



21世纪汽车专业“互联网+”创新型规划精品材料



嵌入式系统在智能汽车上的应用

李 卫 何仁基 汤 彬 主编

天津出版传媒集团

 天津科学技术出版社

内 容 提 要

本书主要包括：智能汽车嵌入式系统概述、嵌入式智能汽车温度调控、嵌入式智能汽车行驶记录仪、嵌入式智能汽车倒车雷达、嵌入式智能汽车车载实时导航定位系统、嵌入式智能汽车驾驶系统。

本书可作为职业院校汽车专业教材，也可作为相关专业人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

嵌入式系统在智能汽车上的应用 / 李卫, 何仁基,
汤彬主编. —天津: 天津科学技术出版社, 2022. 6

ISBN 978-7-5576-9919-2

I. ①嵌… II. ①李… ②何… ③汤… III. ①微处理器—应用—智能控制—汽车—高等职业教育—教材 IV.
①U46

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2022) 第 038166 号

嵌入式系统在智能汽车上的应用

QIANRUSHI XITONG ZAI ZHINENG QICHESHANG DE YINGYONG

责任编辑: 刘 颖

责任印制: 刘 彤

出 版: 天津出版传媒集团
天津科学技术出版社

地 址: 天津市西康路 35 号

邮 编: 300051

电 话: (022) 23332372

网 址: www.tjkjcs.com.cn

发 行: 新华书店经销

印 刷: 昌昊伟业 (天津) 文化传媒有限公司

开本 889×1194 1/16 印张 10 字数 280 000

2022 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

定价: 48.00 元

前言 / preface

对于普通人来说，嵌入式系统可能还是比较陌生的名词。随着经济快速发展，如今人们的日常生活中，从每天用的手机、手上戴的手表到家庭中的高清电视、智能冰箱、机顶盒，再到汽车电子、娱乐中的机器人，无不采用嵌入式技术。普通人可能说不清嵌入式系统是什么，但嵌入式系统已经体现在我们生活的方方面面。嵌入式系统是指由微处理器芯片实现的小型专门化的数字信号处理系统，主要由嵌入式处理器、相关支撑硬件、嵌入式操作系统，及应用软件系统等组成。它是集软硬件于一体的可独立工作的“器件”，这个“器件”不同于普通的模拟信号系统，其以软件运行的方式对数字信号进行灵活处理，具有智能化的特征，类似于微机，但又不依赖于微机软件操作系统，可以独立完成一定的功能。

近年来，智能网联汽车井喷发展，越来越多的汽车开始应用嵌入式系统。但是，目前市场上嵌入式系统的相关教材普遍倾向于智能家居，智能汽车相关教材几乎是一片空白。为解决智能网联汽车专业教材缺失的问题，在蚂蚁侠（深圳）科技有限公司及院校同仁的大力支持下，编写了《嵌入式系统在智能汽车上应用》一书。

本书从智能汽车嵌入式系统概述、开发环境、组成入手，围绕嵌入式智能汽车温度调控、智能汽车行驶记录仪、智能汽车倒车雷达、智能汽车车载实时导航定位系统、智能汽车驾驶系统等嵌入式系统应用展开，包含嵌入式系统功能介绍、硬件的结构组成、软件环境搭建、设计应用等内容。

由于编者水平有限，书中难免存在错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正。同时，本书在编写过程中受到了诸多企业及院校同仁的大力支持，参考了大量的文献资料，在此向企业、院校同仁及文献资料作者表示诚挚的感谢。

编者

编委会

主 审	张晓青	张俊停		
主 编	李 卫	何仁基	汤 彬	
副 主 编	武永勤	周永朋	李 舟	黄江锐
	陈 新	李宛蔓	薛超仁	
编 者	黄 琪	石秋红	李井清	王士铎
	郭景华	郝庆民	李姗姗	宋亚飞

目 录 / contents

项目一 智能汽车嵌入式系统概述	1
任务一 嵌入式系统概述	1
任务二 智能汽车嵌入式系统开发环境	6
任务三 智能汽车嵌入式系统组成	12
任务四 嵌入式系统在智能汽车上的应用	18
项目二 嵌入式智能汽车温度调控	23
任务一 嵌入式智能汽车温度调控的功能介绍	23
任务二 嵌入式智能汽车温度调控硬件系统设计	28
任务三 嵌入式智能汽车温度调控软件系统设计	37
项目三 嵌入式智能汽车行驶记录仪	43
任务一 嵌入式智能汽车行驶记录仪的功能介绍	43
任务二 嵌入式智能汽车行驶记录仪的系统硬件设计	48
任务三 嵌入式智能汽车行驶记录仪的系统软件设计	52
项目四 嵌入式智能汽车倒车雷达	55
任务一 智能汽车倒车雷达功能介绍	55
任务二 嵌入式智能汽车倒车雷达硬件设计	62
任务三 嵌入式智能汽车倒车雷达软件设计	73
项目五 嵌入式智能汽车车载实时导航定位系统	84
任务一 智能汽车导航定位系统功能介绍	84
任务二 嵌入式智能汽车导航定位硬件系统设计	91
任务三 嵌入式智能汽车导航定位系统硬件 PCB 板级设计	99
项目六 嵌入式智能汽车驾驶系统	107
任务一 嵌入式智能汽车驾驶系统功能介绍	107
任务二 嵌入式智能汽车驾驶系统硬件的结构组成	112
任务三 嵌入式智能汽车驾驶系统软件环境搭建	138
参考文献	152

项目一 智能汽车嵌入式系统概述



项目描述

近年来，嵌入式系统具有功耗低、体积小、较高的集成度，及运行稳定等诸多特点。随着汽车制造技术及电子技术地不断发展和进步，嵌入式系统被广泛应用于汽车制造行业，大大推动汽车的智能化发展。本次项目我们来阐述嵌入式系统的相关概念、开发环境、组成及其在智能汽车上的应用。

任务一 嵌入式系统概述



导学视频



学习目标

知识目标：认识嵌入式系统及其发展历程。

能力目标：掌握嵌入式系统的功能特点及其对应的应用。



知识链接

一、嵌入式系统的概念

嵌入式系统（Embedded System），是一种嵌入机械或电气系统内部、具有专一功能和实时计算性能的计算机系统。嵌入式系统常被用于高效控制许多常见设备，被嵌入的系统通常是包含数字硬件和机械部件的完整设备，例如汽车的防抱死刹车系统。相反，通用计算机如个人电脑则设计灵活，可以智能处理各式各样的运算情况，以满足广大终端用户不同的需要。

现代嵌入式系统通常是基于微控制器（含集成内存/外设接口的中央处理单元）的，但在较复杂的系统中普通微处理器（使用外部存储芯片和外设接口电路）也很常见。通用型处理器、专门进行某类计算的处理器、为手持应用订制设计的处理器等，都可能应用到嵌入式系统。常见的专用处理器是数字信号处理器（图 1-1-1）。

由于嵌入式系统专用于特定的任务，设计工程师可以对其进行优化，以减小产品的尺寸和成本，并提高可靠性和性能。一些嵌入式系统是批量生产的，受益于规模经济。

嵌入式系统应用范围从数字手表和 MP3 播放器等便携式设备，到交通灯、工厂控制器等大型固定设



备，以及混合动力汽车和磁共振成像等复杂系统。其复杂性范围，从低复杂性的单个微控制器芯片到高复杂性的安装在大型机箱或机箱内的多个单元、外围设备和网络（图 1-1-2）。

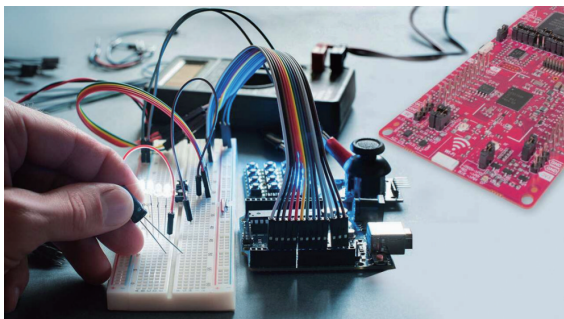


图 1-1-1 微控制器



图 1-1-2 混合动力汽车的嵌入式应用

二、嵌入式系统的发展历史

阿波罗导航计算机是最早被认可的现代嵌入式系统之一，由麻省理工学院仪器实验室的查尔斯·斯塔克·德雷珀 1965 年开发完成。在项目开始时，阿波罗制导计算机被认为是阿波罗项目中风险最大的项目，因为它采用了当时新开发的单片集成电路来减小尺寸和重量。一个早期大规模生产的嵌入式系统是 1961 年发布的 Autonetics D-17，这个系统用于 Minuteman 发射的制导计算机。当 Minuteman 二号于 1966 年投入生产时，D17 被一台首次运用大规模集成电路的新的计算机取代（图 1-1-3）。

