

信号处理器芯片

[英] D·J·夸姆毕 等编著

中国微型电脑应用协会工业控制专业委员会

上海交通大学科技交流室

一九八七年九月

信号处理器芯片

D·J·夸姆毕 等编著

庄 利 发 译

王 正 华 校

中国微型电脑应用协会工业控制专业委员会

上海交通大学科技交流室

一九八七年九月

译者前言

信号处理器芯片(Signal processor chips)是八十年代初期才大量投放市场的新型单片信号处理器。它可以广泛用于工业自动化、过程控制、测试与仪表、制导与控制、电话通讯、信号处理、语音处理等部门。引人注目的是这种新型芯片可以直接用于模拟系统,使模拟系统设计人员摆脱复杂的布线、大基板设计和烦琐的调试工作,把主要精力从繁杂的硬件设计转向软件设计,给系统的设计和修改带来很大的灵活性。从而给模拟系统的设计开辟了一条崭新的途径,同时提高了系统的可靠性,降低了系统成本,因此具有广阔的发展前景。

本书介绍了目前使用最广泛的三种芯片:INTEL2920, NEC7720, TMS320 芯片的结构、指令集、开发系统和各种算法实例程序。现在国内介绍这种新型芯片的资料还不多,希望通过本书的翻译为读者提供一些新的信息,为引进新技术作点工作,但是由于译者学识水平有限,书中难免有错误与不妥之处,恳请读者批评指正。

在本书的译校过程中得到江毅同志的帮助,在此表示谢意。

译者 1987.6

目 录

序 言	(1)
第一章 基本情况和应用(D·J·夸姆毕)	(3)
1.1 一种新型的芯片	(3)
1.2 模拟领域中的计算机	(6)
1.3 乘法器	(11)
1.4 “位片”式信号处理器	(13)
1.5 信号处理器芯片	(18)
1.6 编程方法	(19)
参考文献	(20)
第二章 算法(D·J·夸姆毕)	(22)
2.1 变量的表示方法	(22)
2.2 四种规则算法	(25)
2.3 横向滤波器	(27)
2.4 递归滤波器	(30)
2.5 离散富里埃变换(DFT)	(36)
2.6 快速富里埃变换(FFT)	(37)
2.7 线性预测	(43)
2.8 幂级数展开式	(49)
2.9 图形匹配	(49)
参考文献	(52)
第三章 INTEL 2920(J·里坦豪斯)	(53)
3.1 引言	(53)

3.2	2920的说明	(53)
3.3	2920指令集	(61)
3.4	2920芯片开发方法	(64)
3.5	算术积木式部件	(65)
3.6	振荡器	(71)
3.7	非线性函数	(74)
3.8	输入和输出	(75)
3.9	2920芯片实现的滤波器	(78)
3.10	其它积木式部件	(94)
3.11	硬件研究	(94)
	参考文献	(98)

第四章 NEC 7720(A·佐依卡斯 NEC欧洲分公司)···(99)

4.1	引言	(99)
4.2	7720的说明	(99)
4.3	7720指令集	(107)
4.4	7720芯片开发方法	(108)
4.5	在滤波器方面的应用	(114)
4.6	在快速富里埃变换方面的应用	(133)
4.7	结论	(138)
	参考文献	(139)

第五章 TMS 320 (P·史泉莱基 得克萨斯仪器公司 英国分公司)···(142)

5.1	引言	(142)
5.2	320 的说明	(145)
5.3	320 指令集	(155)
5.4	320 芯片开发方法	(166)

5.5	一般应用技术·····	(169)
5.6	在数字滤波器方面的应用·····	(173)
5.7	在频谱分析方面的应用·····	(182)
5.8	TMS 320 系列的发展方向·····	(186)
第六章	综合与发展方向 (D·J·夸姆毕)·····	(190)
6.1	器件的选择·····	(190)
6.2	向浮点结构发展·····	(193)
6.3	向并行处理结构发展·····	(195)
	参考文献·····	(197)

序 言

电气工程的许多领域日益受到数字电子学发展的影响。数字电子学的发展，正在形成信号处理电子学，看来每个工业大国都有本国的发展计划，并且有少数国家正在研制新一代计算机，其目标是使机器在智能化方面、方便人机对话方面有一个飞跃，而数字信号处理芯片集成电路的生产和应用能促使上述目标的实现。这就是本书编写的目的。

