已经越来越深刻地影响到了产品的质量，甚至有些时候是致命的，在航空航天等领域更是如此。

如果微处理器是嵌入式系统的大脑，那么嵌入式软件就是大脑中留存的知识和意念。软件品质和功能的优劣决定了嵌入式系统的品质和功能的优劣。它很灵活，可以不用增加硬件成本就可以开发出功能强大、非常智能的产品，但是一旦软件出现问题，同样会带来巨大损失。所以，在嵌入式系统中，嵌入式软件的质量毫无疑问将占据越来越主导的地位。

1.5 嵌入式系统的设计要求

一般通用计算的软件都具有很好的可移植性，如 Microsoft office 软件几乎可以在所有的通用计算机上运行，而嵌入式软件却不同。嵌入式软件若要移植到不同的嵌入式软件平台上，往往需要对软件做出比较大的修改。这主要是因嵌入式系统的硬件特性所致。

为了降低嵌入式系统的开发和生产成本，硬件往往会根据具体应用要求进行裁减，那些没有用的电路被删减，能够进行共享的资源都进行共享。但是无论如何裁减，不同的嵌入式系统都将会有些共性，因为它们都是以计算机技术为基础的。下面我们将介绍这些共性，并列出一些不同嵌入式系统开发时考虑的一些设计指标。设计者一般是