微型计算机技术应用丛书

微型计算机在数字信号处理中的应用

江苏科学技术出版社

微型计算机在数字信号处理中的应用

徐子江　编著

江苏科学技术出版社

内 容 提 要

本书共六章。第一、二章主要介绍数字信号处理的基本理论。第三章介绍数字信号处理微机系统概况。第四至第六章介绍数字信号处理在医学、测量仪器、通信、动力、机械、水利工程等方面的具体应用。

本书既有基础理论，又结合实际，可作为从事计算机、生物医用电子仪器、通信、自动控制、测量、数据和信息处理等方面工作的工程技术人员的一本自修参考书。同时，也可作为大专院校有关专业的教师和高年级学生自学数字信号处理及其应用的一本入门读物。

微型计算机在数字信号处理中的应用

徐子江　编著

出版、发行：江苏科学技术出版社

经　　销：江苏省新华书店

印　　刷：南京人民印刷厂

开本787×1092毫米 1/32 印张7.5 字数162,000

1988年7月第1版　1988年7月第1次印刷

印数 1—3,500册

ISBN 7—5345—0394—9

TP·12　　　　定价：2.00元

出版说明

近年来，计算技术已取得惊人的发展，计算机已广泛应用到国防、工业、农业、科学研究、企业管理、医学卫生、日常生活等各个领域。其作用和成就日益卓著，成了工业发展水平的标志之一。

计算机家族中的后起之秀——微型计算机的发展，更是日新月异。由于它成本低、体积小、可靠性高、结构简单、维护容易及使用方便，因此具有很强的向各个技术领域渗透的能力，为计算机的普及和应用开辟了广阔的前景。

近年来，随着生产和经济的发展，我国微型计算机的拥有量已相当可观，但它的实际应用情况还未能尽如人意，有待进一步开拓。国内出版业这几年也出版了不少微型计算机方面的书籍，但偏重理论的较多，讲实际应用的偏少，真正有指导价值的更为廖廖。根据这一情况，为了交流与总结微型计算机技术在我国国民经济各部门应用开发中的经验，进一步发展和推广微型计算机在各行各业中的应用技术，我们组织编写了这套《微型计算机技术应用丛书》。

为了出好这套丛书，江苏科学技术出版社专门成立了《微型计算机技术应用丛书》编委会，聘请大专院校、工矿企业、科研机关等部门有经验的专家、教授和工程技术人员担任编委。

该丛书的主要读者对象为非计算机专业的技术人员和具有一定水平的技术工人。内容以实用为主，每一应用实例均

写出了硬件之间的连接、主要程序以及简单的原理说明，使读者阅读后可直接（或略加变换后）用于自己的技术革新和技术改造的实践。第一批共9本，书目详见封四。

《微型计算机技术丛书》编委会的成立和日常工作，得到省内外许多单位的关心和协助。特别是沙洲计算机存储器厂和武进计算机应用设备厂，为使丛书的编辑出版工作顺利进行，曾给予大力的支持和帮助，在此表示衷心的感谢！

我们恳请广大读者，对本套丛书提出宝贵意见，以便今后进一步修订提高。

《微型计算机技术应用丛书》编委会

1986年6月

编者的话

微型计算机在商业、工业控制、交通运输、通信、医学、仪器仪表、雷达等方面均有广泛的应用。目前，从人造卫星到日常生活，从科学计算到儿童玩具，都有微型计算机或微处理器的足迹。

微型计算机的应用是一个发展很快且广度很宽的领域。本书讨论微型计算机的一个应用领域——在数字信号处理中的应用。

数字信号处理本身是一门新兴的应用学科，它的理论及应用极为丰富。编写本书的目的是希望能为读者提供一本理论结合实际的微型计算机应用书籍，有助于读者尽快掌握微型计算机在数字信号处理领域中的应用。

