

数字信号处理参考教材系列

VLSI 与数字 信号处理

谷萩隆嗣 编
〔日〕伊藤秀男 藤原 洋 等著
野口孝树

1.72
1

 科学出版社
www.sciencep.com

数字信号处理参考教材系列

VLSI 与数字 信号处理

谷萩隆嗣 编

〔日〕伊藤秀男

野口孝树

崔东印 译

藤原洋 等著

科学出版社

北京

图字:01-2003-1055 号

VLSI and Digital Signal Processing

Copyright © 1997 by Takashi Yahagi & Corona Publishing Co., Ltd.

All rights reserved.

Chinese translation rights arranged with Corona Publishing Co., Ltd.

Tokyo, Japan.

デジタル信号処理ライブラリー7

VLSIとデジタル信号処理

VLSI and Digital Signal Processing

谷萩隆嗣 株式会社コロナ社

Takashi Yahagi CORONA PUBLISHING CO., LTD.

图书在版编目(CIP)数据

VLSI与数字信号处理/(日)谷萩隆嗣编;伊藤秀男,野口孝树,藤原洋等著;崔东印译.—北京:科学出版社,2003

(数字信号处理参考教材系列)

ISBN 7-03-011374-8

I. V… II. ①谷… ②伊… ③野… ④藤… ⑤崔… III. 超大规模集成电路-数字信号-信号处理 IV. TN47

中国版本图书馆CIP数据核字(2003)第031870号

责任编辑 崔炳哲 责任制作 魏 谨

责任印制 刘士平 封面设计 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:A5(890×1240)

2003年9月第一次印刷 印张:8 7/8

印数:1—4 000 字数:204 000

定 价:22.50 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

“数字信号处理参考教材系列”序

近年来,随着数字技术的惊人发展,以前用模拟技术进行处理或者以往根本无法进行数字处理的问题,都可以进行数字处理了。因此,数字技术越来越广泛地应用于诸多领域,而且这些领域对数字技术的要求也变得越来越高的。

最近对电气、电子、信息、通信等领域进行的大规模市场调查表明,很多企业以及研究机构都对数字信号处理技术非常重视,他们在调查问卷的表格中,把数字信号处理填在了“必要性”和“重要性”一栏的首位。从这一社会现象也可以看出,数字信号处理是当今社会急需发展的学科领域之一。

鉴于这种状况,我们以供从事数字信号处理或者准备学习数字信号处理的社会各界人士参考阅读为目的,从更广泛的角度对数字信号处理这一学科进行归纳整理,编写了这套系列书。

本系列书包括以下各册:

1. 数字信号处理基础理论
2. 数字滤波器与信号处理
3. 语音与图像的数字信号处理
4. 快速算法与并行信号处理
5. 卡尔曼滤波器与自适应信号处理
6. ARMA 系统与数字信号处理
7. VLSI 与数字信号处理
8. 信息通信与数字信号处理

9. 人工神经网络与模糊信号处理

10. 多媒体与数字信号处理

上述各册中,第1至第3为基础部分,以大学三、四年级本科生为读者对象;第4至第6为比基础部分内容较深的提高部分,以研究生或者具有同等学历的科研人员及技术人员为读者对象;第7至第10为应用部分,以大学或研究机构的研究人员为主要读者对象,亦可供有一定基础知识的社会各界人士参考阅读。

也就是说,读者可根据自己的兴趣和所掌握的知识基础,有选择地阅读本系列书中的内容。比如,从基础知识开始学习数字信号处理的读者,可选择基础部分的内容;如果已具备了一定的基础知识,则可选择提高部分或者应用部分。从基础知识开始学习的,可按基础部分→提高部分→应用部分的顺序,或者按基础部分→应用部分→提高部分的顺序,根据自己的兴趣有选择地阅读。

