

H8 单片机

原理与应用

〔日〕藤泽幸穗 著



Micro
Computer

8.1
0



科学出版社

www.sciencep.com

H8 单片机

原理与应用

（第2版）



H8C
单片机

机械工业出版社

H8 单片机原理与应用

〔日〕 藤泽幸穗 著
虞振亚 译
张晓丹 校

科学出版社

北 京

图字: 01-2003-6493 号

Original Japanese language edition

H8 Maikon Kanzen Manual

by Yukiho Fujisawa

Copyright © 2000 by Yukiho Fujisawa

Published by Ohmsha, Ltd.

This Chinese version Published by Science Press, Beijing

Under license from Ohmsha Ltd.

Copyright © 2003

All rights reserved

H8 マイコン完全マニュアル

藤沢幸穂 オーム社 2002

图书在版编目(CIP)数据

H8 单片机原理与应用/(日)藤泽幸穂著;虞振亚译,张晓丹校.

—北京:科学出版社,2003

ISBN 7-03-012233-X

I. H II. ①藤… ②虞… ③张… III. 单片微型计算机-H8
IV. TP368.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 084094 号

责任编辑 崔炳哲 责任制作 魏 谨

责任印制 刘士平 封面制作 李 力

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司 印刷

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003年9月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2003年9月第一次印刷 印张: 11 1/4

印数: 1—4 000 字数: 249 000

定价: 25.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

中译本序

我们制作、发行半导体用户手册及半导体商品说明书等，已经有几十年的历史了，然而目前只有日文版和英文版。近年来，随着经济全球化的进展，有必要将其翻译成中文和韩文。我们曾想过在中国和韩国分别进行翻译并出版中文版和韩文版，但是考虑到各国语言文化的差异、把握技术的准确度、翻译质量等方面的因素，最终决定在日本国内进行这一翻译工作。结果，我们学会了制作翻译用专业技术用语辞典，掌握了字体处理、使用 XML 的制版等技术。

这次，我们非常高兴，除了用户手册以外，用于理解半导体的日文辅助教材《完全マニュアル》的英文版《The Introduction to the H8 Microcontroller》、中文版《H8 单片机原理与应用》相继问世。我作为翻译小组的负责人，非常希望能为推进对瑞萨半导体的理解、扩大销售工作做出我们的贡献，如果我们的工作能够得到有关同仁的支持、鞭策，我们将感到十分荣幸。

最后，对给与我们这次工作机会的株式会社瑞萨科技营业本部所属营业企划总部、用户支援部的风间仁部长深表感谢。

（株）瑞萨小平半导体技术文献部

竹内 贤

2003 年 6 月

前 言

现在，我们的生活依靠大量计算机的支持，个人计算机（PC）也是计算机的一种。计算机进入个人计算机时代后，人们认识到如果其性能得到进一步提高，就能舒适地使用因特网。但是，更多的计算机，其名字不为人们所知而被使用。有很多不被表明而用计算机运行或控制的产品，这种控制产品的计算机称为嵌入式（Embedded）计算机，它不像个人计算机那样在硬盘或者 CD-ROM 上更改程序，而是总在执行同样的程序，是一个纯粹的单片机。它在如手提电话、传真机、打印机、洗衣机、电冰箱、微波炉、计算机游戏机、汽车引擎、空调机、仪表等广泛的领域中应用。这样的嵌入式计算机几乎都是以芯片形式进行销售的单片机（微型计算机）。本书介绍的 H8 就是日立生产的典型的单片机产品。

对于“个人计算机能做什么？”的提问，常有“什么都能做”的回答。个人计算机是以某种程度的硬件完成的产品，只要有程序什么都能做。单片机也一样，只要有芯片就什么都能做，并且不像个人计算机那样受操作系统和硬件的限制，是自由度更高的计算机。

许多企业根据各目的产品进行所使用单片机的系统开发，因此拥有许多有关单片机的应用开发技术人员。但是，在学校教育中却很少提及这方面的知识，人才教育好像变成了企业内部教育的主要手段。

