

信号分析参考丛书

数字传输中的加扰技术

李秉基 金锡昌著

林有皎译 俞仁涛校



中国人民解放军 61486 部队

2000 年 12 月

数字传输中的加扰技术

李秉基 金锡昌著

林有皎译 俞仁涛校

中国人民解放军 61486 部队

2000 年 12 月

译者的话

加扰器和构成加扰器的移位寄存发生器 (SRG)，用于对数字信号的整形或生成伪随机二进制序列已有几十年的历史了；加扰的本质在于，传输之前对数字传输信号进行比特层的随机化处理，以改善时钟恢复和提高数据检测的可靠性。加扰是数字传输系统不可缺少的组成部分，因为它能稳定接收端的时钟恢复，减少抖动，降低码间干扰，有效提高数据检测的精确性和可靠性。在传统的低速准同步数字系列 (PDH) 系统中，数字信号的整形更多依赖于复杂的线路编码技术，加扰技术仅仅起到辅助作用。近年来，随着光波或光传输网络的广泛应用和宽带综合业务数字网 (ISDN) 的发展，传输媒介的质量大大改善，传输速率大大提高。以前传输速率比较低时，采用线路编码使传输速率增加一成或几成，人们并不介意；但是当传输速率为每秒几百兆比特，甚至每秒几千兆比特，使用复杂二电平或者多电平线路编码技术就不理想了。幸好，当今光缆等传播媒介十分可靠，加扰再加上简单的不归零制或归零制的线路编码既能满足系统性能需要，又不会提高传输速率。因此，加扰技术在数字传输中的作用愈来愈重要。

根据所使用的同步方式中，加扰可分为帧同步加扰 (FSS)、分布式样品加扰 (DSS) 和自同步加扰 (SSS)。三者的性能都不错，但应用的场合不同。FSS 适用于较长的成帧信号；DSS 适用于较短的成帧信号；而 SSS 适用于成帧和非成帧多种信号。根据加扰与多路复接的顺序，加扰又可分为先复接后加扰的串行加扰和先加扰后复接的并行加扰，并行加扰技术能大大降低运行速度，但会增加电路复杂度。

《数字传输中的加扰技术》是韩国学者 Byeong Gi Lee (李秉基) 和 Seok Chang Kim (金锡昌) 在过去十年中研究成果的总结，本书介绍了加扰技术的常用理论工具——序列空间。序列空间为串行和并行移位寄存发生器运行的数学表示和系统描述提供了有力工具；它指导人们如何研究并行加扰所用的并行序列的特性，以及如何实现并行移位寄存发生器 (PSRG)；它还揭示了设计多比特并行加扰的秘密。总之，序列空间是本书的理论核心；因而，作者称本书可冠以“序列空间理论及其在加扰技术中的应用”的副标题。

本书共分 IV 部分 21 章。第 I 部分是关于数字传输和加扰技术的预备知识。第 II 部分介绍序列空间的概念，讨论序列空间及 SRG 空间的各种表示方法和特性。在此基础上，探讨如何实现并行帧同步加扰 (PFSS) 和多比特并行帧同步加扰 (MPFSS)，最后介绍 FSS

在 SDH/SONET 信号传输中的应用。第III部分利用第II部分的序列空间理论,集中描述 DSS 的运行原理和特性;研究在搜索 DSS 解扰器同步过程中采样和纠错如何运行;并探讨如何利用先前提出的 PSRG 来实现并行分布式样品加扰 (PDSS) 和多比特并行分布式样品加扰 (MPDSS);此外,还讨论在含错误环境中的同步机制;最后介绍 DSS 在基于信元的 ATM 网和高速数据网中的应用。第IV部分研究 SSS 和相关的信号校准问题;讨论了 SSS 与 FSS 及 DSS 的差异,以及为什么与其它加扰技术不同,SSS 只有并行自同步加扰,而没有多比特并行自同步加扰;探讨如何实现 PSSS 和如何应用于基于 SDH 的 ATM 信号;最后介绍与 SSS 有关的信号校准问题,说明如何利用置换而不是通过在多路传输信号上迭加帧格式,来实现基本速率信号的正确校准。

《数字传输中的加扰技术》是目前所见到的第一本有关加扰技术的专著,技术新颖,内容丰富,既详尽地描述 FSS、DSS 和 SSS 主要三种加扰技术的理论,又重点介绍了在数字传输中的应用实例。本书既可用作数字通信工程人员的参考书,又可作为有关专业研究生的教科书。对于从事实际工作的工程师,本书的中定理的证明和推导还是多了点,这也许是本书的一个缺点吧。