20 世纪 60 年代，嵌入式系统的价格已经下降，处理能力和功能也有了显著的提高。例如，早期的微处理器英特尔 4004（1971 年发布）是为计算器和其他小型系统设计的，但仍然需要外部存储器和支持芯片。1978 年，国家工程制造商协会发布了可编程微控制器的“标准”，包括几乎所有基于计算机的控制器，如单片机、数字控制器和基于事件的控制器（图 1-1-4）。



图 1-1-3 阿波罗制导计算机（AGC）和 DSKY



图 1-1-4 微处理器英特尔的发展历程

随着微处理器和微控制器成本的下降，用微处理器读出的上/下按钮或旋钮取代电位计和可变电容等基于旋钮的昂贵模拟元件变得可行，甚至在消费品中也是如此。到 20 世纪 80 年代初，存储器、输入和输出系统组件已经集成到与构成微控制器的处理器相同的芯片中。价格昂贵的通用计算机的应用。可以用于相对低成本的微控制器的编程工作（图 1-1-5）。尽管在这种情况下，嵌入式系统通常比传统的解决方案更复杂，但大多数复杂性都包含在微控制器本身中。几乎不需要额外的组件，而且大部分设计



工作都在软件中完成。与不使用嵌入式处理器的新电路的设计和构建相比，软件原型和测试可以更快。

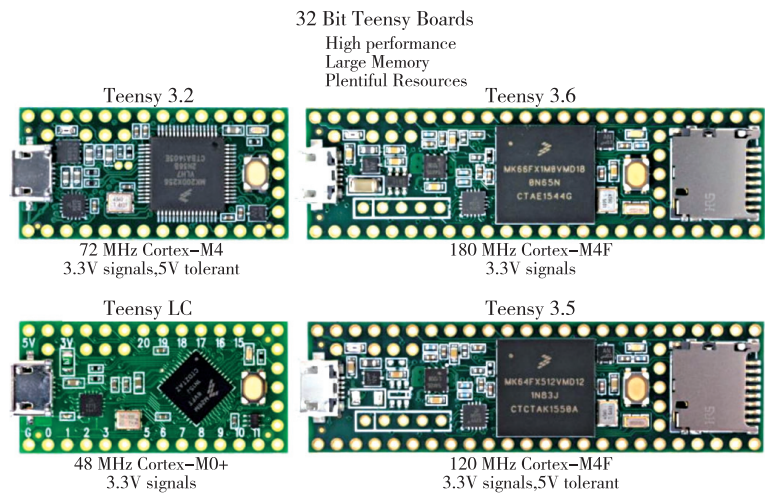


图 1-1-5 低成本的微控制器

三、嵌入式系统的特点

嵌入式系统大多是在特定环境下进行专业领域相关执行的应用系统，与通用型的计算机系统存在较大的差别。较通用型的计算机系统而言，嵌入式系统具有以下几方面特点。

（一）嵌入式系统主要面向特定领域，具有比较严格的实时性要求

嵌入式 CPU 应用于特定的用户群所运用的计算机系统。其具有较低的功耗、较小的体积、较高的集成度，以及较低的成本等特点，可以将通用型 CPU 中诸多由板卡所执行的任务同时集成在芯片的内部，这样使得嵌入式系统更加小型化和专业化，大大提升了其移动能力，实现与网络的紧密结合。在智能汽车上，采取嵌入式系统的功能有我们的智能钥匙，其中包括了一键启动开关、BCM、门把手触发模块及天线等功能模块（图 1-1-6）。

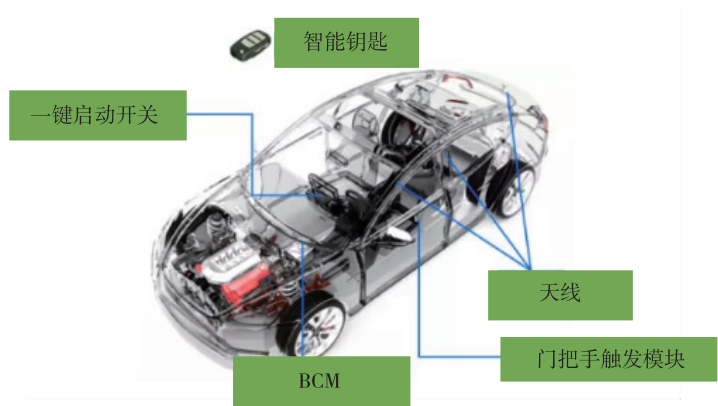


图 1-1-6 嵌入式系统的智能钥匙

嵌入式系统综合了当下先进的信息科学技术、半导体技术、电子技术，以及通信网络技术等众多领域的技术特点。同时，这一特点也决定了嵌入式系统必然为一个资金密集、技术密集、高度分散，以及不断创新、注重研发的继承式系统。



(二) 具有较长的生命周期

嵌入式系统与具体的应用程序有机地联系在一起，其升级换代也是与具体的产品协同进行的。因而，嵌入式系统的产品一旦出现在市场，通常具有比较长的更换周期。

(三) 设计要求较高的效率

嵌入式系统其硬件与软件的设计均要求较高的效率，在确保安全、稳定，以及可靠的基础上进行量体裁衣，减除冗余，追求性能与应用的先进性，以有效地降低成本投入，提升嵌入式系统相关产品的市场竞争力（图 1-1-7、图 1-1-8）。



图 1-1-7 智能汽车的防盗装置



图 1-1-8 智能汽车的中控信息交换

(四) 软件通常固化在存储芯片

为了提升系统的执行速度与可靠性，所有嵌入式系统中的相关软件通常都是固化于存储芯片或是处理器内部相应存储器件上，并不存储在外部磁盘、移动硬盘等载体中（图 1-1-9）。

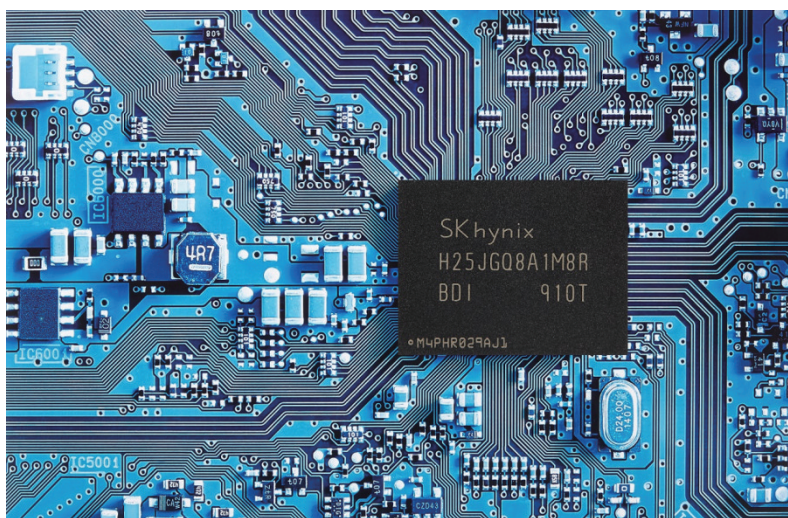


图 1-1-9 海力士的存储器件



(五) 不具备自主开发功能

嵌入式系统自身不具备自主开发功能，因而在设计完成之后，用户也无法对其中的某些程序功能予以修改和调整，必须运用一套完整的交叉开发工具及特定的环境才可以进行开发。



巩固提高

一、填空题

1. 嵌入式系统，是一种嵌入机械或_____、具有_____和实时计算性能的计算机系统。
2. _____是最早被认可的现代嵌入式系统之一，由麻省理工学院仪器实验室的查尔斯·斯塔克·德雷珀于_____年开发完成。
3. 随着_____和_____成本的下降，用微处理器读出的上/下按钮或旋钮取代电位计和_____等基于旋钮的昂贵模拟元件变得可行。到 20 世纪 80 年代初，存储器、输入和_____已经集成到与构成微控制器的处理器相同的芯片中。

二、简答题

1. 嵌入式系统的特点有哪些？
2. 嵌入式系统的汽车产品有哪些？



任务二 智能汽车嵌入式系统开发环境



学习目标

知识目标：认识不同的嵌入式系统的软件及其应用。

能力目标：能够使用相应的嵌入式系统的开发软件及硬件工具。



知识链接

一、开发环境的准备

根据系统的功耗、体积、成本，以及功能，可将嵌入式系统所采用的控制器粗略分为 MCU 和嵌入式 CPU 两种类型。MCU 是指没有 MMU（内存管理单元）的实时微控制器，主要采用 Cortex-M 或 Cortex-R 系列内核。嵌入式 CPU 具有 MMU，能够运行 Linux 等多用户、多线程操作系统，主要为 Cortex-A 系列内核。