单片机诞生不久的 20 世纪 70 年代到 80 年代间有很多单片机入门书被出版，笔者也读了 Z80 和 MC6800 等许多书籍，这给初学者创造了很好的学习环境。但是，在大量使用单片机的现在，基础知识作为已知的内容很少被提及，因此对于初学者来说变成了不容易学习的状况。

本书以希望将来成为技术人员的读者为对象，以 H8 为例介绍单片机的原理与应用。各种单片机产品运行的命令和信号管脚的动作有差异，但基本想法相同。通过学习本书 H8 单片机的基本使用方法，也能理解其他单片机。

重要的是使用单片机（工具）做什么。本书以 H8 为例，介绍单片机（工具）的使用方法。希望在理解了工具的使用方法后，通过自由的构思来考虑各种应用。我认为单片机的使用技术是非常重要的技术。如果读者能通过制造使用单片机的产品，学到制作东西的乐趣和重要性，我将感到非常高兴。

希望本书对于想学习单片机的人来说是一本好的入门书。

最后，谨向为我们出版本书提供 H8 单片机开发用的汇编程序、C 编译程序等软件的株式会社日立制作所的系统 LSI 事业部的增田主任工程师，以及为我们提供信息给予大力支持的 Micom Car Rally 事务局的株式会社日立小平半导体的丰岛项目组长表示诚挚的谢意。

作者

著者简介

藤泽幸穗

1978年 (株)电研精器研究所工作

1984年 日立超大规模集成电路系统公司工作

现在 日立制作所电子统括营业本部半导体培训学校讲师

fujisawa-yukiho@denshi.head.hitachi.co.jp

执笔者简介

鹿取祐二

1984年 日立超大规模集成电路系统公司工作

现在 日立制作所电子统括营业本部半导体培训学校讲师

katori-yuji@denshi.head.hitachi.co.jp

佐藤正幸

1989年 日立超大规模集成电路系统公司工作

现在 日立制作所电子统括营业本部半导体培训学校讲师

sato-masayuki2@denshi.head.hitachi.co.jp

长岛仰

1992年 日立超大规模集成电路系统公司工作

现在 日立制作所电子统括营业本部半导体培训学校讲师

nagashima-aogu@denshi.head.hitachi.co.jp

目 录

第 1 章 什么是微型计算机	1
1.1 生活中的微型计算机	2
1.2 微型计算机如何运行	6
1.2.1 微型计算机的运行	6
1.2.2 微型计算机 (CPU) 以外的元件	7
1.2.3 微型计算机的种类	10
1.3 存储器数据和二进制数	11
1.3.1 指令和二进制数	11
1.3.2 数值表示	12
1.3.3 字符码	14
1.3.4 带小数点数据	14
1.3.5 数值的表示方法	15
1.3.6 存储映像	15
第 2 章 H8 单片机的高性能和多功能	17
2.1 什么是 H8 单片机	17
2.2 H8/3048F 的运行模式	18
2.2.1 概 要	18
2.2.2 单芯片	20
2.2.3 存储器扩展	21
2.3 寄存器结构和程序	22
2.3.1 寄存器结构	22
2.3.2 指 令	26
2.3.3 编 程	35
2.3.4 存储容量和执行速度	46
2.3.5 简单输入/输出	48
第 3 章 复位和中断	60
3.1 给 ROM 写程序	60
3.1.1 硬 件	60
3.1.2 程 序	61
3.1.3 硬件的前提条件	62
3.2 中 断	65
3.2.1 中断功能的必要性	65

