



高等学校电子与通信工程类专业“十三五”规划教材

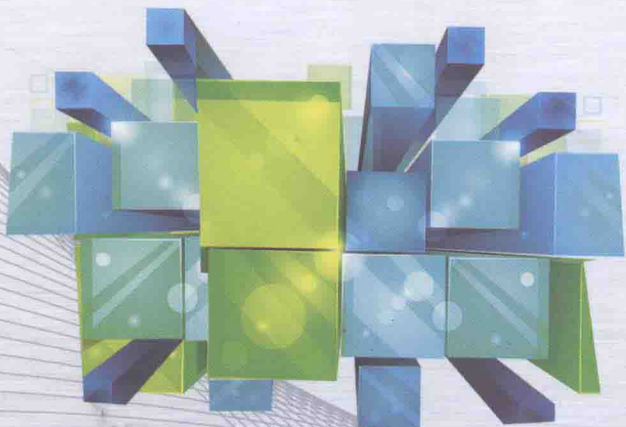
高等教育创新与实践

电子信息类工程实践教程

(专业技能分册)

The Engineering Practices for the Electronic and Information Education

马建国 王大岚 著



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校电子与通信工程类专业“十三五”规划教材

高等教育创新与实践

电子信息类工程实践教程

(专业技能分册)

马建国 王大岚 著

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书以无线终端(如智能手机等)中各个功能模块的设计为例,尝试建立信息通信理论和使用嵌入式数字信号处理器的真实应用之间的桥梁。每一章都涉及一个具有特定应用背景的特殊题目,如取样理论、脉冲编码调制(PCM)、自适应脉冲编码调制、双音多频(DTMF)、调制解调以及无线网络,包括简要叙述算法理论,以及在数字信号处理开发平台上的具体实施。本书还提供所有应用项目的源码及其功能解释,以数字资源包的形式放在出版社网站,供读者下载实践。

本书可供读者理解如何使用数字信号处理实现一个具体应用,并解决读者特有的项目问题。

形成本书的讲义已被用作教材在天津大学电子信息工程学院工程实践课程中使用达五年之久。

图书在版编目(CIP)数据

高等教育创新与实践电子信息类工程实践教程. 专业技能分册/马建国, 王大岚著.

—西安: 西安电子科技大学出版社, 2015.11

高等学校电子与通信工程类专业“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5606-3711-2

I. ① 高… II. ① 马… ② 王… III. ① 电子信息—高等学校—教材 IV. ① G203

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 264351 号

策 划 李惠萍

责任编辑 李惠萍

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2015 年 11 月第 1 版 2015 年 11 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×960 毫米 1/16 印 张 11

印 数 1~3000 册

字 数 157 千字

定 价 20.00 元

ISBN 978-7-5606-3711-2/G

XDUP 4003001-1

如有印装问题可调换

引 子

这部书建立了信息通信理论和使用嵌入式数字信号处理器的真实应用之间的桥梁。每一章都涉及一个特殊的题目，包括简要叙述算法理论，讨论如何在数字信号处理开发平台上实施一个项目。本书还提供所有应用项目的源码及其功能解释，可供读者下载实践。

任何人，如果希望理解如何使用数字信号处理技术实现一个实际应用并解决他的特有的问题，将会发现这本书是非常有益的。

形成本书的讲义已被用作教材在天津大学电子信息工程学院工程实践课程使用长达五年之久。实践证明，这一课程对提升学生实践技能、加深对所学理论的理解，培养学生创新能力等都有很大帮助。

当前国内电子信息类专业教育和人才培养的不足之处是培养出的学生缺少创新能力。虽然学生理论考试成绩很好，但他们不了解所学的电子信息类理论如何在实际中得到应用。就像每位学生至少有一部手机，每天都在使用手机，但他并不充分了解一部手机都由哪些器件组成，手机中使用了哪些信息通信理论一样。

与本书配套的课程正是进行高等教育的探索和创新实践，书中所包含的课题取自手机和其它电子设备的应用，具有实际意义。课程的实践内容弥补了学生所学理论知识以外的空白。课程不仅加深了学生对所学理论的理解，同时也教会学生如何实现一个应用题目，对学生今后自主创业也具有引领作用。