本系列的执笔者均为目前仍活跃在相关领域第一线的专家、学者,因而编者有理由相信本系列书能够满足不同层次读者的需求。

另外,考虑到数字信号处理理论及应用技术的迅速发展,今后我们会根据情况及时补充新内容,使本系列书不断充实和完善。

最后,时值本系列书出版之际,谨向对本系列书的出版提供多方帮助的CORONA社的各位表示衷心的感谢。

“数字信号处理参考教材系列”策划兼主编
谷萩隆嗣

前 言

数字信号处理技术主要是随着计算机与数字信号处理器(DSP: Digital Signal Processor)等专用处理器的相关技术以及种种数字技术的进步而发展起来的。为了能够制作各种数字信号处理装置并进行有效利用,以超大规模集成电路(VLSI)为基础的硬件知识已经变得非常必要。

本书首先从数字信号处理出发,阐述其硬件的基础知识,随后详细讲解数字信号处理中使用到的主要硬件,并介绍数字信号处理所需的各种大规模集成电路(LSI)的设计实例,最后介绍 VLSI 的封装技术等。

第 1 章,作为数字信号处理的硬件基础,对不带存储元件的组合电路与带有存储元件的时序电路作了介绍,这些逻辑电路知识对于理解数字信号处理中的硬件是非常必要的。

第 2 章介绍数字信号处理中使用的几种基本电路。首先介绍加减法器与乘法器的原理及构成方法;接着介绍比较器原理及任意两个二进制比较电路的结构,并阐述数字信号传送时所必需的编码器与译码器;最后,对在数字信号处理领域起着非常重要作用的 A-D 转换器与 D-A 转换器进行详细说明。

第 3 章,为便于掌握 VLSI 设计技术的全貌,首先概要介绍 VLSI;然后介绍在 VLSI 中发展迅速的专用集成电路(ASIC)的基本构造;最后阐述 VLSI 的设计技术,对 CAD 工具也作简单介绍。

第4章首先介绍数字电路中所发生的故障的种类以及故障容差技术,这对于数字信号处理所用集成电路的高可靠性是非常重要的。本章还特别对VLSI的测试生成技术与可测试性设计进行了详细说明。

第5章对数字信号处理中不可缺少的DSP作了详细介绍。首先阐述DSP的工作原理及技术现状,随后介绍DSP的构造及内部构成,并对DSP的设计作了详细说明。

第6章介绍用于并行处理的VLSI的各种构造。首先对矢量处理器及超级标量处理器进行说明,然后对具有特殊构造的并行处理器的例子和收缩阵列进行讲解。

第7章,作为数字信号处理用LSI设计的代表例子,介绍音频信号处理用FIR滤波器、彩色动态图像信号处理器、人工神经网络及模糊推理用LSI。

第8章对最新的VLSI的封装技术与信号处理进行说明。首先介绍在薄膜上安装VLSI的带式自动键合(TAB: Tape Automated Bonding)方式,并讲述TAB缺陷的检查;然后,对可实现更高密度封装的球栅阵列(BGA: Ball Grid Array)及多芯片模块(MCM: Multichip Module)进行说明,并对今后的封装技术的发展给予展望。

以上即为本书各章所讲述的从基础到高级的数字信号处理必需的硬件技术。具有硬件相关基础知识的读者,不妨从第3章或第4章开始阅读。而对硬件不熟悉的读者,请务必从第1章开始阅读。

编者 谷萩隆嗣

编者简历

谷萩隆嗣

- 1966年 东京工业大学工学部电子工程专业毕业
1971年 东京工业大学研究生院理工学研究科
电子工程专业博士课程修了,获工学博士学位
1971年 千叶大学讲师(工学部电子工程专业)
1974年 千叶大学副教授(工学部电子工程专业)
1984年 千叶大学教授(工学部电气工程专业)
1989年~现在 千叶大学教授(工学部信息工程专业)