本书以三个可编程信号处理器为中心内容，它们是由世界上三个最大的芯片制造厂生产和经销的，这三个制造厂分别是美国的英特尔(Intel)公司和得克萨斯仪器公司(Texas Instruments)以及日本电气公司(NEC)。其它公司生产的器件仅内部使用，在世界上的影响也较小。所述的三个器件是Intel2920，TMS320，NEC7720，分三章介绍。编写这三个中心章节的作者都是器件应用方面的国际专家，并且他们在有关的芯片制造厂中享有较高的地位。他们工作很繁忙，我非常感谢他们抽时间为本书作出贡献。

本书适用于工程技术人员、从事这方面工作的专职人员和高年级大学生。本书的探讨方法是非常实际的，文风与制造厂的文献比较相似而不象大学课本，避开了详细的数学推导，根据流程图叙述算法，并列出了需要参考的数学课本。在第二章中介绍了各种算法，其内容仅包括后面章节的实例中应用到的那些部分。但是事实证明它是相当完备的，毫无疑问一般算法都包含在内。

目前只有相当少的同行采用这些器件，但它的使用正在迅速地增长着。我希望由于我们的努力使得采用这些器件的人数不断增加。

D·J·夸姆毕

第一章 基本情况和应用

1.1 一种新型的芯片

微处理器芯片是七十年代电子学发展的主要成果，它是工程技术领域的希望，很多技术人员都知道它的潜力，现在“微处理器”已成为日常用语。

使得计算机微型化的重要措施之一是处理器的微型化。在芯片中体现的思想正是过去大型计算机所使用的，所以在原理上并没有什么突破，主要是开创了数字计算机的应用范围。

微电子技术已经逐渐影响信号处理领域，用计算机处理模拟信号已有一段时间。过去由于高速运算单元的成本高，限制了它在慢速信号，离线处理方面的应用。

由于出现了一种新型的芯片，这种现象已经迅速改变。本书的目的就是帮助工程技术人员认识这种变化并且使他们熟悉这些器件。

芯片制造商通过大量销售产品来增加利润，因此，他们在开始费时费钱的设计之前必须看到新设计的器件将来应用的范围。这些新产品可进行语音处理 (Speech processing)，为此，需要改革七十年代的芯片结构，开发新产品。在市场上，这种新型结构的产品首先应用于语音综合。这里使用的芯片一般是专门为语音综合而设计的，而不能通过编程来完成各种功能。得克萨斯仪器公司由于他们的 LPC 综合芯片 (TMS5100, 5200 和 5220) 和“说话与拼音”教具使他们在

器件和应用两方面领先。现在电视游戏机，家用计算机，汽车和许多其它的机器都装有类似的芯片。由于语音的质量相当差，在对其进行改进的过程中生产了许多结构比较复杂的语音综合器（见参考文献 1.1）。这就是新的可编程信号处理器获得应有信誉之处。把这些设计直接转变成专用芯片并不容易，而要用芯片中采用的很低级别的指令（指微指令或毫微指令——译者）来试验可编程序是可行的。当前，大多数语音综合装置采用一组贮存的控制参量来产生有限数量的短语。它们的作用象固态记录那样，对每个短语进行快速随机存取。尽管在短语的长度上存在着各种方案，但这是暂时的。市场上已经可以买到便宜的系统，这种系统直接从贮存的原文产生语音。它们产生的语音仅仅可以理解，而更好的系统尚在研究所中，并且信号处理器芯片的作用在进入市场后才能得到发挥。

语音综合技术正在成熟。语音分析和语音识别仍处于初期阶段，信号处理器芯片正在这个领域内起着重要作用。LPC 综合器的优点是容易确定相应的分析器。用这些可编程芯片已实现了分析器（见参考文献 1.2, 1.3）。分析器/综合器的组合就是声码器，它使语音信号的数据传输速率降低。采用甚低位速率的声码器已经受到限制，但是当越来越多的电话变成数字电话时，为了传送一定质量的语音，对便宜声码器的需求将会增加。语音识别迄今为止很少应用，这些设备是昂贵的，它们需要有一个“训练”阶段来适应新的词汇和新的发言者，并且只有几个能够处理连续发音。信号处理器芯片将直接影响这种系统的尺寸和费用。它们要完成的操作是滤波、谱分析和谱相关等操作——这是语音识别的主要成