3.2.2 中断时的动作	66
3.2.3 中断的使用例子	66
第 4 章 内部外围功能	72
4.1 A/D 转换器	72
4.1.1 A/D 转换器概要	72
4.1.2 A/D 转换器的使用例子	74
4.1.3 A/D 转换结束中断	76
4.2 D/A 转换器	79
4.2.1 D/A 转换器概要	79
4.2.2 D/A 转换器的使用例子	80
4.3 16 位定时器 (ITU)	81
4.3.1 ITU 概要	81
4.3.2 间隔定时器的应用例子	84
4.3.3 交替输出的应用例子	89
4.4 串行通信 (SCI)	90
4.4.1 SCI 概要	91
4.4.2 异步通信的应用例子	92
4.4.3 时钟同步通信的应用例子	99
4.5 DMA 控制器	101
4.5.1 各种数据的传送方法	101
4.5.2 DMAC 概要	103
4.5.3 全地址模式的应用例子	105
4.5.4 短地址模式的应用例子	107
4.6 WDT	110
4.6.1 WDT 概要	110
4.6.2 利用 WDT 复位的程序例子	111
4.6.3 利用 WDT 的间隔定时器的应用例子	112
第 5 章 C 语言编程	114
5.1 C 语言和 H8 单片机	114
5.1.1 标准输入/输出	114
5.1.2 变量的长度	115
5.2 调用 main 前的作业	116
5.2.1 复位处理	116
5.2.2 变量的初始化	117
5.3 外围功能的编程	119
5.3.1 寄存器存取	119

5.3.2 中断处理	121
5.4 C语言的基础知识	123
5.4.1 运算符	123
5.4.2 控制语句	125
5.4.3 结构体、数组和指针的特点	126
5.4.4 函数调用	128
5.4.5 说明和存储类	128
第6章 外部存储器接口	130
6.1 存储器接口	130
6.1.1 存储器连接的基础	131
6.1.2 存储器接口的设计	133
6.1.3 DRAM 接口	138
6.1.4 更新定时器的间隔定时器的应用例子	143
6.2 外围功能接口	144
6.2.1 扩展端口	144
6.2.2 连接 LCD	144
第7章 各种应用举例	147
7.1 电子风琴	147
7.2 电机控制 I	152
7.3 电机控制 II	159
7.4 数字录音和放音	162
7.5 声音处理	165

第1章 什么是微型计算机

微型计算机（Micro Computer）是一种高级计算机，就像所描述的“微型”一词，是一种非常小的计算机。

计算机就是人们所称的电子计算机。其“电子”是指使用半导体和其他电子部件的计算机。一提起计算机就会使人想起台式电子计算器，其实最初的微型计算机用于台式电子计算器。美国 Intel 公司设计的 i4004 微型计算机是世界上最早的微型计算机，最初的用途是台式电子计算器。想像一下台式电子计算器计算的时候，它是通过按键输入数字（此动作如同计算机从输入装置输入数据），然后显示告诉人们已被正确输入。如果将电子计算器分解，键和表示装置并不直接连接，它们之间装有微型计算机。此微型计算机根据按键的信息，用指令进行运行表示（称为运算），然后根据运算键的指示执行四则运算。就这样，微型计算机执行预先存储的程序（将指令编在一起的东西称为程序），实现台式电子计算器的功能（参见图 1.1）。

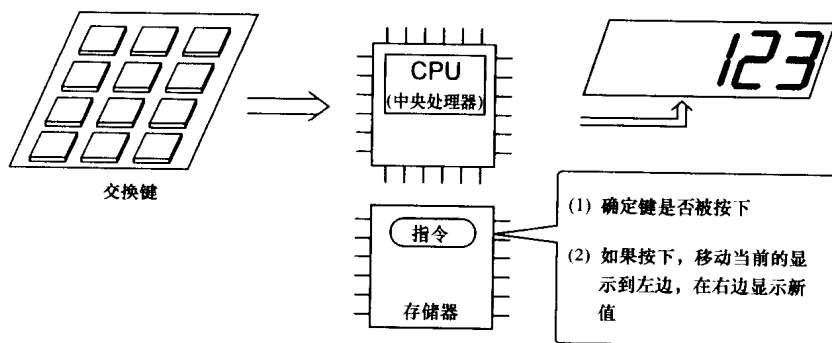


图 1.1 台式电子计算器的动作

但是，现在的台式电子计算器由于价格的关系使用专用集成电路（IC），而不使用微型计算机。

由此可见，计算机是根据指令反复执行的装置，微型计算机也一样。如果没有程序，微型计算机只是一块石头（因为半导体用硅作成）；如果只有程序而没有执行的石头（硬件），程序只是一串无意义的字符。只有在有机地结合硬件和软件的两个要素时（参见图 1.2），计算机才能充分发挥其功能。换句话说，对相同的硬件，如果改变程序，就会变成不同功能的系统。这一点只要注意一下个人计算机或者计算机游戏机，就会非常清楚。例如，如果给计算机安装并执行游戏程序，计算机就变成了游戏机；如果执行因特网程序，就变成因特网终端。