《数字传输中的加扰技术》是退休研究员林有蛟在 1998-1999 年期间用了一年多的时间翻译的,由俞仁涛研究员在 1999-2000 年用了近一年的时间校对、定稿。由于个人水平的限制,再加上时间紧,不可能深入地消化书中全部内容,所以译文(包括对原书中某些明显的错误的改正)难免有错,敬请读者批评指正。

在翻译和出版《数字传输中的加扰技术》过程中,部组织计划训练局和 61486 部队司令部给予了大力支持;岑世梅、全建宁和张小卫在审阅初稿、整理公式、制作图表和打印文稿等方面做了大量工作,在此一并表示诚挚的感谢。

林有蛟 俞仁涛
2000 年 12 月

符号一览表

$\mathbf{0}$	零向量
$\mathbf{0}_{L \times N}$	$L \times N$ 矩阵
$\mathbf{A}$	捕获状态
$\mathbf{A}_p$	并行白同步加扰器的状态矩阵
$\hat{\mathbf{A}}_p$	并行白同步解扰器的状态矩阵
$\mathbf{A}_{\Psi(x)}$	伴随矩阵, 模块式 SRG (MSRG) 的状态转移矩阵
$\mathbf{A}_{\Psi(x)}^t$	$\mathbf{A}_{\Psi(x)}$ 的转置矩阵, 简单 SRG (SSRG) 的状态转移矩阵
$\mathbf{A}_{\Psi_r(x)}$	互逆多项式 $\Psi_r(x)$ 的伴随矩阵
$\mathbf{B}$	字节
$\mathbf{B}_p$	并行白同步加扰器的状态矩阵
$\hat{\mathbf{B}}_p$	并行白同步解扰器的状态矩阵
$\mathbf{B}_{\Psi(x)}$	初等基底到原始基底的变换矩阵
$\{b_{j+kN}\}$	$\{b_k\}$ 的第 j 个 N -间取序列
$\{\hat{b}_{j+kN}\}$	$\{\hat{b}_k\}$ 的第 j 个 N -间取序列
$\{\tilde{b}_{j+kN}\}$	$\{\tilde{b}_k\}$ 的第 j 个 N -间取序列
$\{b_k\}$	输入数据序列
$\{\hat{b}_k\}$	白同步已解扰序列
$\{\tilde{b}_k\}$	白同步已加扰序列
$\{b_k^j\}$	第 j 并行输入数据序列
$\{\hat{b}_k^j\}$	第 j 并行已解扰序列
$\{\tilde{b}_k^j\}$	第 j 并行已加扰序列
$\mathbf{b}_k$	信号向量
$\hat{\mathbf{b}}_k$	白同步已解扰信号的信号向量, 输出信号向量
$\tilde{\mathbf{b}}_k$	白同步已加扰信号的信号向量
C_R	特征算符
$\mathbf{C}_p$	并行白同步加扰器的状态矩阵
$\hat{\mathbf{C}}_p$	并行白同步解扰器的状态矩阵
$\mathbf{C}_{\Psi(x)}$	原始基底到初等基底的变换矩阵

$\mathbf{c}_i$	第 i 校正向量
D	延迟算符
$\hat{D}$	延迟数字算符
D_i	第 i 个 SRG 序列
$D_{M,i}$	第 i 个 MSRG 序列
$D_{M,l-1}$	MSRG 的末级序列
$D_{s,0}$	SSRG 的末级序列
$D_{s,i}$	第 i 个 SSRG 序列
$\mathbf{D}$	SRG 序列向量
$\mathbf{D}_p$	并行白同步加扰器的状态向量
$\hat{\mathbf{D}}_p$	并行白同步解扰器的状态向量
$d_{i,k}$	SRG 中第 i 级移存器的第 k 状态值
$\hat{d}_{i,k}$	解扰 SRG 中第 i 级移存器的第 k 状态值
$d^m i$	序列元素 b_{k-m}^i 的数字算符表示
$\dim(\mathcal{V})$	向量空间 $\mathcal{V}$ 的维数
$\mathbf{d}_0$	SRG 的初始状态向量
$\hat{\mathbf{d}}_0$	解扰 SRG 的初始状态向量
$\tilde{\mathbf{d}}_0$	解扰 SRG 的同步初始状态向量
$\tilde{\mathbf{d}}_0^i$	同步初始状态向量 $\tilde{\mathbf{d}}_0$ 的第 i 子向量
$\mathbf{d}_k$	SRG 的第 k 状态向量
$\hat{\mathbf{d}}_k$	解扰 SRG 的初始状态向量 $\hat{\mathbf{d}}_0$ 的第 k 状态向量
$\tilde{\mathbf{d}}_k$	解扰 SRG 的第 k 同步状态向量
$\mathbf{E}_A$	捕获状态的错误向量
$\mathbf{E}_S$	稳定状态的错误向量
$\mathbf{E}_V$	验证状态的错误向量
$E_{\Psi(x)}^i$	第 i 初等序列
$\mathbf{E}_{\Psi(x)}$	初等序列向量
$\mathbf{e}_i$	第 i 基底向量
$\mathcal{F}$	域
F	定长分组的长度
F_{ll}	报头长度