本书以叙述应用技术为主，考虑到初学者缺乏有关数字信号处理的知识，因此，对数字信号处理的基本理论作了简明扼要的介绍。

在编写本书的过程中，承蒙南京大学计算机科学系主任孙钟秀同志的具体指导和鼓励，以及该系的周根林、张德富、黄炳生同志的支持和帮助，江苏省计算技术研究所的张开元同志对本书进行了细致的审阅，并提出了不少宝贵的意见，在此一并表示衷心感谢。

由于作者水平有限，可能存在错误和缺点，恳请读者批评指正。

徐子江

1986年5月于南京大学

计算机科学系

目　录

第一章　数字信号处理基础

第一节　离散时间信号和系统

通常信号可定义为传递一个物理系统的状态或特性的信息的函数。在数学上，信号可表示为一个或多个独立变量的函数。例如，一个语言信号可表示为一个时间变量的函数，对黑白图象而言，图象信号可以表示成一个二元空间变量的亮度函数。

信号的数学表达式中的自变量，既可以是连续的，也可以是离散的。定义时间变量是连续地变化的信号称为连续时间信号，可以用一个连续变量函数来表示；而仅在时间变量的离散值上才有定义的信号称为离散时间信号，它可以用一个数字序列来表示。因此语言信号或图象信号既可以用连续变量来描述，也可以用离散变量来描述；但在一定条件下，他们是完全等价的。

一、离散时间信号——序列

在离散系统中，信号是用离散时间的数字序列来表示的，序列中第 n 个数字记作$x(n)$，全部信号序列可写为：

$$x=\{x(n)\},\quad -\infty<n<\infty \tag{1.1}$$

式中 n 为整型变量。

为了书写方便起见，式(1.1)可简记为$x(n)$。

离散时间信号(即序列)常用图形来描述，如图1-1所示。必须注意的是，虽然横坐标是连续坐标，但$x(n)$仅对n的整数值才有定义，对于非整数的n值，不能认为$x(n)$的值为零，而是它没有定义。