所以，为了能够涵盖不同的开发需求，最好将所有用到的软件和环境提前安装和配置好，便于后期的开发（图 1-2-1）。

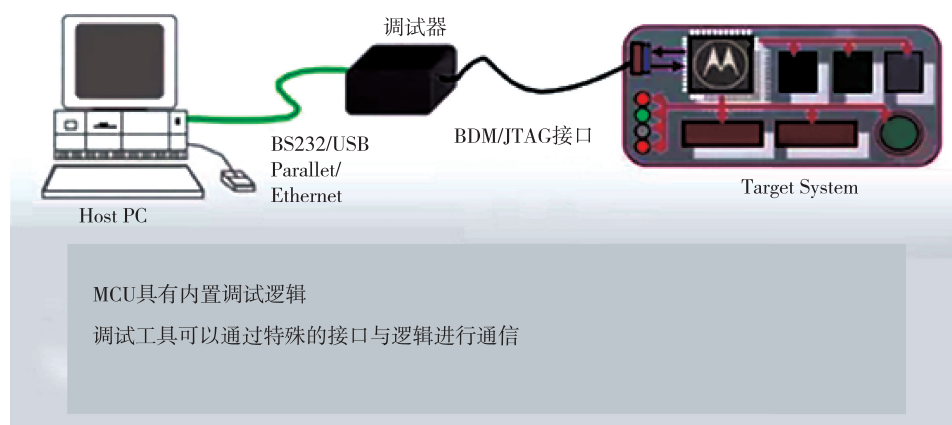


图 1-2-1 开发准备

二、软件和硬件工具

1. Keil MDK (Microcontroller Development Kit)

基于 ARM 内核的软件开发平台，是集程序编写、编译、在线调试、软件仿真等多功能于一身的开发平台，主要用于“无操作系统”或搭载 RTOS 的微处理器应用开发。其具有丰富的芯片支持库和强大的仿真调试功能，支持 Atmel、Analog Devices、Infineon、Maxim、Microchip、NXP、Silicon Laboratories、STMicroelectronics，以及 Texas Instruments 等大部分制造商的 ARM 芯片（图 1-2-2）。

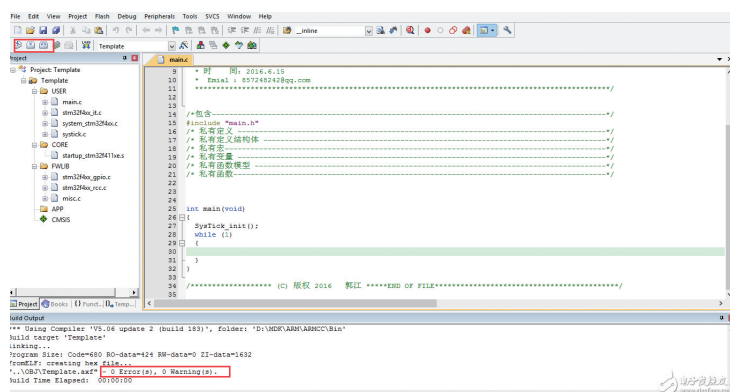


图 1-2-2 Keil MDK 开发环境搭建

2. J-LINK 仿真器驱动

配合 J-LINK 仿真器使用，用于 ARM 处理器程序开发的在线调试和程序下载（图 1-2-3）。

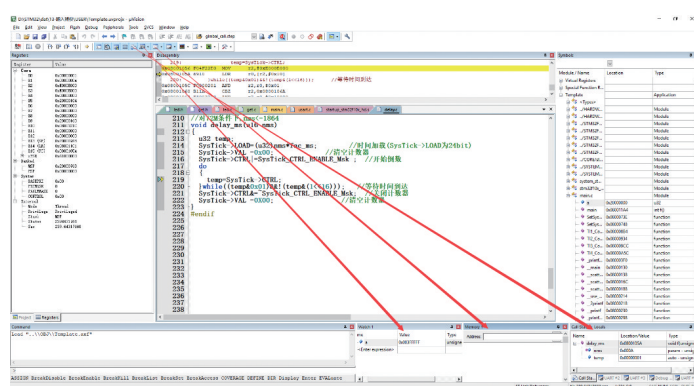


图 1-2-3 J-LINK 仿真页面

3. 虚拟机

虚拟机（Virtual Machine）可以通过软件的方式在 PC 主机操作系统中模拟一个或多个具有完整硬件系统功能的操作系统。在实体计算机中能够完成的工作在虚拟机中都能够实现。在计算机中创建虚拟机时，需要将实体机的部分硬盘和内存容量作为虚拟机的硬盘和内存容量（图 1-2-4）。

虚拟机的出现大大降低了嵌入式系统开发的硬件条件，可以在一台电脑中同时运行多个虚拟的操作系统，主要解决了 PC 主机（Windows 或者 Mac）系统无法生成 Linux 系统可执行文件的问题。

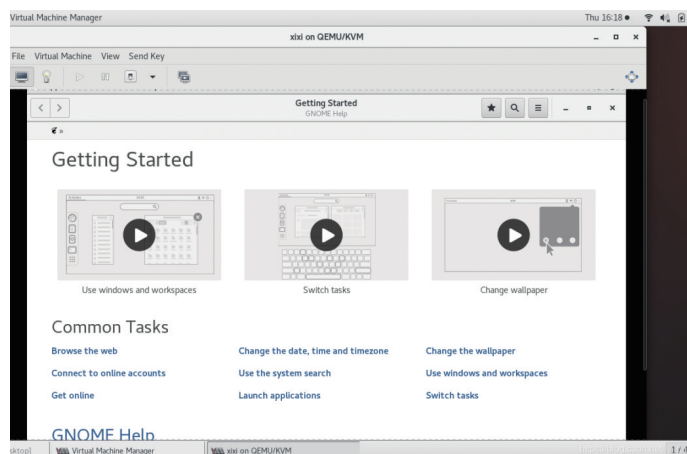


图 1-2-4 虚拟机（Virtual Machine）安装完成页面



4. Linux 操作系统

嵌入式系统通常使用精简版的 Linux 系统，为了开发该系统上的应用程序，PC 主机或虚拟机需要使用 Linux 系统才能完成代码的编译和可执行文件的生成（图 1-2-5）。

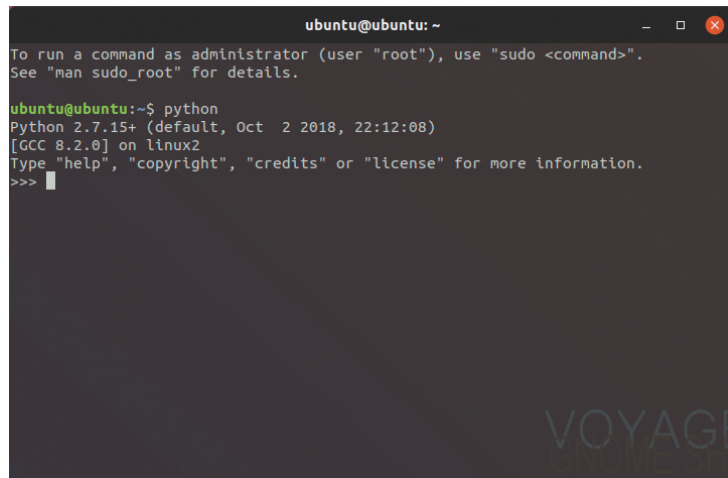


图 1-2-5 Linux 操作系统

5. Linux 系统的 C/C++编译工具链

Windows 系统中常用的编程开发环境（IDE）都将代码编辑、编译等功能集成在一起，用户编写完程序后通过一个快捷键即可完成源代码的编译、连接和可执行程序生成，比如 Keil 和 Visual Studio 等软件。而 Linux 系统下目前并没有这样具备完整功能的 IDE，需要单独安装 C/C++编译工具链。

GCC 编译工具链（toolchain）是指以 GCC 编译器为核心的一整套工具，用于把源代码转化成可执行应用程序。它主要包含以下三部分内容：

gcc-core：GCC 编译器用于完成预处理和编译过程，例如把 C 代码转换成汇编代码。

Binutils：除 GCC 编译器外的一系列小工具包括链接器 ld，汇编器 as、目标文件格式查看器 readelf 等。

glibc：包含主要的 C 语言标准函数库，C 语言中常常使用的打印函数 printf、malloc 函数就在 glibc 库中。

在很多场合下会直接用 GCC 编译器来指代整套 GCC 编译工具链（图 1-2-6）。

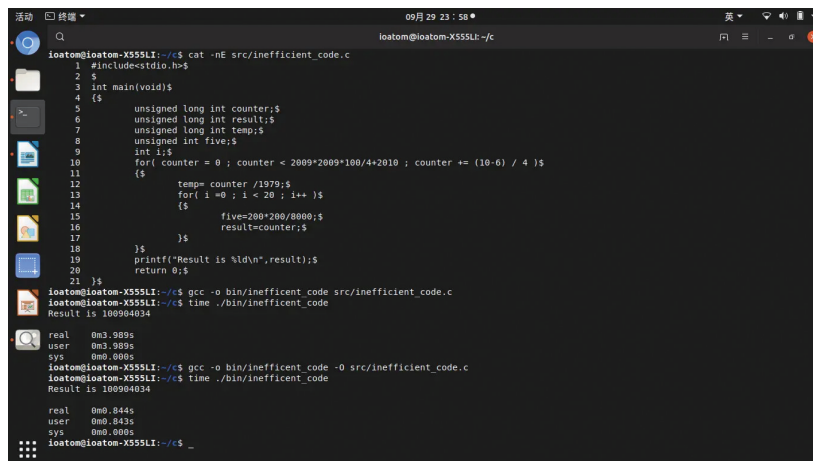


图 1-2-6 GCC 编译器的使用

在实际开发中，又会用到本地编译和交叉编译。本地编译是指编译器和目标程序都是相同架构的编



译过程，比如在 PC 主机（CPU 为 Intel 或 AMD 架构）的 Linux 系统上编译 PC 主机的应用程序；交叉编译是编译器和目标程序运行在不同架构的编译过程，比如在 PC 主机（CPU 为 Intel 或 AMD 架构）的 Linux 系统上编译嵌入式 Linux 系统（CPU 为 ARM 架构）的应用程序。