$\mathbf{c}_i$	第 i 校正向量
D	延迟算符
$\hat{D}$	延迟数字算符
D_i	第 i 个 SRG 序列
$D_{M,i}$	第 i 个 MSRG 序列
$D_{M,L-1}$	MSRG 的末级序列
$D_{s,0}$	SSRG 的末级序列
$D_{s,i}$	第 i 个 SSRG 序列
$\mathbf{D}$	SRG 序列向量
$\mathbf{D}_p$	并行自同步加扰器的状态向量
$\hat{\mathbf{D}}_p$	并行自同步解扰器的状态向量
$d_{i,k}$	SRG 中第 i 级移存器的第 k 状态值
$\hat{d}_{i,k}$	解扰 SRG 中第 i 级移存器的第 k 状态值
$d^m i$	序列元素 b_{k-m}^i 的数字算符表示
$\dim(\mathcal{V})$	向量空间 $\mathcal{V}$ 的维数
$\mathbf{d}_0$	SRG 的初始状态向量
$\hat{\mathbf{d}}_0$	解扰 SRG 的初始状态向量
$\tilde{\mathbf{d}}_0$	解扰 SRG 的同步初始状态向量
$\tilde{\mathbf{d}}_0^i$	同步初始状态向量 $\tilde{\mathbf{d}}_0$ 的第 i 子向量
$\mathbf{d}_k$	SRG 的第 k 状态向量
$\hat{\mathbf{d}}_k$	解扰 SRG 的初始状态向量 $\hat{\mathbf{d}}_0$ 的第 k 状态向量
$\tilde{\mathbf{d}}_k$	解扰 SRG 的第 k 同步状态向量
$\mathbf{E}_A$	捕获状态的错误向量
$\mathbf{E}_S$	稳定状态的错误向量
$\mathbf{E}_V$	验证状态的错误向量
$E_{\Psi(x)}^i$	第 i 初等序列
$\mathbf{E}_{\Psi(x)}$	初等序列向量
$\mathbf{e}_i$	第 i 基底向量
$\mathcal{F}$	域
F	定长分组的长度
$F_{ }$	报头长度

F_l	用户信息字段的长度
$\text{GCD}[\Psi_1(x), \Psi_2(x)]$	$\Psi_1(x)$ 和 $\Psi_2(x)$ 的最大公因式
$\text{GF}(q)$	伽罗瓦域
$\tilde{\mathbf{H}}$	由状态转移矩阵和解扰 SRG 的生成向量所组成的 $L \times L$ 矩阵
$\mathbf{h}$	生成向量
$\hat{\mathbf{h}}$	解扰器的生成向量
$\mathbf{h}_j$	PSRG 的第 j 生成向量
$\mathbf{I}_{L \times L}$	$L \times L$ 单位矩阵
L	序列空间的维数, SRG 的长度
L_S	稳定状态下所观察的样品数
L_V	验证状态下所观察的样品数
$\text{LCM}[\Psi_1(x), \Psi_2(x)]$	$\Psi_1(x)$ 和 $\Psi_2(x)$ 的最小公倍式
l	游程长度
l_i	第 i 样品 z_i 所采样的信号的编号
M	多比特的数日
$\mathbf{M}_{\Psi(x)}$	线性卷积矩阵
$\mathbf{M}_{\Psi(x)}^+$	线性卷积矩阵的左子阵
$\mathbf{M}_{\Psi(x)}^-$	线性卷积矩阵的右子阵
m_i	第 i 样品 z_i 所发射的信号的编号
N	并行序列的数日
N_A	捕获状态下所容许的错误数
N_S	稳定状态下所容许的错误数
N_V	验证状态下所容许的错误数
O	算符
$\hat{O}$	数字算符
$\tilde{\mathbf{O}}_L$	$L \times L$ 上对角矩阵
P	置换器的算符
$\hat{P}$	置换器的数字算符, 置换器的特征表示式
$P(x)$	原始基底的初始状态向量的多项式表示
$P_i(x)$	第 i 间取多项式
$P_{A\tilde{S}}$	假同步概率