计算机不论怎样反复地进行同样的运行，都不会抱怨，也不会出错。只要供给电源，就永远为你默默地工作。现在，不仅是台式电子计算器，微型计算机也与我们的生活结下

了不解之缘，甚至是不被注意的地方，从早到晚甚至夜间，它都在工作。我们的生活离开了微型计算机就无法想像，但是大家并不太知道微型计算机是如何巧妙地帮助我们。

那么，在哪些领域使用微型计算机，它又能为我们做什么呢？

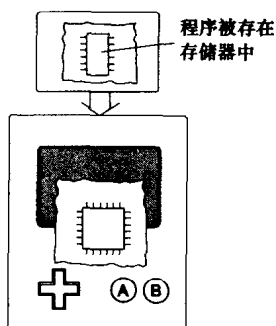


图 1.2 微型计算机的硬件和软件的结合

1.1 生活中的微型计算机

例如，被称为信息机器的设备几乎都使用微型计算机。在个人计算机中微型计算机大显身手，装入的微型计算机种类很多，键盘中独立地装有微型计算机，笔记本个人计算机的电源和充电器的管理也属于微型计算机的工作范围，并且 PDA（个人数字助理）也和个人计算机一样使用微型计算机。根据来自鼠标和键盘的指示，执行应用程序和改变画面的表示，并且表示鼠标的光标等也都由微型计算机控制。

计算机游戏机也和计算机相同，用游戏操作盘以及有时用反坦克火箭炮代替鼠标和键盘，如果操纵它们，画面就一个接一个地变化。最新游戏机的画面变化速度超过了计算机（参见图 1.3）。

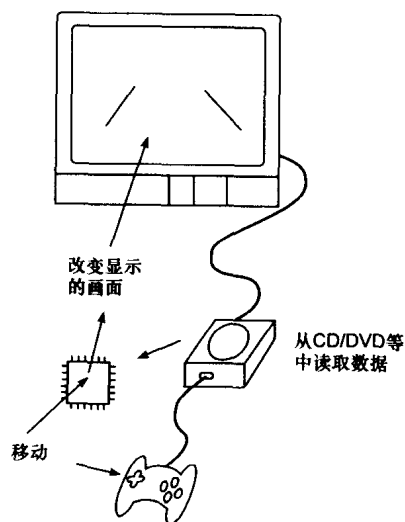


图 1.3 游戏机的动作

和现在几乎已看不到的用拨盘拨号的黑色电话机不同,带有留言功能和自动重拨号键等的电话机装有微型计算机。传真机、移动电话(参见图 1.4)中也装有微型计算机。因为这种电话一按键就会发出哔哔声,显示画面能表示对方的电话号码和通话时间,并且还能进行电话留言的再现和录音,所以很受青睐。



图 1.4 移动电话的动作

电视和磁带录像机也都由微型计算机控制,完成频道选择以及在画面上表示选择的频道数和音量等工作。频道选择是从天线接收到的各种电波中取出特定台的电波。电子调谐器的选台是通过控制供给变容二极管元件的电压进行,微型计算机根据来自遥控器的信号产生供给调谐器的电压。磁带录像机为了实现由遥控器或者按钮指示的录像和再现,转动马达经由磁头盘绕磁带,到了定时器指定的时间自动开始录像等(参见图 1.5)。

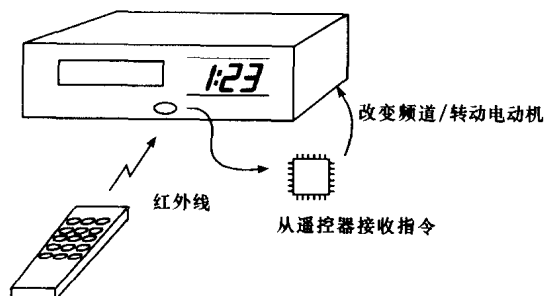


图 1.5 磁带录像机的动作

电冰箱和电子微波炉也装有微型计算机。在家用电器中最耗电的应该是电冰箱,因为它一直在工作着。但是现在为了保护地球环境正在努力降低耗电量,用反相器控制循环制冷的压缩机马达,通过开和关的控制以及严密管理冰箱内的温度来减少消耗功率。通过微型计算机进行反相器的控制,调整反相器频率和马达电压,达到最高效率。电子微波炉使用各种传感器区分微波炉内的食品,微型计算机根据从传感器得到的信息,对加热量和时间进行最佳调节(参见图 1.6)。