某些有规则的序列，是数字信号处理中常用的序列。现介绍如下：

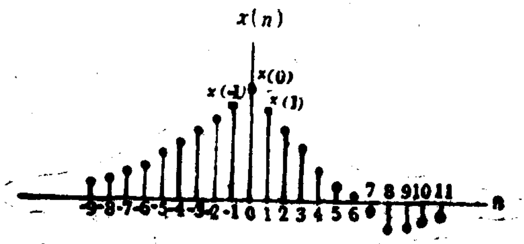

图1-1

图1-1　离散时间信号的图形表示

1.单位取样序列

单位取样序列以符号$\delta(n)$表示，其定义为

$$\delta(n)=\begin{cases}1, & n=0\\ 0, & n\neq 0\end{cases} \tag{1.2}$$

$\delta(n)$又称为离散冲激，或简称为冲激。如图1-2所示。

显然有$\delta(n-5)=\begin{cases}1, & n=5\\ 0, & n\neq 5\end{cases}$。

这样对于任意K，则有

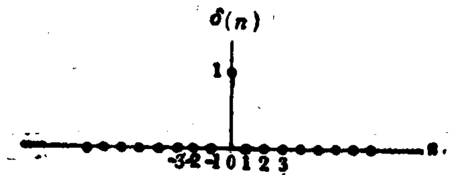

图1-2

图 1-2 单位取样序列

$$\delta(n-k)=\begin{cases}1, & n=k\\0, & n\neq k\end{cases}$$

2.单位阶跃序列

单位阶跃序列以符号$u(n)$表示，其定义为

$$u(n)=\begin{cases}1, & n\geqslant 0\\0, & n<0\end{cases}\qquad(1.3)$$

其图形如图 1-3所示。

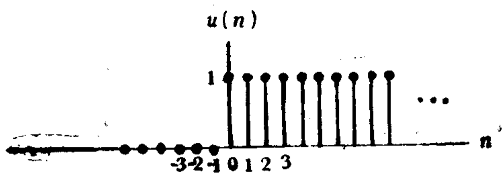

图 1-3 单位阶跃序列

单位阶跃序列和单位取样序列之间的关系为

$$u(n)=\sum_{k=0}^{\infty}\delta(n-k) \tag{1.4}$$

或 $$u(n)=\sum_{k=-\infty}^{n}\delta(k) \tag{1.5}$$

同样地，单位取样序列与单位阶跃序列之间的关系为

$$\delta(n)=u(n)-u(n-1) \tag{1.6}$$

3.正弦序列

正弦序列的定义为

$$x(n)=A\sin(\omega_0 n+\phi) \tag{1.7}$$

其中，n是整数；A及ω_0分别是正弦序列的振幅和角数字频率；ϕ是初始相角。正弦序列属于周期序列，如图 1-4 所示。

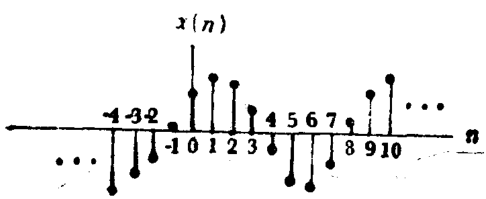

图 1-4　正弦序列

4.实指数序列

实指数序列的定义为

$$x(n)=a^n \tag{1.8}$$

式中 a 为实数。

当 $1>a>0$ 时，如图 1-5所示。

5.复指数序列

复指数序列的定义为

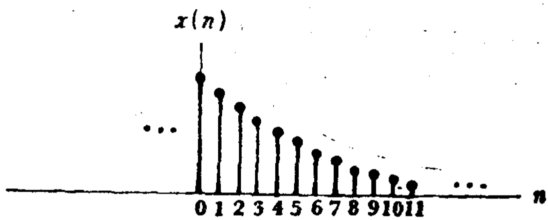

图 1-5 实指数序列

$$x(n)=e^{(\sigma+\omega_0)n} \tag{1.9}$$

$$e^{(\sigma+j\omega_0)n}=e^{\sigma n}\cdot e^{\omega_0 n}=e^{\sigma n}(\cos\omega_0 n+j\sin\omega_0 n)$$

当 $\sigma=0$ 时，

$$x(n)=\cos\omega_0 n+j\sin\omega_0 n \tag{1.10}$$

6.周期序列

定义：对于所有的序数 n，都能满足

$x(n)=x(n+N)$时，则称序列 $x(n)$是周期为N的周期序列。其中N为整数。

在离散系统的分析中，常需进行下述序列的简单运算：

序列积(取样的积)

$$xy = x(n)y(n)$$

序列和(取样的和):

$$x + y = x(n) + y(n)$$

序列乘常数:

$$ax = a \cdot x(n)$$

如果序列$y(n)$与序列$x(n)$之间满足下面的关系:

$$y(n) = x(n-k), \quad (k\text{是整数})$$

则序列y称为序列x的移序。

设有一个序列$P(n)$，如图1－6所示，则利用单位取

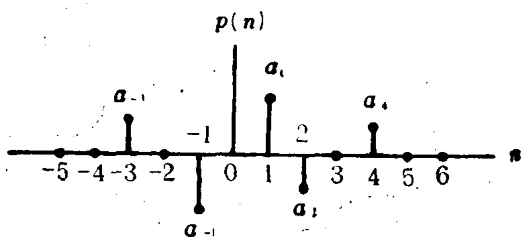

图1－6　序列$P(n)$

样序列的定义及序列的移序概念，可将序列$P(n)$写成普遍项:

$$P(n) = a_1\delta(n-1) + a_2\delta(n-2) + a_4\delta(n-4) + a_{-1}\delta(n+1) + a_{-3}\delta(n+3)$$