6. 串口调试工具

串口（UART）是最常用的设备数据交互接口。无论开发 MCU 还是嵌入式 CPU，都需要在主机（PC 端 Windows 或 Linux）系统中使用串口与嵌入式系统进行交互，以实现调试信息输出与命令的下发。常用的串口工具分为两类：

1) 串口助手。主要用于收发数据，可选择 16 进制或 ASC II 码格式进行收发。Windows 系统推荐“友善调试助手”或“山外多功能调试助手”。Linux 系统推荐“cutecom”。

2) 串口终端。可实现串口助手功能，但更像操作系统中的终端（Windows 中的 CMD，Linux 中的 terminal），输入指令更方便（图 1-2-7）。

```

1 /* See COPYRIGHT for copyright information. */
2
3 #include <inc/x86.h>
4 #include <inc/memlayout.h>
5 #include <inc/string.h>
6 #include <inc/assert.h>
7 #include <inc/assert.h>
8
9 #include <kern/console.h>
10 #include <kern/trap.h>
11 #include <kern/picirq.h>
12
13 static void cons_intr(int (*proc)(void));
14 static void cons_putc(int c);
15
16 // Stupid I/O delay routine necessitated by historical PC design flaws
17 static void
18 delay(void)
19 {
20     inb(0x84);
21     inb(0x84);
22     inb(0x84);
23     inb(0x84);
24 }
25
26 /***** Serial I/O code *****/
27
28 #define COM1    0x3F8
29
30 #define COM_RX    0 // In: Receive buffer (DLAB=0)
31 #define COM_TX    0 // Out: Transmit buffer (DLAB=0)
32 #define COM_DLL    0 // Out: Divisor Latch Low (DLAB=1)
33 #define COM_DLM    1 // Out: Divisor Latch High (DLAB=1)
34 #define COM_IER    1 // Out: Interrupt Enable Register
35 #define COM_IER_RDI 0x01 // Enable receiver data interrupt
36 #define COM_IIR    2 // In: Interrupt ID Register
37 #define COM_FCR    2 // Out: FIFO Control Register
38 #define COM_LCR    3 // Out: Line Control Register
39 #define COM_LCR_DLAB 0x80 // Divisor latch access bit
40 #define COM_LCR_WLENB 0x03 // Wordlength: 8 bits
41 #define COM_MCR    4 // Out: Modem Control Register
42 #define COM_MCR_RTS 0x02 // RTS complement
43 #define COM_MCR_DTR 0x01 // DTR complement

```

图 1-2-7 配置 terminal 的色彩模式解决终端颜色显示缺失

7. 虚拟串口软件

在嵌入式系统开发过程中，经常需要虚拟机和主机进行串口通信验证。然而一般的笔记本电脑没有硬件串口，台式机如果有多个串口，也需要进行端口上的电气连接才可以实现。为了方便调试，可以在主机系统安装 VSPD 软件，实现以软件方式虚拟一对互联的串口。该软件仅适用于 Windows 系统，如果主机系统为 Linux 或 Mac，可以尝试使用虚拟机自带的串口虚拟功能（图 1-2-8）。

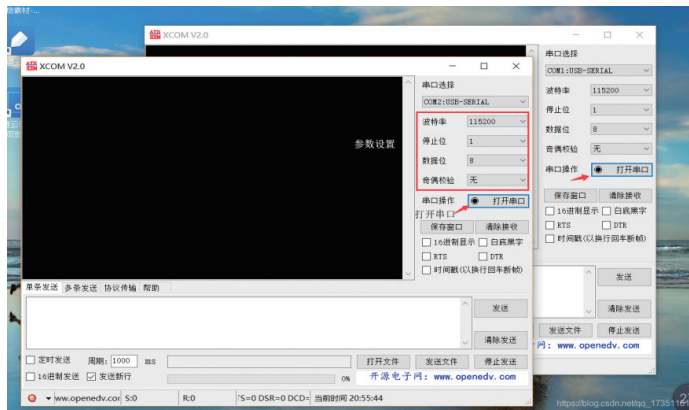


图 1-2-8 虚拟串口驱动



8. SSH 软件

SSH 为 Secure Shell 的缩写，由 IETF 的网络小组（Network Working Group）所制定，用来远程连接 Linux 主机所使用。在嵌入式系统开发中，能够使用 PC 主机通过远程命令访问和操作嵌入式系统会非常方便。同时，嵌入式系统、PC 端的 Linux、Windows，以及 Mac 系统之间的文件互传也必不可少。SSH 服务便能解决以上问题。

Windows 系统推荐 Bitvise SSH Client，Mac 系统推荐 Finalshell。这两款软件都支持远程终端访问和 tftp 文件互传图形化功能。Linux 系统直接通过命令安装 ssh 服务即可（图 1-2-9）。

```
chennan02@BJ-DZ0102751:~/桌面$ bash test.sh
test.sh
1
开始执行
z执行结束
chennan02@BJ-DZ0102751:~/桌面$ □
```

```
chennan02@BJ-DZ0102751:~/桌面 115x22
chennan02@BJ-DZ0102751:~/桌面$ bash test.sh
test.sh
0
0
0
0
0
0
0
1
开始执行
z执行结束
chennan02@BJ-DZ0102751:~/桌面$ □
```

```
chennan02@BJ-DZ0102751:~/桌面 115x23
chennan02@BJ-DZ0102751:~/桌面$ bash test.sh
test.sh
0
0
1
开始执行
z执行结束
chennan02@BJ-DZ0102751:~/桌面$ □
```

图 1-2-9 Finalshell 的运行

9. ARM 芯片仿真器

ARM 芯片仿真器主要为 J-LINK 仿真器，用于 CPU 板级程序的调试和下载，支持 ARM 系列的大部分内核。无操作系统或搭载 RTOS 的 MCU 处理器程序开发、嵌入式 CPU 的底层驱动、Bootloader 开发等均需要使用该仿真器（图 1-2-10）。



图 1-2-10 ARM 芯片仿真器模板

10. 嵌入式系统开发板

嵌入式系统开发的核心在于软硬件的结合，所有功能实现均需要通过硬件运行实现验证。所以，硬件开发平台是必不可少的。根据不同的开发需求，采取不同开发板（图 1-2-11）：



①MCU 级应用开发：正点原子 STM32 系列、野火 STM32 系列、ST 官方评估板；②Linux 系统应用开发：正点原子 I.MX6ULL 系列、野火 I.MX6ULL 系列、树莓派、迅为 ARM 系列。

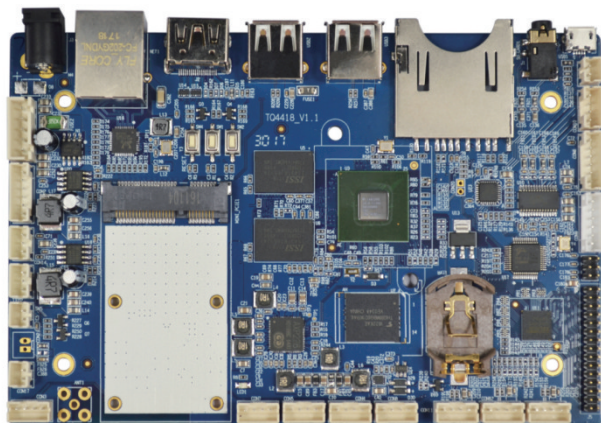


图 1-2-11 嵌入式开发板 OSCHINA



巩固提高

一、填空题

1. 根据系统的功耗、体积、成本，以及功能，可将嵌入式系统所采用的控制器粗略分为_____和_____两种类型。MCU 指的是没有_____的实时微控制器，主要采用 Cortex-M 或 Cortex-R 系列内核。
2. _____可以通过软件的方式在_____操作系统中模拟一个或多个具有_____功能的操作系统。在实体计算机中能够完成的工作在_____中都能够实现。在_____中创建虚拟机时，需要将实体机的部分硬盘和_____作为虚拟机的_____和内存容量。
3. _____是最常用的设备数据交互接口。无论开发_____还是嵌入式 CPU，都需要在_____系统使用_____与_____进行交互，以实现_____输出与命令的下发。