汽车也使用大量的微型计算机。用于控制引擎的微型计算机进行燃料喷射量、调速以及空转时的旋转数等的控制。还有空气包、ABS、牵引控制、窗户和空调等也由各自的微型计算机控制。例如速度表(参见图 1.7),近来的汽车是如何操纵指针的呢?来自车轴的转动信号被传送到表盘,微型计算机根据此信号转动速度表的马达,控制指针在速度表上准确地指示速度,并不用模拟电压表显示来自车轴的信号。

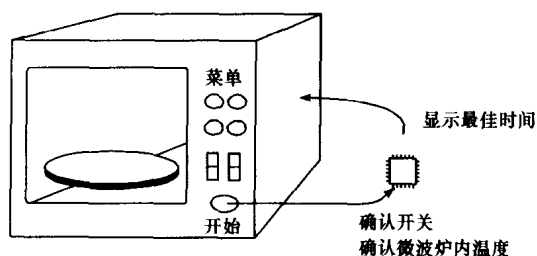


图 1.6 电子微波炉的动作

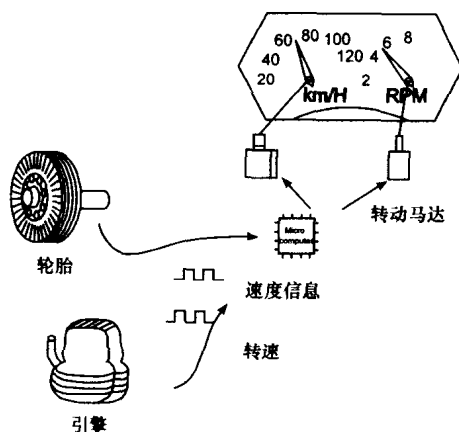


图 1.7 速度表的动作

如上介绍的微型计算机在机器中悄悄地运行，自动地进行各种各样的控制，丰富我们的生活。

为什么需要在各种各样产品中使用微型计算机呢？答案在于通用性。

到目前为止介绍的产品中搭载微型计算机的产品很多。但并不是说，如果不搭载微型计算机，就无法完成产品。如果用机械控制的话，就不能通过简单地按按钮来完成时间设定等；如果制作专用电路，就要花费很多开发时间，并且会出现在开发中发生错误而无法纠正等很多问题。例如，如果使用发条构造的定时器，就必须用手旋转刻度盘，但是有很多刻度与实际时间不合的情况（参见图 1.8 (a)）。如果内置微型计算机，就能用按钮正确设定到秒单位，设定的时间可以简单地用数字表示（参见图 1.8 (b)）。所以使用微型计算机，很多问题一下都解决了。

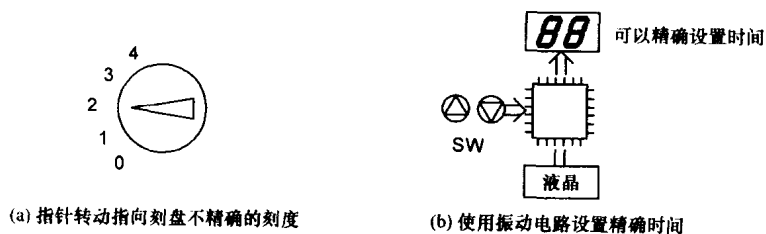


图 1.8 机械式定时器和微型计算机定时器

因为微型计算机是通用产品，任何时候都可以买到同样的产品，但是即使相同的微型计算机，只要编入不同的程序，就可以变成完全不同的产品，所以微型计算机通过改变程序，可以使它和特制的专用电路具有相同的动作。另外，对专用电路来说，难而复杂的功能可以通过编写程序来实现。因程序的开发只需要个人计算机和开发用装置，所以和专用电路的开发相比用很少的开发经费就可解决，并且开发用装置不限于一次使用，在下次开发时如果微型计算机相同，无论多少次都能使用，比较节省开销。