分。对语音识别系统的制造厂来说，给他们带来的经济效益是高的，并且这个领域将会迅速发展。

这些器件不只用于语音处理，另一个重要的应用范围是数字数据传送——调制解调器的设计。传送中的误差检测和校正，在理论上已经解决。（见参考文献 1.4），这些算法主要处理数字信息，数据采样速率类似于语音信号。我们的这些芯片适合于制作试验系统，并且在以后的生产过程中掩膜编程。

另一个应用范围是低频声纳信号处理，它的信号带宽类似于语音信号。当信号带宽增加时，处理精度将自然下降，但是在实验室里，学生们用一片信号处理器芯片直接产生视频信号，已经做出了简单的图象发生器。

在今后几年内，将会看到可编程信号处理器芯片在这些方面的影响。这种影响可能会象微处理器那样，使得“信号处理器”成为专业术语。还要重复指出的是它在原理上不存在重大的变革。集成电路工艺已经发展到这样一个阶段，在一片芯片上可以包含一个快速乘法器以及计算机的其它部件。为了更好地利用乘法器和其它的计算资源，已经对常见的计算机结构进行了调整。已经证明（见参考文献 1.5），信号处理器芯片在通用计算机的演变中处于先导地位。无疑，我们不久将会看到在通用微处理器芯片中装有快速乘法器，这将意味着新一代的微处理器与信号处理器类似，能够处理语音信号。也有可能，专门的信号处理器计算机转向处理较高频带的信号，而且机器的结构将会分散而不是集中。

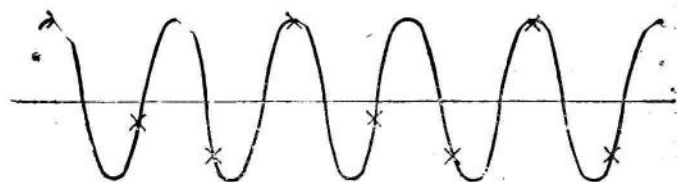
现在，我们只讨论目前可以得到的一些器件，讨论这些器件的来龙去脉，考察它们能够做些什么，以及如何做。

1.2 模拟领域中的计算机

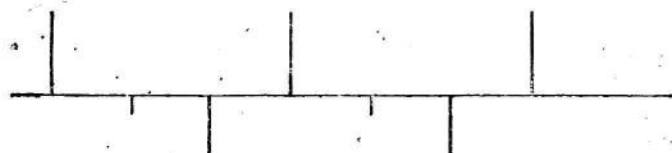
从事数字信号处理的工程技术人员所碰到的都是精密的数字量。但是处理的信号却是从产生模拟电压的传感器中得到，所以，必须尽量方便地把模拟信号转化为数字信号。芯片制造厂可提供一些元件来完成这种转换，这些元件不需要很多有关模拟电路方面的知识。

对模拟电路的第一个要求与混叠问题有关，十分清楚，如果我们处理一个快速变化的高频信号，那么必须以高的速率来取得那个信号的样本。当语音信号的频率伸展到 4 或 5 千赫时，显然不能用 100 赫的频率对该信号进行采样。为了处理那样的信号，采样频率必须大于该信号最高频率二倍，这种情况下是 10 千赫，每个周期提供 2 个以上的样本才能使正弦信号重建。显然，实际上这个采样频率是不够高的。如果在信号中存在高于 $\frac{1}{2}$ 采样频率分量，这些分量可能被认为是较低的频率，如图 1.1 所示。图中 $6\frac{2}{3}$ 千赫信号的样本与 $3\frac{1}{3}$ 千赫的信号样本完全相同。这种混乱现象是不允许存在的，所以，在数字信号处理中必须假定，在待处理的信号中，存在这种较低的频率分量。