二、简答题

1. 在智能汽车嵌入式系统的开发过程中，采用的软件设备有哪些？各有什么作用呢？
2. MCU 级应用开发、Linux 系统应用开发中各采取什么样式的开发板？



任务三 智能汽车嵌入式系统组成



学习目标

知识目标：1. 认识嵌入式系统的组成部件。

2. 嵌入式系统组成部件的功能特点。

能力目标：具备正确利用软件和硬件设施操作嵌入式操作系统的能力。



知识链接

一、嵌入式系统组成

一个嵌入式系统装置一般都由嵌入式计算机系统和执行装置组成，如图 1-3-1 所示，嵌入式计算机系统是整个嵌入式系统的核心，由硬件层、中间层、系统软件层和应用软件层组成。执行装置也称为被控对象，它可以接受嵌入式计算机系统发出的控制命令，执行所规定的操作或任务。执行装置可以很简单，如手机上的一个微小型的电机，当手机处于震动接收状态时打开；也可以很复杂，如新能源汽车的整车控制器上集成了多个微小型控制电机和多种传感器，从而可以执行各种复杂的动作和感受各种状态信息。



图 1-3-1 嵌入式系统装置

1. 硬件层

硬件层中包含嵌入式微处理器、存储器（SDRAM、ROM、Flash 等）、通用设备接口和 I/O 接口（A/D、D/A、I/O 等）。在一片嵌入式处理器基础上添加电源电路、时钟电路和存储器电路，就构成了一个嵌入式核心控制模块。其中操作系统和应用程序都可以固化在 ROM 中（图 1-3-2）。



(1) 嵌入式微处理器 (图 1-3-3)

嵌入式系统硬件层的核心是嵌入式微处理器, 嵌入式微处理器与通用 CPU 最大的不同在于嵌入式微处理器大多工作在为特定用户群所专用设计的系统中, 它将通用 CPU 中许多由板卡完成的任务集成在芯片内部, 从而有利于嵌入式系统在设计时趋于小型化, 同时还具有很高的效率和可靠性。

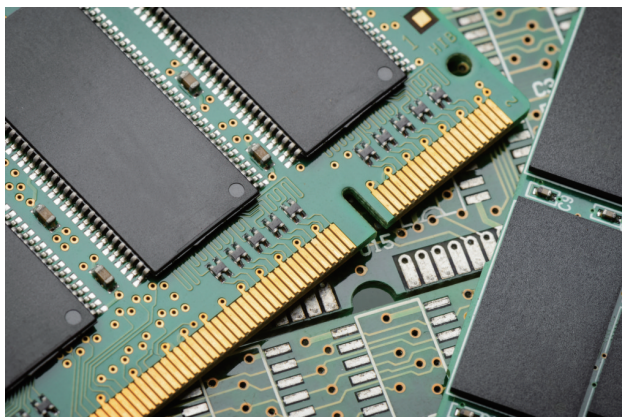


图 1-3-2 存储器 ROM

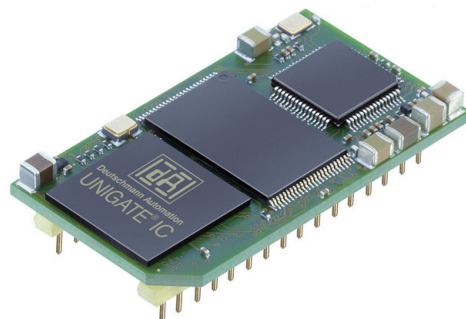


图 1-3-3 嵌入式微处理器

嵌入式微处理器的体系结构可以采用冯·诺依曼体系或哈佛体系结构, 指令系统可以选用精简指令系统 (Reduced Instruction Set Computer, RISC) 和复杂指令系统 CISC (Complex Instruction Set Computer, CISC)。RISC 计算机在通道中只包含最有用的指令, 确保数据通道快速执行每一条指令, 从而提高了执行效率并使 CPU 硬件结构设计变得更为简单。

嵌入式微处理器有各种不同的体系, 即使在同一体系中也具有不同的时钟频率和数据总线宽度, 或集成了不同的外设和接口。据不完全统计, 目前全世界嵌入式微处理器已经超过 1000 多种, 体系结构有 30 多个系列, 其中主流的体系有 ARM、MIPS、PowerPC、X86 和 SH 等。但与全球 PC 市场不同的是, 没有一种嵌入式微处理器可以主导市场。仅以 32 位的产品而言, 就有 100 种以上的嵌入式微处理器。嵌入式微处理器的选择是根据具体的应用而决定的。

(2) 存储器

嵌入式系统需要存储器来存放和执行代码 (图 1-3-4)。嵌入式系统的存储器包含 Cache、主存和辅助存储器。

1) Cache

Cache 是一种容量小、速度快的存储器阵列, 位于主存和嵌入式微处理器内核之间, 存放的是最近一段时间微处理器使用最多的程序代码和数据。在需要进行数据读取操作时, 微处理器尽可能地从 Cache 中读取数据, 而不是从主存中读取, 这样就大大改善了系统的性能, 提高了微处理器和主存之间的数据传输速率。Cache 的主要目标就是减小存储器 (如主存和辅助存储器) 给微处理器内核造成的存储器访问瓶颈, 使处理速度更快, 实时性更强。

在嵌入式系统中 Cache 全部集成在嵌入式微处理器内, 可分为数据 Cache、指令 Cache 或混合 Cache, Cache 的大小依不同处理器而定。一般中高档的嵌入式微处理器才会把 Cache 集成进去。

2) 主存

主存是嵌入式微处理器能直接访问的寄存器, 用来存放系统和用户的程序及数据。它可以位于微处

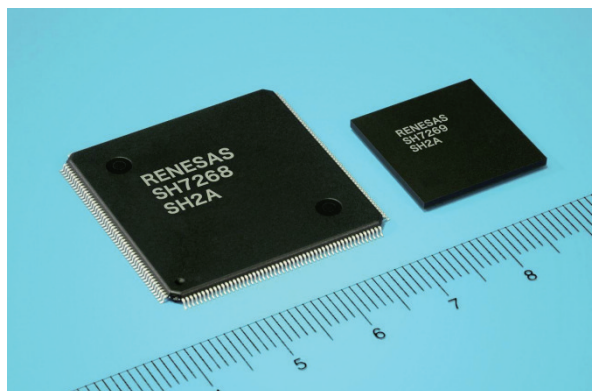


图 1-3-4 高速缓冲存储器



理器的内部或外部，其容量为 256kB~1GB。根据具体的应用而定，一般片内存储器容量小，速度快，片外存储器容量大。

常用作主存的存储器有：

ROM 类 NOR Flash、EPROM 和 PROM 等（图 1-3-5、图 1-3-6）。

RAM 类 SRAM、DRAM 和 SDRAM 等。

其中 NOR Flash 凭借其可擦写次数多、存储速度快、存储容量大、价格便宜等优点，在嵌入式领域内得到了广泛应用。



图 1-3-5 EPROM

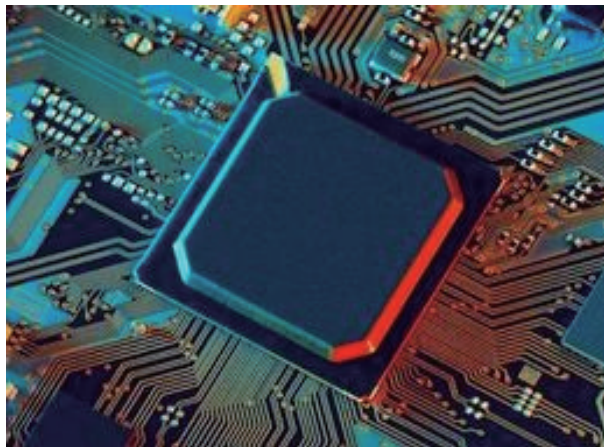


图 1-3-6 NOR Flash

3) 辅助存储器

辅助存储器用来存放大数据量的程序代码或信息，它的容量大、但读取速度与主存相比就慢得多，用来长期保存用户的信息。

嵌入式系统中常用的外存有：硬盘、NAND Flash、CF 卡、MMC 和 SD 卡等。

(3) 通用设备接口和 I/O 接口

嵌入式系统和外界交互需要一定形式的通用设备接口，如 A/D、D/A、I/O 等，外设通过和片外其他设备的或传感器的连接来实现微处理器的输入/输出功能。每个外设通常都只有单一的功能，可以在芯片外也可以内置在芯片中。外设的种类很多，可从一个简单的串行通信设备到非常复杂的 802.11 无线设备。

目前嵌入式系统中常用的通用设备接口有 A/D（模/数转换接口）、D/A（数/模转换接口），I/O 接口有 RS-232 接口（串行通信接口）、Ethernet（以太网接口）、USB（通用串行总线接口）、音频接口、VGA 视频输出接口、I2C（现场总线）、SPI（串行外围设备接口）和 IrDA（红外线接口）等（图 1-3-7）。