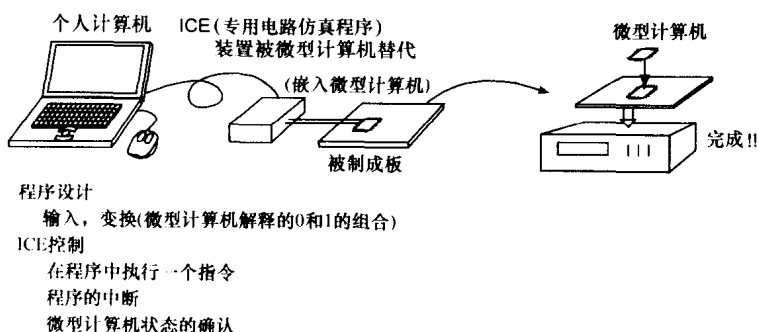


图 1.9 开发所必需的装置构成

使用微型计算机似乎全是优点，那么微型计算机就没有缺点吗？有，主要在于比专用电路需要更多的处理时间。

例如，让我们考虑一下只有在同时按下两个开关时才点亮电灯的情况。专用电路如图 1.10 所示，只要两个开关串联就行了。如果按下两个开关，电灯就亮。

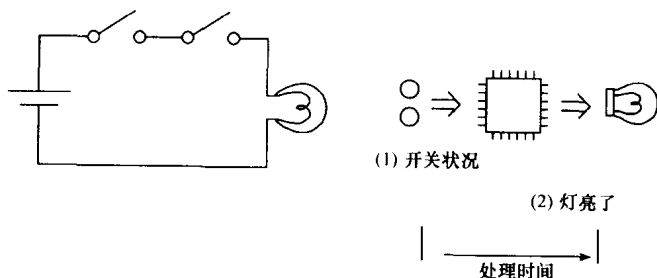


图 1.10 专用电路和微型计算机

让我们试着用微型计算机来实现此功能。开关和电灯没接通，微型计算机根据时钟逐条执行指令（将在后面详细说明）。指令执行的结果是：如果判断两个开关都被按下，就打开电灯的开关。指令执行顺序为：将两个开关状态读取到 CPU 的指令、判定两个开关都被按下的指令、如果两个开关都被按下就让电灯点亮的指令。假定一条指令执行需要 $1\mu\text{s}$ ($1/1\,000\,000\text{ s}$) 的时间，到电灯点亮为止至少需要 $3\mu\text{s}$ 的时间。如果是人或者处理比较简单的话，不存在什么问题。但是，如果是高速运行的机器或者处理比较复杂的话，那就不行了。例如，在数字压缩并记录拍摄的录像时，需要 18.432MHz (用 $640\times$

480 像素 $\times$ 60 画面计算)的计算速度,也就是说,必须在 54ns 以内运算处理一个画面的数据,但是压缩处理必须进行行列运算、离散余弦变换(DCT)、量化以及差的绝对值合计等复杂的运算,如果运算速度变慢,画面就会丢掉,无法观看。普通的微型计算机还不具有能高速执行这种运算的结构。

如果这样利用微型计算机,即使简单的动作也要花费时间,因此必须考虑如何有效地利用微型计算机和专用电路的特长来分担工作。

另外,用个人计算机也能编写程序并且控制各种各样的装置。但是为了将个人计算机和装置连接,需要给个人计算机装入插板和加工标准接口并连接到个人计算机。由于个人计算机体积大,组装到其他装置里使用是不现实的。虽说个人计算机的价格降低了,但相对价格还是很高。尽管个人计算机具有较高的处理能力,然而对于装入电冰箱的计算机,没必要具有那样的处理能力,个人计算机有它自己的用途。本书针对嵌入装置的微型计算机进行学习,而不是个人计算机。但是个人计算机属于微型计算机的应用产品,通过微型计算机的学习也能为学习个人计算机打下基础。