式中,a_{-3}、a_{-1}、a_1、a_2、a_4分别表示$n=-3$、-1、1、

2、4时序列信号的幅度值。因此，更一般地，任意序列均可表示为：

$$x(n)=\sum_{K=-\infty}^{\infty} x(k)\delta(n-k) \qquad (1.11)$$

式中，$x(k)$是序列在序号为k处的值；$\delta(n-k)$是移序k之后的单位取样序列。

式(1.11)说明，任何序列$x(n)$都可以写成加权的移序的单位取样序列的总和。

二、线性移不变系统

所谓系统是指将输入序列$x(n)$变换成输出序列$y(n)$的运算。记作：

$y(n)=T[x(n)]$，这里$T[\quad]$表示系统变换，符号“$\boxed{\quad}$”表示系统，如图1－7所示。

线性系统：如果$x_1(n)$和$x_2(n)$是分别对应于$y_1(n)$和$y_2(n)$的输入时，则当且仅当

$$T[ax_1(n)+bx_2(n)]=aT[x_1(n)]+bT[x_2(n)]=ay_1(n)+by_2(n) \qquad (1.12)$$

时，系统为线性的。

图1－7　系统示意图

式中的a和b为任意常数。

由于任一序列可用式$y(n)=T[x(n)]$表示，所以如

果令$h_K(n)$是系统对于$\delta(n-k)$的响应，且在$n=K$时，$\delta(n-k)=1$，则$y(n)$用系统定义可写成：

$$y(n)=T\left[\sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k)\delta(n-k)\right],$$

利用(1.12)式，上式可写成：

$$y(n)=\sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k)T[\delta(n-k)]$$

$$=\sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k)h_k(n) \qquad (1.13)$$

利用移不变系统的特性来表征这样一类系统：如果$y(n)$是系统对$x(n)$的响应，则$y(n-k)$就是系统对$x(n-k)$的响应，这里k是整数。当n为时间t时，移不变就相当于时间不变。同理，若$h(n)$是系统对$\delta(n)$的响应，则系统对$\delta(n-k)$的响应就是$h(n-k)$。这样式(1.13)可重写为：

$$y(n)=\sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k)h(n-k) \qquad (1.14)$$

上式称为卷积和。$y(n)$是$x(n)$与$h(n)$的卷积。通常用下列符号来表示：

$$y(n)=x(n)*h(n) \qquad (1.15)$$

若将(1.14)式进行变量代换，可得到另一表达式：

$$y(n)=\sum_{k=-\infty}^{\infty} h(k)x(n-k)$$

$$=h(n)*x(n) \qquad (1.16)$$

即符合交换律。因此、单位取样响应相同的线性移不变系统彼此等效，如图1－8和图1－9所示。图1－8是串联组合。图1－9是并联组合。

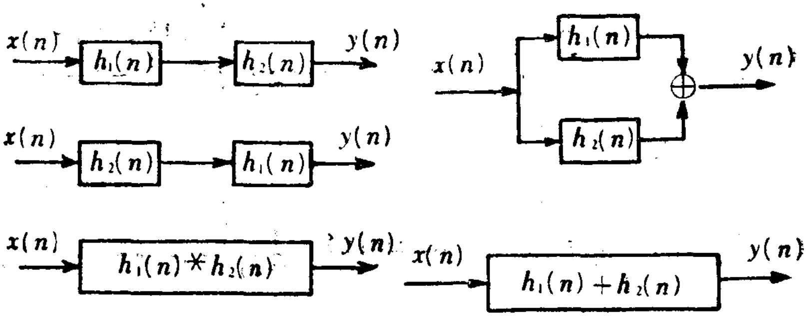

图1－8　系统串联等效组合　　图1－9　系统并联等效组合

［例题］　已知某系统的单位取样响应为

$$h(n)=\begin{cases} a^n, & n\geqslant 0 \\ 0, & n<0 \end{cases} \qquad (1.17)$$

或表示为

$$h(n)=a^n u(n) \qquad (1.18)$$

试求对输入$x(n)=u(n)-u(n-N)$的响应$y(n)$。

应用式(1.14)求系统响应的过程是：先以变量K来替代变量n；然后将单位响应序列$h(k)$变为$h(-k)$；再将$h(-k)$平移成$h(n-k)$，如图1-10所示。最后计算两序