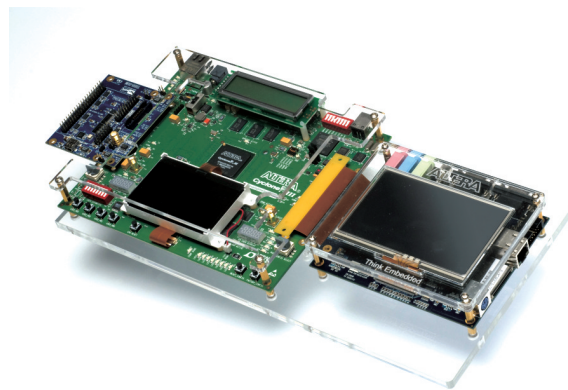


图 1-3-7 嵌入式系统与外界设备接口

2. 中间层

硬件层与软件层之间为中间层，也称为硬件抽象层（Hardware Abstract Layer, HAL）（图 1-3-8）或板级支持包（Board Support Package, BSP），它将系统上层软件与底层硬件分离开来，使系统的底层驱动程序与硬件无关，上层软件开发人员无须关心底层硬件的具体情况，根据 BSP 层提供的接口即可进



行开发。该层一般包含相关底层硬件的初始化、数据的输入/输出操作和硬件设备的配置功能。BSP 具有以下两个特点：

硬件相关性：因为嵌入式实时系统的硬件环境具有应用相关性，而作为上层软件与硬件平台之间的接口，BSP 需要为操作系统提供操作和控制具体硬件的方法。

操作系统相关性：不同的操作系统具有各自的软件层次结构，因此，不同的操作系统具有特定的硬件接口形式。

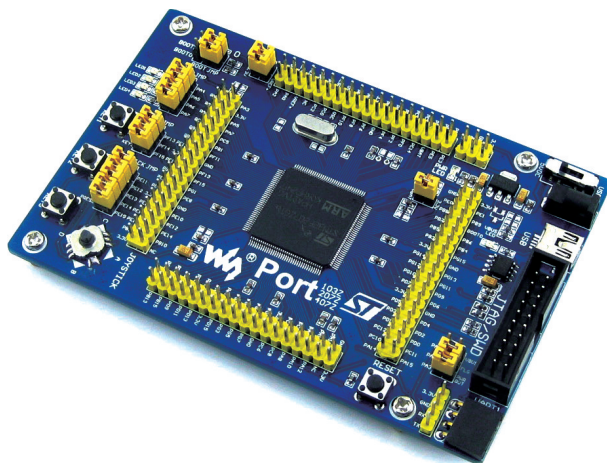


图 1-3-8 硬件抽象层 (Hardware Abstract Layer, HAL)

实际上，BSP 是一个介于操作系统和底层硬件之间的软件层次，包括了系统中大部分与硬件联系紧密的软件模块。设计一个完整的 BSP 需要完成两部分工作：嵌入式系统的硬件初始化以及 BSP 功能，设计硬件相关的设备驱动。

(1) 嵌入式系统硬件初始化

系统初始化过程可以分为 3 个主要环节，按照自底向上、从硬件到软件的次序依次为：片级初始化、板级初始化和系统级初始化。

1) 片级初始化：完成嵌入式微处理器的初始化，包括设置嵌入式微处理器的核心寄存器和控制寄存器、嵌入式微处理器核心工作模式和嵌入式微处理器的局部总线模式等。片级初始化把嵌入式微处理器从上电时的默认状态逐步设置成系统所要求的工作状态。这是一个纯硬件的初始化过程。

2) 板级初始化：完成嵌入式微处理器以外的其他硬件设备的初始化。另外，还需设置某些软件的数据结构和参数，为随后的系统级初始化和应用程序的运行建立硬件和软件环境。这是一个同时包含软硬件两部分在内的初始化过程。

3) 系统初始化：该初始化过程以软件初始化为主，主要进行操作系统的初始化。BSP 将对嵌入式微处理器的控制权转交给嵌入式操作系统，由操作系统完成余下的初始化操作，包含加载和初始化与硬件无关的设备驱动程序，建立系统内存区，加载并初始化其他系统软件模块，如网络系统、文件系统等。最后，操作系统创建应用程序环境，并将控制权交给应用程序的入口。

(2) 硬件相关的设备驱动程序

BSP 的另一个主要功能是硬件相关的设备驱动。硬件相关的设备驱动程序的初始化通常是一个从高到低的过程。尽管 BSP 中包含硬件相关的设备驱动程序，但是这些设备驱动程序通常不直接由 BSP 使用，而是在系统初始化过程中由 BSP 将他们与操作系统中通用的设备驱动程序关联起来，并在随后的应用中由通用的设备驱动程序调用，实现对硬件设备的操作。与硬件相关的驱动程序是 BSP 设计与开发中另一个非常关键的环节（图 1-3-9）。

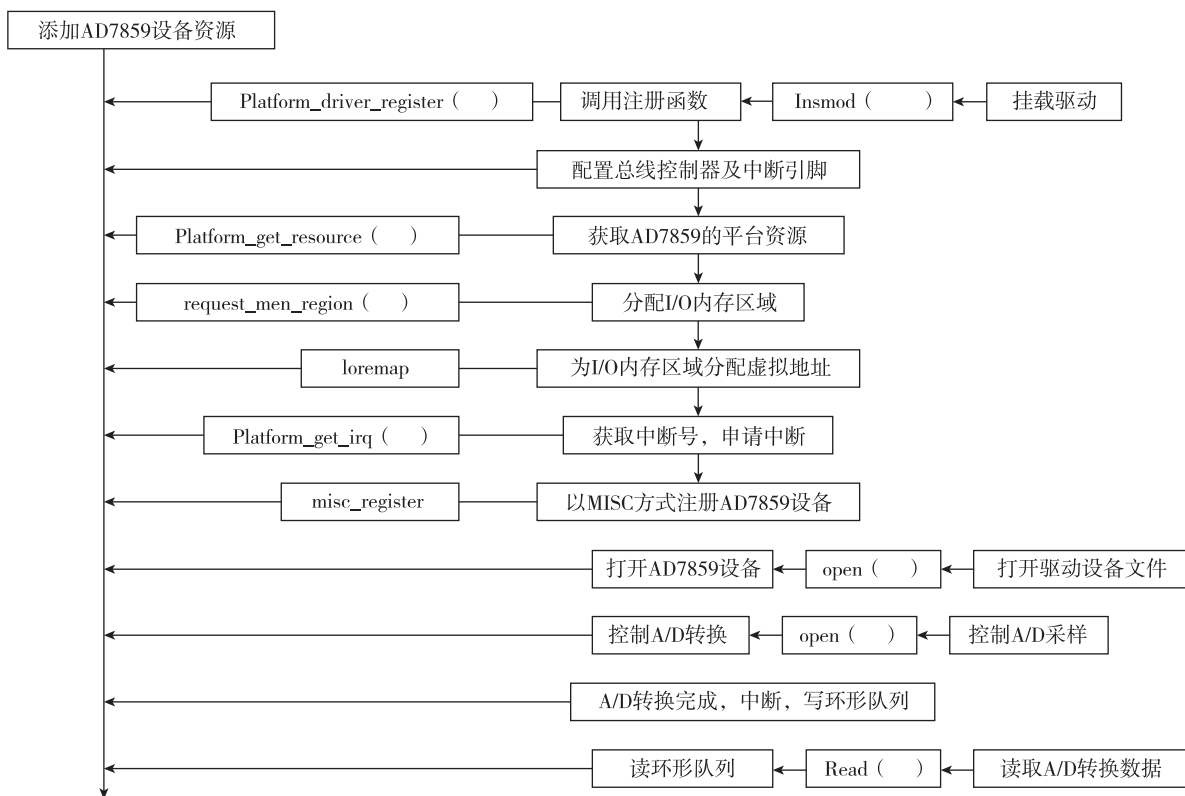


图 1-3-9 AD7859 高速模数转换器

3. 系统软件层

系统软件层由实时多任务操作系统（Real-time Operation System, RTOS）、文件系统、图形用户接口（Graphic User Interface, GUI）、网络系统，及通用组件模块组成。RTOS 是嵌入式应用软件的基础和开发平台。

嵌入式操作系统（Embedded Operation System, EOS）是一种用途广泛的系统软件，过去它主要应用与工业控制和国防系统领域。EOS 负责嵌入系统的全部软、硬件资源的分配、任务调度，控制、协调并发活动。它必须体现其所在系统的特征，能够通过装卸某些模块来达到系统所要求的功能（图 1-3-10）。