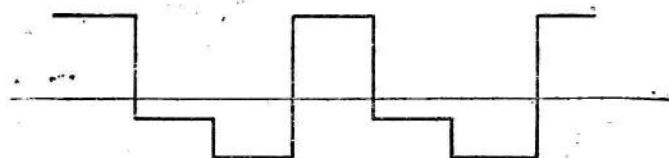
在某些应用中可能不会产生这种问题。因为受到传感器本身响应速度方面的限制，并且可以采用高速率采样，以保证不产生混叠现象。如果有可能产生混叠，就必须先将信号通过低通滤波器来消除混叠。理论上，在滤波器截止点以内特性是恒定的，在截止点以后具有零响应。但实际上这是不可能的，系统设计者必须决定两个极限频率。必须以偏离理想的恒定增益的容许误差作为频率的低限值，以二分之一采样速率为频率的上限值。并且超过上限的所有频率都必须衰



a) 原信号 ($6\frac{2}{3}$ 千赫) 用 10 千赫采样



b) 样本值



c) 根据样本值重建的信号, 现在频率为 $3\frac{1}{3}$ 千赫

图 1.1 混叠

减到实际上可以忽略的程度。这两个极限频率之间的范围越宽, 设计模拟滤波器越容易。制造厂为那些不愿做具体设计的, 从事数字处理的工程师提供了一些使用方便的优质滤波器。对于数字滤波器的设计师来讲, 特别引人注意的是开关电容滤波器, 它的截止频率可以通过改变器件的时钟频率来进行控制。Intel2912 和 Motorola MC145414 是典型的实

例。

当一个信号是由数字系统产生时，也需要低通滤波器。语音综合器就是典型的例子。由 D/A 转换器产生的信号是阶梯形的，每一阶梯保持一个采样周期。也有可能阶梯变化很快，输出变换器(如扬声器)使级差平滑。否则，就需要类似于抗混叠的低通滤波器。为清楚起见，把这种滤波器称为“内插”(interpolation)滤波器。

A/D 和 D/A 转换器的资料由生产这些器件的专业制造厂提供。这些器件越来越小且使用方便，所需要的外部元件也不多。采用 A/D 转换器时，问题在于采样保持器。在低频时，常常可以取消采样保持器。可以采用一种“追踪”(tracking)型 A/D 转换器，在这种转换器中，输出数字量的变化，通过该数字量所代表的电压(由 D/A 产生)与输入电压逐次进行比较中由升降计数器来完成，(见图 1.2(a))。这样，一个高分辨率的转换器转换一次需要的转换时间较长，从而限制了它的转换速率。转换速度在毫微秒范围内的另一种所谓“闪烁”型的快速 A/D 转换器，它不需要采样保持电路，这种转换器采用了大量的比较器，输入信号可能与 256 个并联的预置电平进行比较，最后把得到的 256 位样本适当地编码成 8 位数值(见图 1.2(c))。在上述慢速和快速两种转换之间，我们最关心的，也是最常用的转换器是逐次逼近转换器(见图 1.2(b))。这种转换器需要采样保持电路，转换过程是从最高位开始，依次对每位置位，每一步将部分结果经一个 D/A 转换器与输入(保持)信号进行比较。如果没有信号保持，在次高位正在变化时会发生很大的误差。