本书所涉及的应用题目大多应用于手机设计中，包括取样理论、脉冲编码调制(PCM)、自适应脉冲编码调制、双音多频(DTMF)、调制解调以及无线网络。

本书由通识教育分册和专业技能分册组成，其中，通识教育分册主要为基础知识，介绍了基本通信理论的应用实例，专业技能分册属高级专业内容，介绍了复杂的应用实例，如无线网络 WiFi 等。

著 者

2015 年 10 月

前言

信息技术近年来有了革命性的发展，许多新技术和新产品被创造出来，它们彻底改变了人们的生活。人们广泛使用计算机和互联网，用更快捷和更方便的方式完成日常工作、交换信息和获取知识。

在信息技术领域，有两个神奇的发明家这里应该提到，即比尔·盖茨和史蒂夫·乔布斯。他们被广泛描述为在商务、发明和产品设计领域中的具有想象力和创造力的领军人物。不夸张地说，他们两人改变了现代世界的面貌：成千上万的计算机依靠微软视窗操作系统进行工作。苹果公司的iPhone、iPad等产品也被大众所喜爱。一个有趣的事实是：这两个最成功的发明家都有一个共同的特点，即他们总是有崭新的想法并持之以恒地去实现他们的梦想。他们两人都没有完成高等教育，而为了实现他们的梦，他们在人生的早期阶段开始了自我完善的实践活动。

读者可能会问：为什么我们没有培养出中国的乔布斯？我们的大学是否应该改进教学方法增加更多的实践活动以跟上信息技术的快速发展？

另一个值得思考的问题是，传统的由元器件构成的数字系统和设备近年来已经被通用的或专用的信号处理器所取代。我们的课程应该让学生接触数字技术的最新发展，熟悉用信号处理的技术来实现信息通信。

为了解决这个问题，天津大学近年来启动了卓越工程师计划，本实践课程就是高等教育创新与实践的一部分。我们的课程从2010年刚刚入学的信息学院新生开始，学生每年参与不同的实践项目，直到他们毕业。课程的目的是提高学生的实践能力，鼓励他们创造和实现一个新的想法。实践课程的主要方法是让学生自己完成课题项目，所有的课题项目都取自工业界的实际应用并随着技术的进步年年更新。课题的硬件内容涉及项目开发平台，包括数字信号处理器、接口设备、显示器等。课题的软件内容涉及

数字信号处理算法实施、C 语言编程技术和实时编程技术等。学生通过完成课题可以学到信息科学领域的最新知识和技能。

本教程由课堂讲课部分和实践部分组成。讲课部分介绍基本的数字通信概念和应用。实践部分详细介绍每一个课题的基本理论、实施方案、源码分析、调试方法、修改源码加深理解和进一步的研究方向。

实践内容涉及的信息科学领域有

- 信号与系统;
- 数字信号处理;
- 现代数字通信系统;
- 无线通信(WiFi);
- 网络通信 TCP/IP 协议;
- 数字信号处理器结构和实时编程技术。

这部教程主要是面向实践课程的，每一章节集中介绍一个具体应用的实施方法，而不是企图详细进行理论分析，因为我们假设读者从有关理论课程学习中已经理解了该理论的概念，或者读者在完成课题实践的同时可通过阅读有关资料来获得所需理论知识。

本教程由通识教育分册和专业技能分册两册组成，其中，通识教育分册可供信息科学类一年级学生使用，专业技能分册可供信息科学类二、三年级学生和工程师培训课程使用。专业技能分册涵盖的题目比较复杂，主要以语音压缩算法实施和无线网络通信应用为主，以下是专业技能分册每一课题的简要描述。