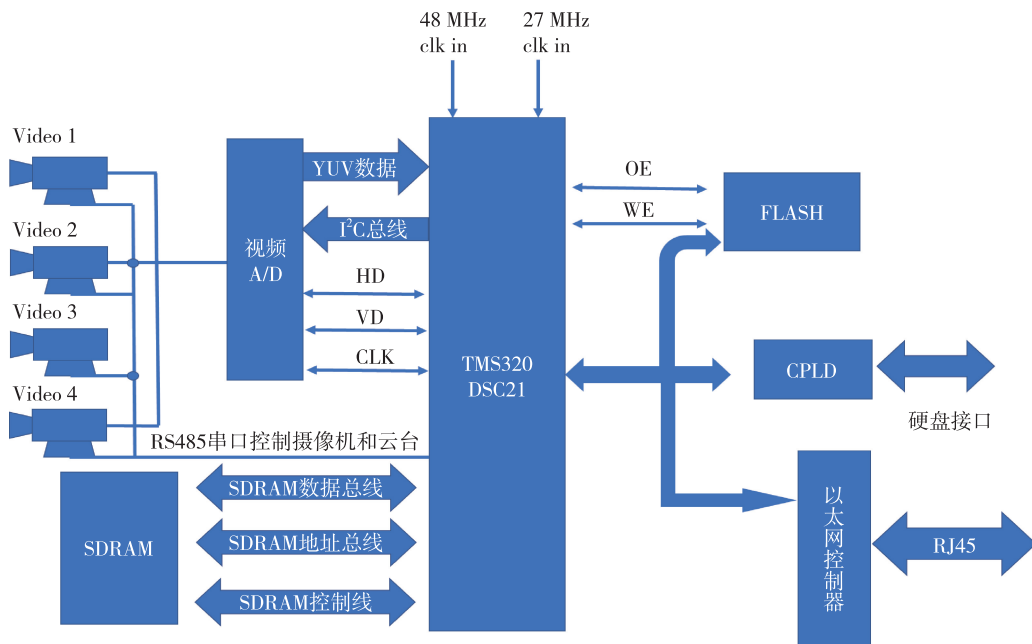


图 1-3-10 嵌入式操作系统



目前,已推出一些应用比较成功的 EOS 产品系列。随着 Internet 技术的发展、信息家电的普及应用及 EOS 的微型化和专业化, EOS 开始从单一的弱功能向高专业化的强功能方向发展。嵌入式操作系统在系统实时高效性、硬件的相关依赖性、软件固化,以及应用的专用性等方面具有较为突出的特点。EOS 是相对于一般操作系统而言的,它除具备了一般操作系统最基本的功能,如任务调度、同步机制、中断处理、文件功能等外,还有以下特点:

- (1) 可装卸性。开放性、可伸缩性的体系结构。
- (2) 强实时性。EOS 实时性一般较强,可用于各种设备控制当中。
- (3) 统一的接口。提供各种设备驱动接口。
- (4) 操作方便、简单、提供友好的图形 GUI,图形界面,追求易学易用。
- (5) 提供强大的网络功能,支持 TCP/IP 协议及其他协议,提供 TCP/UDP/IP/PPP 协议支持及统一的 MAC 访问层接口,为各种移动计算设备预留接口。
- (6) 强稳定性,弱交互性。嵌入式系统一旦开始运行就不需要用户过多的干预,这就要负责系统管理的 EOS 具有较强的稳定性。嵌入式操作系统的用户接口一般不提供操作命令,通过系统调用命令向用户程序提供服务。
- (7) 固化代码。在嵌入系统中,嵌入式操作系统和应用软件被固化在嵌入式系统计算机的 ROM 中。辅助存储器在嵌入式系统中很少使用,因此,嵌入式操作系统的文件管理功能应该很容易地拆卸。
- (8) 更好的硬件适应性,也就是良好的移植性。



巩固提高

一、填空题

1. 嵌入式计算机系统是整个_____的核心,由_____、中间层、_____和_____组成。
2. _____是嵌入式微处理器能直接访问的_____,用来存放系统和用户的_____。它可以位于微处理器的内部或外部,其容量为 256kB~1GB,根据具体的应用而定,一般片内存储器容量小,_____,片外_____容量大。
3. 硬件层与_____之间为中间层,也称为_____或板级支持包,它将系统上层软件与_____分离开来,使系统的底层驱动程序与硬件无关,根据_____提供的接口即可进行开发。该层一般包含相关底层硬件的初始化、数据的_____操作和硬件设备的配置功能。

二、简答题

1. 嵌入式操作系统软件的功能特点有哪些?
2. 嵌入式系统硬件初始化的三个层次有什么特点?



任务四 嵌入式系统在智能汽车上的应用



学习目标

知识目标：1. 认识嵌入式系统在智能汽车上的不同应用。

2. 认识不同嵌入式系统在智能汽车上的实现方式。

能力目标：能够说出嵌入式系统在智能汽车上不同应用的功能特点。



知识链接

一、智能汽车上的嵌入式系统的应用

随着汽车智能化的不断发展，在过去的几年里，嵌入式系统嵌入到汽车中、基于计算机的功能数量呈指数倍数增加。开发流程、技术和工具已经随之改变，以适应产业变革。一系列的电子功能如导航、自适应控制、交通信息、牵引控制、稳定控制和主动安全系统已经在今天的车辆上实现。这些新功能并不是独立的，需要信息交换，且有时有严格的时间限制、还要与其他功能相配合（图 1-4-1）。



图 1-4-1 嵌入式系统的应用

为了实现这些功能，就需要一套全新的、智能化的开发系统，目前汽车嵌入式体系结构的复杂性正在不断增加，以适应更多需求的实现。

二、嵌入式车载操作系统

根据安全等级要求的不同，汽车嵌入式操作性系统大致可分为实时操作系统和非实时操作系统。

(1) 实时操作系统是指系统接收到输入信号后，能够在短时间内处理完毕并予以反馈，并且其处理任务的（最迟）完成时间是确定可知的。实时操作系统具备较高的安全性与可靠性，因此往往应用于车控领域，包含传统的车辆动力、底盘、车身，以及新兴的自动驾驶等。目前，已有多家企业拥有成熟的车控操作系统产品和解决方案，包括德国的 Vector、ETAS，加拿大的 QNX，美国的 Mentor Graphics，等等，而在智能化趋势下又新兴出特斯拉 Version、大众 VW. OS、华为 AOS/VOS 等多种实时操作系统（图

1-4-2)。

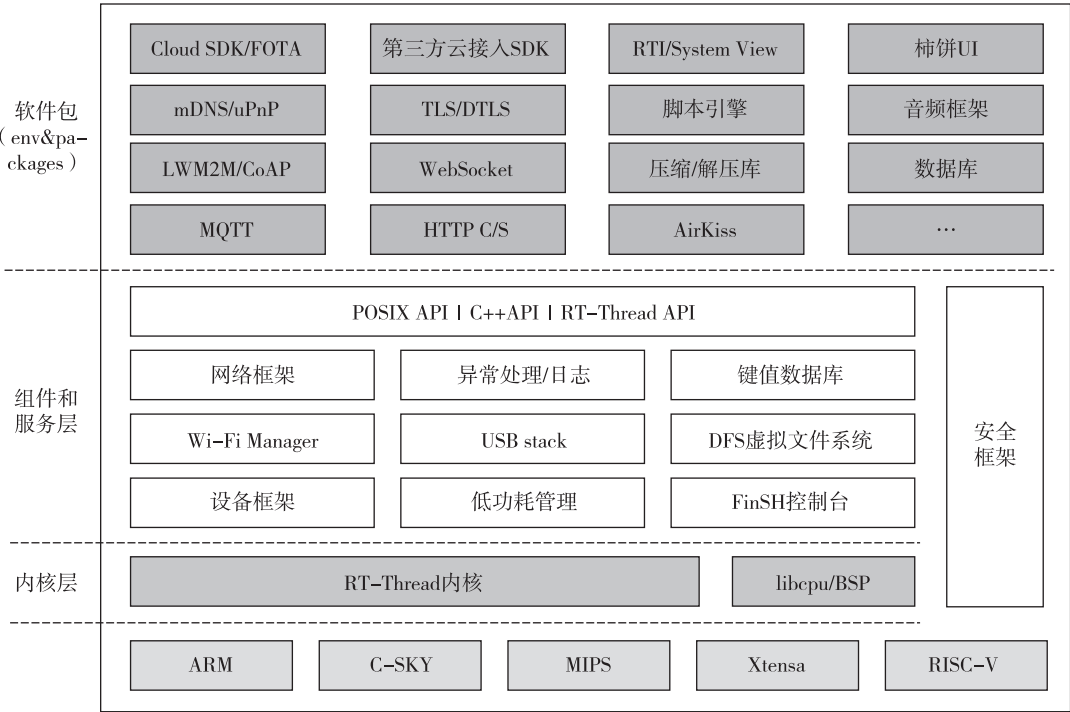


图 1-4-2 实时操作系统

(2) 非实时操作系统：广泛应用于座舱娱乐等领域，更加注重兼容性与开发生态。此类操作系统多以 Linux 内核改造或移植移动端的操作系统而来，包括 Linux 衍生的 AGL、微软的 Windows Automotive、谷歌的 Android Auto、阿里 AliOS，等等（图 1-4-3）。

许多新兴操作系统提供平台式解决方案，即在一个软件架构之下根据所应用领域的不同使用不同的系统内核。典型的是华为的鸿蒙操作系统，包括座舱操作系统 HOS、智能驾驶操作系统 AOS、智能车控操作系统 VOS 三种。众多互联网或科技厂商正通过强大的软件研发能力进入汽车产业链，成为软件 Tier1，也由此催生了庞大的汽车软件市场。