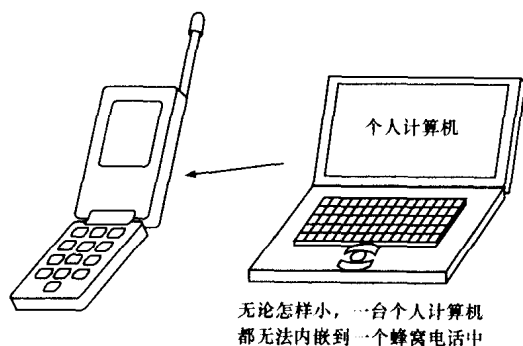


图 1.11 对嵌入应用的个人计算机和微型计算机

1.2 微型计算机如何运行

微型计算机能给我们的生活带来很多方便,如果能自由使用微型计算机,就可以实现各种装置的自动化,制造出目前还没有的新产品。为此必须从了解微型计算机开始。

下面介绍计算机的内部构造。

1.2.1 微型计算机的运行

与人不同,计算机不能自己思考并工作。它必须从记忆装置(存储器)一个一个地取出事先准备好的指令组合(程序),再根据这些指令执行运算等的运行。

如图 1.12 所示,假如在存储器中存储了指令(如何存储将在后面说明)。最初的指令为“读取开关数据”。计算机对存储器指示存储此指令的位置,并且读取指令,然后解析读到的指令,从有开关的地方读取数据。从而结束一条指令的运行。

微型计算机从存储器读取下一条指令,因为此指令为“确认开关是否为开状态”,所以确认由前面的指令读取的数据。下一条指令是“如果开关为开状态就执行下一条指

令，如果开关为关状态就返回读开关的指令”。

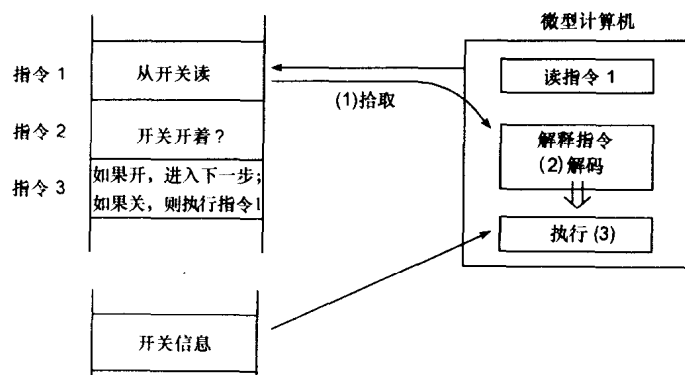


图 1.12 微型计算机和存储器

用这样的方法，计算机从存储器读取指令边执行。此运行归纳如下：

- 读指令 (Instruction Fetch)

计算机输出指向存储指令位置的地址，并从存储器读取指令。

- 解析指令 (Instruction Decode)

解析读到的指令。

不解读就不知道是什么指令。

- 执行指令 (Instruction Execute)

执行解读后的指令。

以指令的读取、解码和执行作为一个周期。对下一条指令、再下一条指令，……，反复进行这样的周期。

计算机的指令，以一条指令为单位只能进行数据的复制、四则运算、比较和逻辑运算等简单的运算。但是，通过组合这些指令后执行它们，就能进行复杂的运算。

计算机一次只能执行一条指令。指令的执行根据时钟进行，时钟频率越高执行时间就越短。

(指令预先存储在存储器里。用开发此方式的人名命名为冯·诺伊曼式计算机，现在的计算机几乎都是这种方式。)

1.2.2 微型计算机 (CPU) 以外的元件

记忆装置称为存储器，存储器用二进制存储指令和数据，为了取出存储的信息，微型计算机给存储的位置附上地址进行管理。

为了读取指令，微型计算机将存储指令的地址通知存储器，存储器把存储此地址的内容（存储器不知道是否为指令）传送给微型计算机。

微型计算机输出地址的管脚称为地址总线，是处理地址信息的总线信号群。

读取指令的管脚称为数据总线。此数据总线不仅用于读取指令，还用于根据指令进行数据移动。