- 国际电联 G726 语音压缩数据通信

这个课题在开发平台上实现了国际电联 G726 语音压缩编码和解码，并通过串行口完成双机对话通信。

- 国际电联 G726 语音压缩数据重放

这个课题在开发平台上实现了国际电联 G726 语音压缩编码和解码，并重放已压缩的数据。

- 国际电联 G726 语音压缩数据存储

这个课题在开发平台上实现了国际电联 G726 语音压缩编码和解码，

并存储已压缩的数据。

- **G726 语音压缩数据和计算机通信**

这个课题实现计算机和开发平台实时交换 G726 语音压缩数据的方案。

- **WiFi 网络编程实践——网页控制**

这个课题是在开发平台上建立一个基本的点对点的无线网络，并使用通用 TCP 服务器运行应用程序，验证其无线连接性。

- **WiFi 网络编程实践——文字聊天室**

这个课题是在开发平台上建立一个基本的点对点的无线网络，并使用通用 TCP 服务器运行应用程序和一个无线网络终端实现网络聊天。

- **WiFi 网络编程实践——远程温度监测**

这个课题是在开发平台上建立一个基本的点对点的无线网络，并将采集到的温度数据通过无线网络发出。远程客户端软件接收温度数据实施报警监控。

所有课题源码被列在本教程附有的数字资源包内，可在西安电子科技大学出版社网站下载。

感谢

我们在这里感谢以下有关单位和个人的热情帮助：天津大学的院校领导创造了条件使这个工程实践课程能够在电子信息工程学院顺利开设达四年之久，参与课程的老师和同学对这个课程的开设给与积极支持。

著 者
2015 年 10 月

目 录

第一章 语音压缩算法	1
1.1 概述	2
1.2 ADPCM 算法	2
1.3 ADPCM 编码器	3
1.4 ADPCM 解码器	4
1.5 编码器原理介绍	4
1.6 解码器原理介绍	11
1.7 G726 语音压缩算法程序库	13
1.7.1 概述	13
1.7.2 G726 算法程序库主要功能	13
第二章 G726 算法实施方案	15
2.1 课题 1——G726 语音压缩数据通信	16
2.1.1 概述	16
2.1.2 源码分析	17
2.1.3 G726 通信应用课题的实施	27
2.1.4 问题和讨论	29
2.2 课题 2——G726 语音压缩数据的重放	29
2.2.1 概述	30
2.2.2 源码分析	30
2.2.3 语音压缩数据重放应用课题的实施	37
2.2.4 问题和讨论	38
2.3 课题 3——G726 语音压缩数据的存储重放	38
2.3.1 概述	38
2.3.2 源码分析	39
2.3.3 G726 存储重放应用课题的实施	55
2.3.4 问题和讨论	56
2.4 课题 4——G726 语音压缩数据和计算机通信	56
2.4.1 概述	56

2.4.2 串行接口通信	57
2.4.3 源码分析	60
2.4.4 G726 数据与计算机交换课题的实施	66
2.4.5 问题和讨论	68
第三章 无线网络通信——WiFi	69
3.1 概述	70
3.2 WiFi 应用介绍	71
3.2.1 互联网访问	71
3.2.2 计算机对计算机直接通信	71
3.3 WiFi 硬件	72
3.4 802.11 标准	73
3.4.1 协议	74
3.4.2 信道频率和国际兼容	75
3.4.3 802.11 调制解调 OFDM	76
3.5 TCP/IP 和 802.11/WiFi 编程基础	78
3.5.1 TCP/IP 网络	78
3.5.2 802.11 WiFi 网络编程	86
3.5.3 TCP/IP 子程序栈	89
第四章 高级实践课题的实施	97
4.1 TCP/IP WiFi 课题 1——无线网页控制	98
4.1.1 概述	98
4.1.2 课题分析	98
4.1.3 WiFi 网页控制方案的实施	109
4.1.4 问题和讨论	111
4.2 WiFi 课题 2——无线网络的数据通信	112
4.2.1 概述	112
4.2.2 课题分析	112
4.2.3 无线网络数据通信方案的实施	119
4.2.4 问题和讨论	121
4.3 WiFi 课题 3——网络远程温度监测	121
4.3.1 概述	121
4.3.2 课题分析	122
4.3.3 无线远程温度监测方案的实施	126