但由于现阶段汽车嵌入式操作系统对安全性、稳定性、实时性具有非常严苛的要求，QNX 凭借这些优点仍牢牢占据汽车嵌入式操作系统市占率第一的位置。根据官网显示，QNX 已与 45 家以上 OEM 进行合作，超过 1.75 亿辆汽车使用了 QNX 系统。

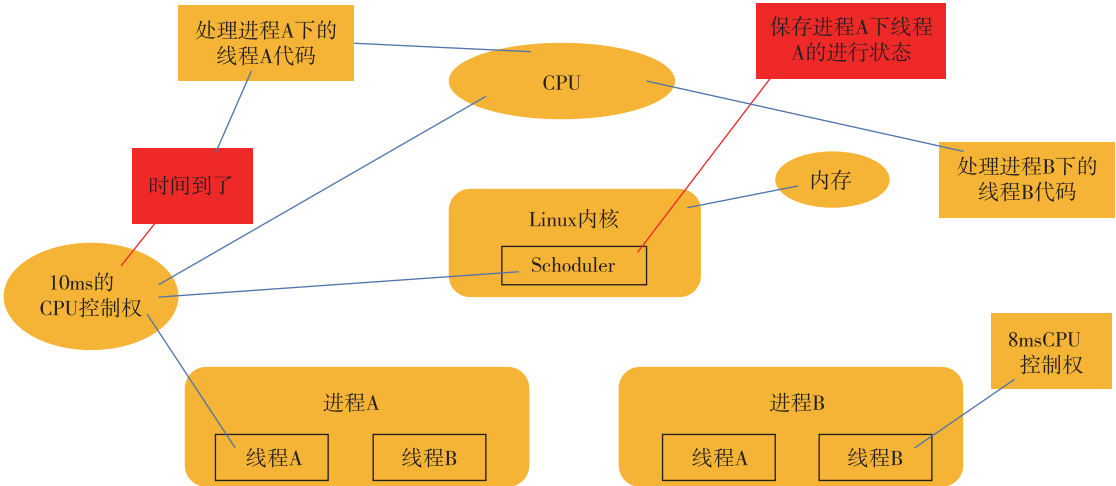
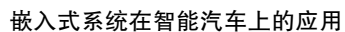


图 1-4-3 实时操作系统与非实时操作系统的区别



三、嵌入式智能温度调控系统

在汽车制造行业，嵌入式系统智能温度调控具有比较重要的作用。现场温度通常是通过“一线总线”的模式进行传输，能够大大提升系统抵抗干扰的能力，尤其适应于恶劣环境中温度的测量，而在断电后依然能够保存，因而被广泛运用于发动机的温度检测、水箱的温度检测，以及车内空调的温度检测等领域（图 1-4-4）。

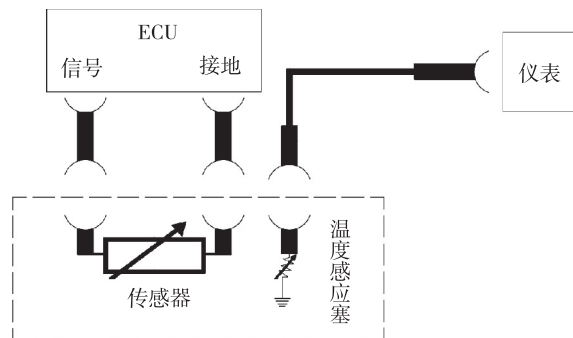


图 1-4-4 冷却液温度传感器与温度感应塞

如果发动机与水箱的温度出现异常，就会通过数据传输进行报警与亮灯警示，并能够自动调警，实现智能调控。

四、智能导航

若汽车在偏僻路段上行驶的过程中，突然出现事故，车载的碰撞传感器将会第一时间将汽车数据传回。此时，4S 店工作平台也同时开始报警。若无法与车主进行联系，GPS 系统会将车辆的事故地点进行准确的定位，便于通知附近的救援队伍前去救援。

车载智能导航系统运用了诸多领域比较成熟的模块与技术。车载智能导航能够保证汽车在被盗时及时发出警告,并在被盗后传输汽车准确的位置信息,其虽然无法取代常规的汽车防盗器,但是其防盗功能也是比较实用的,能够传输准确的位置信息,便于汽车的追踪(图1-4-5)。

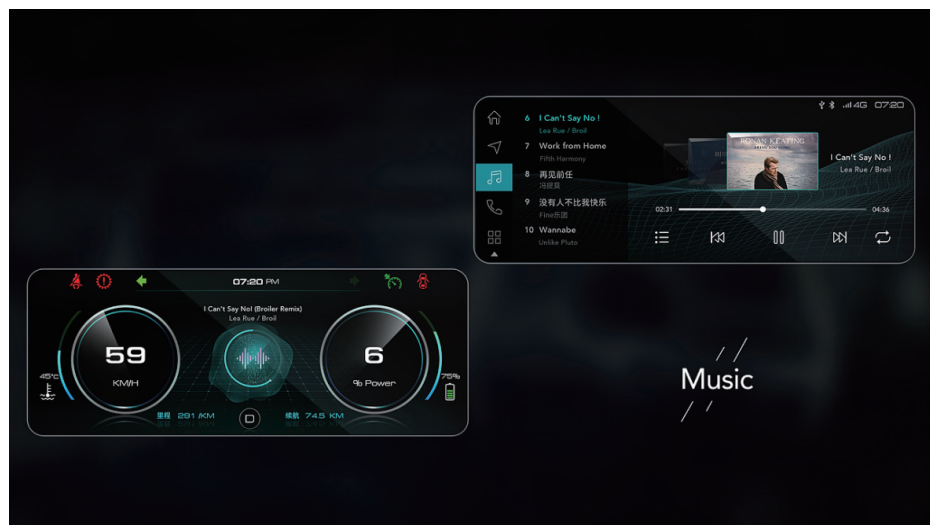


图 1-4-5 车载智能导航系统



当汽车内部通用型防盗系统遭到破坏以后，车载智能导航系统会通过 GPS 接收车辆的位置信息，而当速度与位置偏差比设定报警值较大时，远程的控制器将会自动向车主发送报警信息。在车主报警以后，为配合警方能够尽快找到被盗车辆，车主可以再次向远程的控制器发送命令，开启短信的发送功能，将最新的汽车定位信息传输到车主手机，这样在电子地图的辅助下能够更加快速地找到汽车。

五、智能驾驶

智能驾驶系统主要包括人工智能、疲劳驾驶的状态提醒和酒后开车自动熄火等功能。智能驾驶主要运用与注意力的吸引与分散相关的认知工程学理论，涉及自动驾驶、网络导航与人工干预等环节。

智能驾驶要求车辆符合行车相应动力学要求，通过车内传感器（如检测摄像头）可以获取相关的视听觉信号及信息，并借助认知计算对相应随动系统进行控制。自动驾驶能应对车道的保持、并道、超车，以及灯语笛语交互等诸多驾驶行为。

六、T-Box

T-Box 指安装在汽车上用于控制跟踪汽车的嵌入式系统，该系统可以获取车辆的核心数据，实现指令与信息的传递，以及远程控制、安全监测和报警等多种在线应用功能，同时 T-Box 逐渐向网联化控制器方向发展，实现车—云平台、车—车、车—道路设施等各个交通参与方的实时通信，是实现智能交通发展的关键因素。

七、车载诊断系统

OBD（On-Board Diagnostics）车载诊断系统通常用于随时监控发动机的运行状况和尾气后处理系统的工作状态，具有数值分析、资料传输、统一各车型相同故障代码及意义等功能。车辆状态自检主要包括对汽车胎压、动力系统、制动系统，以及液压防震系统等进行检查（图 1-4-6）。



图 1-4-6 车辆状态自检



车载诊断系统是以性能较高的嵌入式处理器为核心，能够满足汽车系统对于嵌入式应用需求的不断扩展，提升处理速度，逐步增加内部存储容量与集成度。以嵌入式的操作系统为辅助，车载诊断系统表现出较为明显的实时性与多任务同时执行的能力，同时能够与网络进行紧密地结合。



巩固提高

一、填空题

1. 嵌入式系统在智能汽车上实现的一系列的电子功能如_____、自适应控制、_____、_____、稳定控制和主动安全系统等。这些新功能并不是独立的，它们需要_____，且有时有严格的时间限制，还要与其他功能相配合。
2. _____具有比较重要的作用，现场温度通常是通过_____的模式进行传输，能够大大提升系统抵抗干扰的能力，尤其适应于恶劣环境中_____，而在断电后依然能够保存，因而被广泛运用于发动机的温度检测、_____和车内空调的温度检测等领域。
3. 当汽车内部_____遭到破坏以后，车载智能导航系统将通过_____的位置信息，而当速度与位置偏差比设定报警值较大时，_____将会自动向车主发送报警信息。

二、简答题

1. 汽车嵌入式操作性系统中的两种系统的功能特点是什么？
2. 嵌入式系统在智能汽车上有哪些方面的应用呢？