著 者

- 伊藤秀男 (千叶大学,工学博士) 1章~4章
野口孝树 ((株)日立制作所) 5章
稻上泰弘 ((株)日立制作所) 6.1节
花轮 诚 ((株)日立制作所) 6.2节
藤原 洋 ((株)GRAPHICS COMMUNICATION LABRATORY, 工学博士) 6.3节,
7.2节
竹田 稔 (NIPPON PRECISION CIRCUITS(株)) 7.1节
古田俊之 ((株)RICOH) 7.3节
中村和夫 (三菱电机(株)) 7.4节
谷萩隆嗣 (千叶大学,工学博士) 8.1节,8.2节,8.4节
山田光秀 (冲电气工业(株)) 8.3节,8.4节

目 录

第 1 章 信号处理中的数字电路基础	1
1.1 组合电路	2
1.1.1 基本门电路	2
1.1.2 与或(AND-OR)门型电路	3
1.1.3 或与(OR-AND)门型电路	5
1.2 时序电路	7
1.2.1 时序电路的概念	7
1.2.2 时序电路的表达	9
1.2.3 触发器	11
1.2.4 时序电路的构成	16
第 2 章 数字信号处理中的基本电路	21
2.1 加减法器	22
2.1.1 二进制加法器	22
2.1.2 串行进位加法器	23
2.1.3 超前进位加法器	24
2.1.4 二进制加减法器	26
2.2 乘法器	28
2.2.1 乘法计算的原理	28
2.2.2 二进制数的乘法电路	30
2.3 比较器	31
2.3.1 比较器的原理	31

2.3.2	比较器的构成	32
2.4	编码器与译码器	34
2.4.1	编码器	34
2.4.2	译码器	35
2.5	A-D转换器与D-A转换器	37
2.5.1	A-D转换器	38
2.5.2	D-A转换器	42
第3章	VLSI设计技术概要	47
3.1	VLSI概要	48
3.2	专用集成电路(ASIC)	50
3.2.1	ASIC的概念	51
3.2.2	门阵列	51
3.2.3	标准单元芯片	53
3.2.4	宏单元芯片	54
3.2.5	预置阵列	55
3.2.6	全定制器件	55
3.2.7	现场可编程器件	55
3.3	VLSI设计技术	60
3.3.1	设计技术概要	60
3.3.2	各项设计技术	62
第4章	数字电路的高可靠性与VLSI的测试	65
4.1	数字电路高可靠性的概念	66
4.1.1	高可靠性的基本概念	67
4.1.2	故障容错技术	69

4.1.3	缺陷容错技术	71
4.2	VLSI 的测试生成技术	75
4.2.1	单固定退化故障测试	75
4.2.2	CMOS 门的固定断路故障测试	77
4.2.3	延迟故障测试	80
4.2.4	时序电路的测试	82
4.2.5	存储器的测试	86
4.3	VLSI 的可测试性设计	87
4.3.1	扫描路径法	88
4.3.2	BIST 法	89
4.3.3	边界扫描法	91
第 5 章	数字信号处理器与信号处理	95
5.1	数字信号处理器的概要	96
5.2	数字信号处理器的构造	100
5.3	数字信号处理器的特殊功能	103
5.4	数字信号处理器的内部构成	107
5.5	数字信号处理器的设计	112
5.5.1	逻辑 LSI 的设计流程	112
5.5.2	假想 DSP 核心的基本设计	114
5.5.3	假想 DSP 核心的数据路径的设计	121
5.5.4	假想 DSP 核心的控制电路的设计	122
第 6 章	并行处理用 VLSI 的构造	127
6.1	矢量处理器	128
6.1.1	矢量处理器的概念	128