4.3.4 问题和讨论.....	129
4.4 WiFi 课题 4——无线网络聊天室	129
4.4.1 概述.....	129
4.4.2 课题分析.....	129
4.4.3 无线网络聊天方案的实施.....	135
4.4.4 问题和讨论.....	138
附录.....	139
附录 1 G726 算法程序库	139
附录 2 Microchip WiFi 单元.....	147
附录 3 数字资源包中源码内容	152
附录 4 网络缩写用语	153
附录 5 问题参考答案	155
索引.....	158
参考文献	161



第一章

语音压缩算法

另 读

本章详细描述了自适应差分脉冲编码调制(ADPCM)语音压缩算法理论。为了更好地理解该算法,读者需要具备一些相关物理和数学知识。

通过本章学习,读者将得到一个全新的概念:这里所讲的语音压缩技术,是使用物理和数学概念用软件实现的。换句话说,是使用数字信号处理的方法实现的。因此,读者可以了解如何使用数字信号处理的算法来设计目前广泛使用的手机以及其他智能电子设备,这是现代电子技术的发展方向。

本章还介绍了 G726 算法程序库的结构功能和使用方法,供读者在实现语音压缩技术时参考。



1.1 概 述

自适应差分脉冲编码调制(ADPCM)是一种非常有效的数字信号编码方法。ADPCM 在通信领域主要应用于语音压缩,因为 ADPCM 能够减少传输比特率并保持语音品质在一个可接受的水平上。这个技术同样可以应用于其它信号,包括高品质音乐、图像和调制解调器数据等。

CELP(码激励线性预测编码, Code Excited Linear Prediction)、VSELP(矢量和激励线性预测编码, Vector Sum Excited Linear Prediction)等语音编码算法利用人类声音特性重建信号波形,虽然信号听起来非常相似,但和原始声音信号还是有很大的不同。ADPCM 算法与这些算法不同,它根据需要传输信号的特征来减少信息量,使之满足必要的编码需求,并尽可能真实地重建原始声音信号。ADPCM 的原理是使用信号在前一段时间的特性来预测它在下一段时间的特性,虽然预测的信号会有误差,但是这一误差在可以接受的范围内。这个算法在模拟/数字转换形成 PCM 后的代码转换阶段运行。脉冲编码调制(PCM)是最直接的模拟/数字编码。PCM 的码字表示取样信号的幅度量化值。换句话说,在使用 ADPCM 减少传输比特之前,要进行脉冲编码调制。根据 G726 推荐书,一个 8 bit PCM 码字能够被减少为 4 bit 的 ADPCM 码字(速率 32 kb/s),相应的比特数据流减小一半。但 DPCM 码字表示的是信号的预测误差,因此 DPCM 码字在解码后,还需与预测值相加,才能重建原始(信号)波形。

本章介绍了语音压缩的基本概念以及国际电联 ITU-T G726 算法,包括以下算法:

- G726 编码算法;
- G726 解码算法。

1.2 ADPCM 算法

G726 语音压缩是将每秒 64 kbit 的 A 律或 μ 律 PCM 数据转换成每秒



40 bit、32 bit、24 bit 或 16 kbit 的数据。PCM 比特流用 ADPCM 代码转换技术变成 ADPCM 比特流。音频信号和 PCM 编解码定律之间的关系已在 G711 推荐书中定义。一个简化的 ADPCM 编码器和解码器方框图分别如图 1-1 和图 1-2 所示。