采用逐次逼近转换器而不采用“闪烁”型快速转换器的原

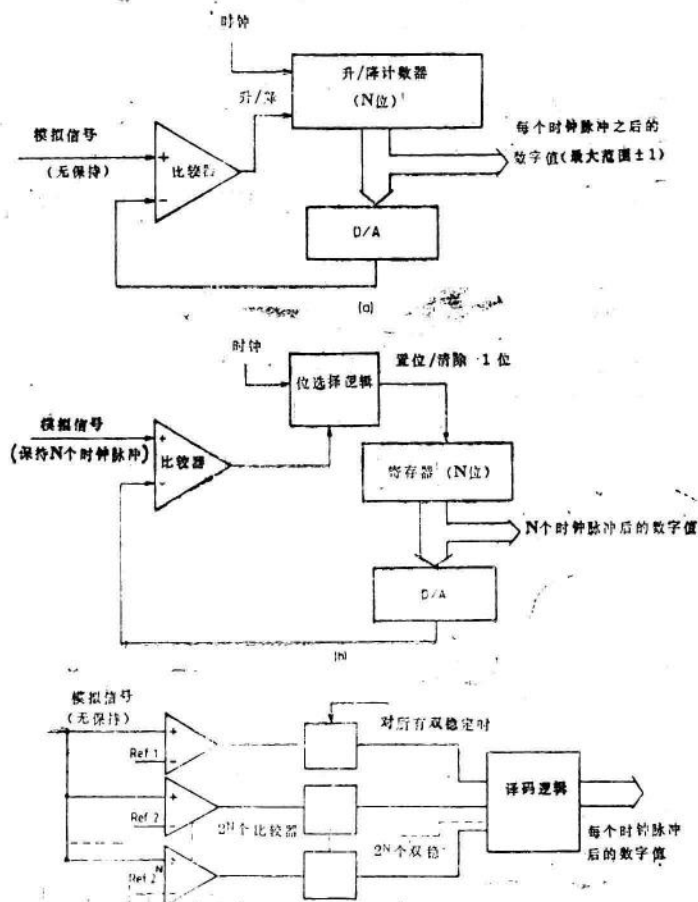


图 1.2 (a) 追踪型 A/D; (b) 逐次逼近 A/D;
(c) “闪烁”型快速 A/D

因是前者可以得到比较高的分辨率。快速转换器高到 9 位精度，而逐次逼近转换器可达到 18 位精度范围。

值得注意的是，通常采用大量数位的原因是为了适应信号宽广的变化范围。例如，由压电声纳传感器产生的回波信号幅值(见图 1.3)，它可以从几伏降到几个微伏，变化 10^6 倍，需要 20 位的测量范围。然而在某个特定的深度上，信号测量所需的精度可能是 1/1000，它只需 10 位。在声纳设备和许多其它的应用中，解决的办法是在 A/D 转换之前设置一个放大器，一种特别有用的数控放大器，它的增益以 2 的幂为级差而变化。例如，Micro Networks 公司生产的 MN2020，它有三根控制线，用来提供 1 至 128 之间的各种增益。因此，这三根控制线可组成 7 位，然后与转换信号的变化范围

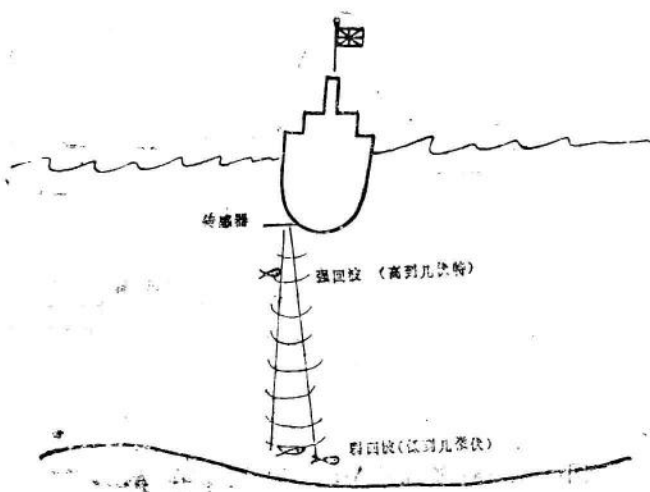


图 1.3 声纳系统

相加，于是用一个 13 位的 A/D 转换器可满足声纳系统 20 位的变化范围。当然，结果用浮点形式表示，其中 13 位尾数，3 位指数。在第二章我们再讨论数的表示方法。

在信号处理系统中必然需要模拟电子元件，在甚高频情况下，数字方法必然要产生某种影响。然而，在设计数字系统的模拟部分时，方法上已发生很大变化，主要是封装式模块，一般的电路设计日益成为芯片制造厂少数人的事。

1.3 乘法器

正确设计和组装的数字电路在首次运行时，除了最简单的模拟电路之外，一切电路都需要调整。然而，过去很长一段时间，在可以使用计算机的地方，信号处理仍然依靠模拟部件。这是因为缺少一种足够快速和廉价的乘法器。乘法运算对信号处理来说是重要的，例如，滤波中采用的部件，在每一个信号处理系统中几乎都有滤波器。在最简单的无源滤波器中，我们就会遇到欧姆定律形式的乘法运算。在有源电路中，线性范围内运行的放大器使我们得到乘法的效果。用庞大的开关逻辑阵列来取代一个运算放大器，甚至于一个电阻，这种设计思想使设计者要重新考虑设计方法。

理论上，连续时间方法的线性系统分析已十分完善，反过来又推动富里埃和拉普拉斯成果的发展。把这些方法用于数据采样系统是近年来的事，至 60 年代才取得卓有成效的进展。

理论研究和大多数试验工作都采用通用计算机进行仿真研究，不受实时约束。信号处理对数据有许多要求，先把数据以模拟量的形式贮存在磁带录音机上，然后被转换成数字形式贮存，并等待处理。乘法运算需要几个毫秒，分析几