6.1.2	矢量运算方式	130
6.1.3	矢量处理器带来的高速化	139
6.2	超级标量处理器	144
6.2.1	超级标量处理器的概念	145
6.2.2	超级标量处理器的高速化	149
6.3	收缩阵列	155
6.3.1	收缩阵列的概念	156
6.3.2	各种收缩阵列	159
6.3.3	使用收缩阵列的信号处理	162
第7章	数字信号处理用 LSI 设计实例	169
7.1	音频信号处理的 FIR 滤波器用 LSI	170
7.1.1	数字音响中的 A-D 和 D-A 转换系统	170
7.1.2	过采样滤波器的概念 ^[9]	175
7.1.3	过采样 FIR 滤波器用 LSI 的发展动向	176
7.1.4	FIR 滤波器的构成方法与运算次数	179
7.1.5	FIR 滤波器的再量化噪声	182
7.1.6	FIR 滤波器用 LSI 的设计	185
7.2	彩色动态图像信号处理用 LSI	188
7.2.1	彩色动态图像信号处理用 LSI 的概述	188
7.2.2	各种彩色动态图像信号处理用 LSI 的实现方式	193
7.2.3	彩色动态图像信号处理用 LSI 的实例	204
7.3	人工神经网络用 LSI	204
7.4	模糊推理用 LSI	215
7.4.1	模糊推理	216
7.4.2	模糊推理用 LSI	218

7.4.3	硬件概要	219
7.4.4	隶属函数的发生	220
7.4.5	规则的处理与重心计算	222
7.4.6	规则命令与前事件部的处理	224
7.4.7	后事件部的处理	228
7.4.8	模糊推理用 LSI 的实例	230
第 8 章	VLSI 的封装技术	231
8.1	带式自动键合(TAB)方式	232
8.1.1	半导体器件的封装技术	232
8.1.2	概 述	232
8.1.3	TAB 异常的图像处理检查	234
8.2	球栅阵列(BGA)方式	237
8.2.1	概 述	237
8.2.2	BGA 异常的检查	239
8.3	多芯片模块(MCM)方式	239
8.3.1	概 述	239
8.3.2	MCM 的分类	240
8.3.3	MCM 的主要技术	241
8.3.4	MCM 的实例	246
8.4	今后的展望	249
8.4.1	芯片尺寸封装(CSP)方式	249
8.4.2	组合基板	250
参考文献		253
索 引		259

第1章

信号处理中的数字 电路基础

CONTENTS

- 1.1 组合电路
- 1.2 时序电路

在为了—定目的而进行数字信号处理时,总要用到诸如计算机、专用处理器、专用电路等一些硬件。从这个意义上讲,在数字信号处理中,硬件也是极为重要的。从处理内容上看,也有一些是在很大程度上依赖硬件而发展起来的。所以,现在的状况是不理解硬件也就不理解数字信号处理。本章将就数字信号处理中要用到的硬件基础——组合电路及时序电路进行介绍。

1.1 组合电路

逻辑电路分为不带存储功能的组合电路和带有存储功能的时序电路两大类型。本节先介绍基本的组合电路。

1.1.1 基本门电路

表现逻辑关系的函数有与(AND)、或(OR)、与非(NAND)、或非(NOR)、非(NOT)、异或(EXOR)(Exclusive OR)等。这里,将实现这些函数的电路称为基本门电路。由多个基本门电路组成的电路,只要—看电路图,其构造即可明白,因而使用起来非常方便。为此,将各个基本门电路用如图 1.1 所示的电路符号来表示。

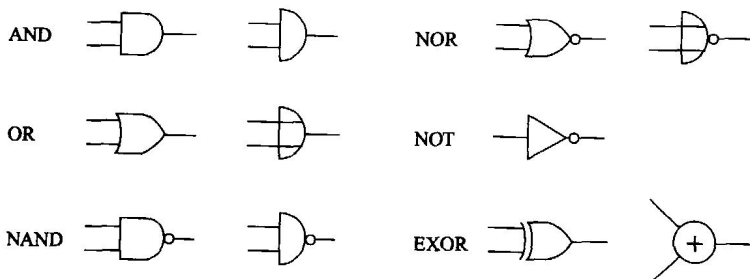


图 1.1 基本门电路的符号

门电路只表示逻辑功能,而诸如速度的快慢、面积的大小等物理内容一概不表示。但是,这些门电路一般又是由具有特定半导体技术及电路技术等物理性质的元器件构成的。具有这些物理特征的逻辑部件称为逻辑器件。典型的逻辑器件有:

- DTL(Diode Transistor Logic,二极管-晶体管逻辑)
- TTL(Transistor Transistor Logic,晶体管-晶体管逻辑)
- ECL(Emitter Coupled Logic,发射极耦合逻辑)
- MOS(EET)[Metal Oxide Semiconductor(Field Effect Transistor),金属-氧化物-半导体(场效应晶体管)]
- 其他(砷化镓 FET、HEMT、约瑟夫森器件)

DTL用于早期的计算机中,现在已不使用。TTL及ECL过去也一直使用,但最近渐渐不太使用。MOS中称为CMOS的器件因耗电少、可高密度集成,而成为现在使用最为广泛的器件。包含许多逻辑的超大规模集成电路(VLSI)用CMOS作即可。

其他高速元器件中,约瑟夫森器件很早就在研究,但一直难以进入实用阶段。砷化镓FET、HEMT等已从研究阶段进入实用阶段,不断有用其制造的大规模化、高集成化的VLSI问世。

1.1.2 与或(AND-OR)门型电路

用积和的形式表示逻辑关系函数,用AND门表示乘积项、用OR门表示乘积之和的电路构造,称为AND-OR型电路。通常是将函数简化,用AND门表示各主项,用OR门表示各主项的和,所以称为AND-OR型电路。由于此电路是用积和型函数来表示,因而也称为积和型电路。下面通过实例对AND-OR型电路的构成进行介绍。

下面试求满足如图1.2所示卡诺图真值表的逻辑函数 f 的电路。如图所示,可得主项为① x_3x_4 、② x_1x_2 、③ $\bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3$ 、④ $\bar{x}_1\bar{x}_2x_4$,必需项为①、②、③。据此,可得如下式(1.1)的积和型(AND-OR型)函数。

$$f = x_3x_4 + x_1x_2 + \bar{x}_1\bar{x}_2\bar{x}_3 \quad (1.1)$$

将此函数的各个乘积项用 AND 门表示,乘积项之和用 OR 门表示,即可得到如图 1.3 所示的 AND-OR 型电路。但是,乘积项中带有否定的参数,要通过 NOT 门后再作乘积。

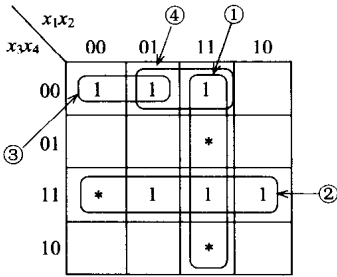


图 1.2 卡诺图

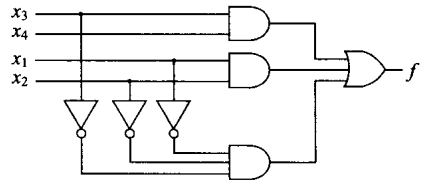


图 1.3 AND-OR 型电路

因为 $f = \bar{\bar{f}}$, 所以由德·摩根定律得

$$f = \overline{x_3 x_4 + x_1 x_2 + \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3} = \overline{x_3 x_4} \cdot \overline{x_1 x_2} \cdot \overline{\bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3} \quad (1.2)$$

式(1.2)是只用 NAND 关系来表示 f , 将各个 NAND 关系用 NAND 门去代替, 即可得到如图 1.4 所示的 NAND-NAND 型电路。可以说, 函数的 AND-OR 型表示与 NAND-NAND 型表示是等价的。

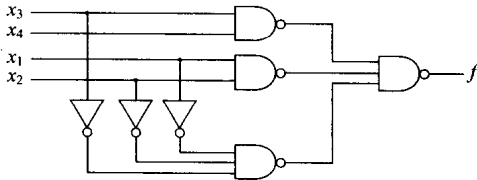


图 1.4 NAND-NAND 型电路

以上所示的 AND-OR 型电路与 NAND-NAND 型电路, 除去 NOT 门外, 从输入到输出的信号路径上门的个数为 2, 因而通常称之为 2 段 AND-OR 型电路或 2 段 NAND-NAND 型电路等。