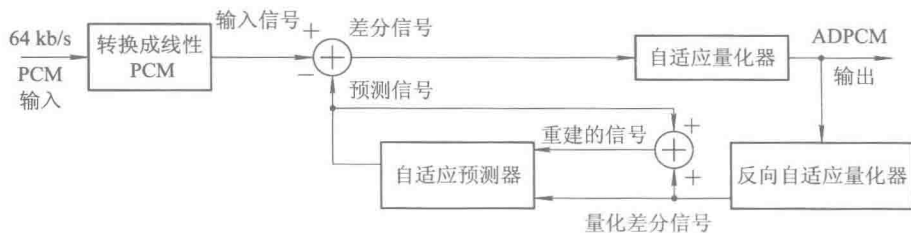


图 1-1 G726 编码器方框图

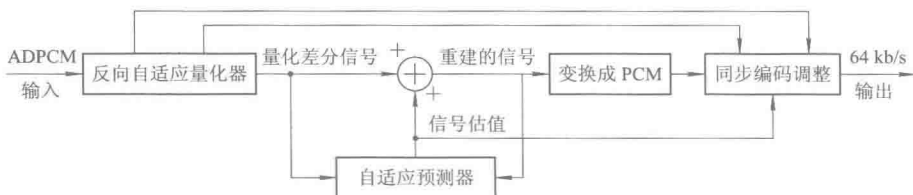


图 1-2 G726 解码器方框图

1.3 ADPCM 编码器

G726 编码器首先将输入的 PCM A 律或 μ 律信号转换成线性 PCM，再减去一个从之前的输入信号本身得到的估计值，就得到一个差分信号。一个自适应 31 阶、15 阶、7 阶或 4 阶量化器分别用来产生 5 位、4 位、3 位或 2 位二进制数，即量化差分信号。量化后的差分信号被传送到解码器。在解码器中，一个反向量化器将这些 5 位、4 位、3 位或 2 位二进制数(量化差分信号)进行反量化，恢复成一个量化差分信号。从之前的解码信号得到的信号估值加上这个量化差分信号就生成一个输入信号的重建版本。重建信号和量化差分信号由自适应预测器处理后产生信号估计值，从而完成反向循环。



1.4 ADPCM 解码器

G726 解码器中包括一个反向运用的编码器、一个将线性 PCM 转换成 A 律或 μ 律信号的变换器和同步编码调整部分。同步编码调整部分用于防止在某些条件下, 同步串行编码(ADPCM-PCM-ADPCM 数字链接)所造成的累积失真。同步编码调整(见 1.6.7 节)的工作原理是通过减小下一个 ADPCM 编码阶段的量化噪音来调整 PCM 输出码。

1.5 编码器原理介绍

图 1-3 是编码器方框原理图。图中, k 是取样系数(序号), 每隔 $125 \mu\text{s}$ 完成一次取样。每一个方框的功能将在本小节后续内容中叙述。

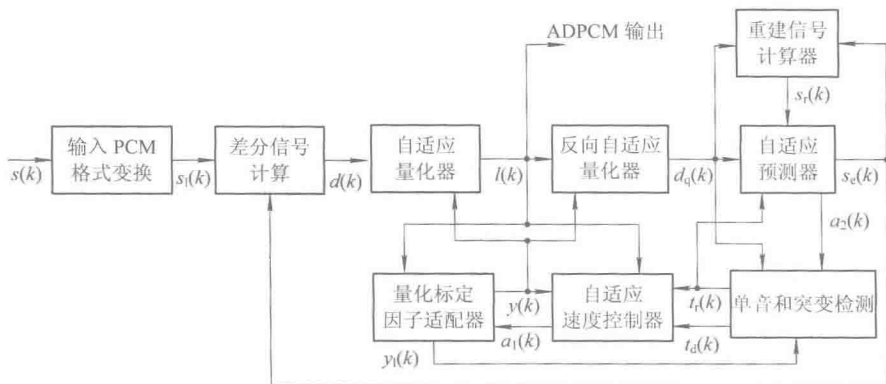


图 1-3 编码器方框图

1. 输入 PCM 格式变换

这一部分将输入信号 $s(k)$ 从 A 律或 μ 律 PCM 转换成线性 PCM 信号, $s_1(k)$ 。

2. 差分信号计算

这一部分用线性 PCM 信号 $s_1(k)$ 和信号估值 $s_e(k)$ 计算差分信号 $d(k)$:



$$d(k) = s_1(k) - s_c(k) \quad (1-1)$$

3. 自适应量化器

一个自适应 31 阶、15 阶、7 阶或 4 阶非线性量化器来计算量化差分信号 $I(k)$ ，实现的传输速率分别为 40 kb/s、32 kb/s、24 kb/s 或 16 kb/s。输入差分信号 $d(k)$ 在量化计算之前要转变为 2 的对数形式并用 $y(k)$ 标定， $y(k)$ 则用标定因子适配器计算得出：

$$d_{\ln}(k) = \text{lb}(d_1(k)) - y(k) \quad (1-2)$$

上式中 lb 表示以 2 为底的对数，即 $\log_2$ 。

表 1-1~表 1-4 给出量化器标准输入/输出特性。

4. 40 kb/s 操作的量化器

5 位二进制数用来表示量化后的差分信号 $d_{\ln}(k)$ (表示信号电平) (4 位二进制数用来表示幅度，1 位二进制数用来表示二进制补码符号)。5 bit 量化器输出形成 40 kb/s 输出信号 $I(k)$ 。 $I(k)$ 根据输入信号大小从 31 个非零值中取一个送入反向自适应量化器、自适应速度控制器和量化标定因子适配器单元。这些单元同样使用 5 bit 的 $I(k)$ 进行操作。 $I(k)$ 有 32 种可能值，在用于解码器时， $I(k) = 00000$ 也是一个合理的输入值。表 1-1 为 40 kb/s 量化器标准输入/输出特性。

表 1-1 量化器标准输入/输出特性(传输速率 40 kb/s)

标准量化器输入信号区间 $d_{\ln}(k)$	$ I(k) $	标准量化器输出 $d_{\text{qln}}(k)$
$[4.31, +\infty)$	15	4.42
$[4.12, 4.31)$	14	4.21
$[3.91, 4.12)$	13	4.02
$[3.70, 3.91)$	12	3.81
$[3.47, 3.70)$	11	3.59
$[3.22, 3.47)$	10	3.35
$[2.95, 3.22)$	9	3.09
$[2.64, 2.95)$	8	2.80
$[2.32, 2.64)$	7	2.48
$[1.95, 2.32)$	6	2.14
$[1.54, 1.95)$	5	1.75



续表

标准量化器输入信号区间 $d_{in}(k)$	$ I(k) $	标准量化器输出 $d_{qin}(k)$
$[1.08, 1.54)$	4	1.32
$[0.52, 1.08)$	3	0.81
$[-0.13, 0.52)$	2	0.22
$[-0.96, -0.13)$	1	-0.52
$(-\infty, -0.96)$	0	$-\infty$

5. 32 kb/s 操作的量化器

4 位二进制数用来确定用 $d_{in}(k)$ 表示的量化信号电平(3 位二进制数用来表示幅度, 1 位二进制数用来表示二进制补码符号)。4 bit 量化器输出 $I(k)$ 形成 32 kb/s 输出信号。 $I(k)$ 根据输入信号大小从 15 个非零值中取一个送入反向自适应量化器、自适应速度控制器和量化标定因子适配器单元。这些单元同样用 4 bit 的 $I(k)$ 进行操作。 $I(k)$ 有 16 种可能值, 在用于解码器时, $I(k) = 00000$ 也是一个合理的输入值。表 1-2 为 32 kb/s 量化器标准输入/输出特性。

表 1-2 量化器标准输入/输出特性(传输速率 32 kb/s)

标准量化器输入信号区间 $d_{in}(k)$	$ I(k) $	标准量化器输出 $d_{qin}(k)$
$[3.12, +\infty)$	7	3.32
$[2.72, 3.12)$	6	2.91
$[2.34, 2.72)$	5	2.52
$[1.91, 2.34)$	4	2.13
$[1.38, 1.91)$	3	1.66
$[0.62, 1.38)$	2	1.05
$[-0.98, 0.62)$	1	0.031
$(-\infty, -0.98)$	0	$-\infty$

6. 24 kb/s 操作的量化器

3 位二进制数用来确定用 $d_{in}(k)$ 表示的量化信号电平(2 位二进制数用来表示幅度, 1 位二进制数用来表示二进制补码符号)。3 bit 量化器输出 $I(k)$