P_{VA}	验证状态下假重新初始化的概率
P_{VS}	验证状态下假同步概率
$P_{\Psi(x)}^i$	第 i 原始序列
P	置换矩阵
$P_{\Psi(x)}$	原始序列向量
p_e	误码率
p_i	$P(x)$ 的系数
p	原始基底的初始向量
$Q[\Psi(x), P(x)]$	$P(x)$ 被 $\Psi(x)$ 除所得的商式
Q	非奇异矩阵, $L \times L+N$ 矩阵 $[0_{L \times N} \quad I_{L \times L}]$
Q^+	Q 的左子阵
Q^-	Q 的右子阵
R	序列的总游程
$R(l)$	序列的游程函数
$R[\Psi(x), P(x)]$	$P(x)$ 被 $\Psi(x)$ 除所得的余式
R	非奇异矩阵
$\tilde{R}_M$	M 增广矩阵
S	稳定状态, 加扰算符
$\hat{S}$	加扰数字算符
$\tilde{S}$	假稳定状态
$S[\Psi(x), P(x)]$	序列的多项式表示
$\{s_{j+kN}\}$	$\{s_k\}$ 的第 j 个 N -间取序列
$\{s_k\}$	序列, 串行加扰序列
$\{\hat{s}_k\}$	串行解扰序列
$\{\tilde{s}_k\}$	加扰序列的估值
$\{s_k^j\}$	第 j 并行加扰序列
$\{\hat{s}_k^j\}$	第 j 并行解扰序列
$\{s_{k+m}\}$	$\{s_k\}$ 的 m 位延迟序列
s	初等基底的初始向量
T	序列空间的周期, 信号检测表
$\hat{T}$	信号检测表的特征表示

$T(i, j)$	信号检测值
T_{AS}	平均同步时间
T_l	既约空间的周期
T_p	基于置换器的系统的信号检测表
$\hat{T}_p$	基于置换器的系统的信号检测表的特征表示
T_{PS}	基于置换器—加扰器的系统的信号检测表
$\hat{T}_{PS}$	基于置换器—加扰器的系统的信号检测表的特征表示
$T_{P_1SP_2}$	基于置换器—加扰器—置换器的系统的信号检测表
$\hat{T}_{P_1SP_2}$	基于置换器—加扰器—置换器的系统的信号检测表的特征表示
T_p	本原空间的周期
T_S	基于加扰器的系统的信号检测表
$\hat{T}_S$	基于加扰器的系统的信号检测表的特征表示
T_{SA}	稳定状态下的平均假重新初始化时间
T_{SP}	基于加扰器—置换器的系统的信号检测表
$\hat{T}_{SP}$	基于加扰器—置换器的系统的信号检测表的特征表示
$T_{S_1PS_2}$	基于加扰器—置换器—加扰器的系统的信号检测表
$\hat{T}_{S_1PS_2}$	基于加扰器—置换器—加扰器的系统的信号检测表的特征表示
$T_{\bar{S}A}$	稳定状态下的最大平均假重新初始化时间
T_{VS}	验证状态下的平均同步时间
$T_{\bar{V}A}$	验证状态下的平均重新初始化时间
T_w	幂（序列）空间的周期
$\mathbf{T}$	SRG 的状态转移矩阵
$\hat{\mathbf{T}}$	解扰 SRG 的状态转移矩阵
$\mathbf{T}_M$	MSRG 的状态转移矩阵
$\tilde{\mathbf{T}}_M$	M 扩展状态转移矩阵
$\mathbf{T}_S$	SSRG 的状态转移矩阵
$\mathbf{t}'_i$	状态转移矩阵的第 i 行
U_i	第 i 间取序列，第 i 并行加扰序列
$\mathbf{U}$	非奇异矩阵
$u_{i,j}$	任意二进制数
V	向量空间

V	验证状态
$\tilde{V}$	假验证状态
$V[\mathbf{A}_{\Psi(x)}, \mathbf{d}_0]$	MSRG 的 SRG 空间
$V[\mathbf{A}'_{\Psi(x)}, \mathbf{d}_0]$	SSRG 的 SRG 空间
$V[\mathbf{T}]$	SRG 极大空间, 加扰极大空间
$V[\mathbf{T}, \mathbf{d}_0]$	SRG 空间
$V[\mathbf{A}_{\Psi(x)}, \mathbf{d}_0]$	加扰空间
$V[\Psi(x)]$	序列空间
$V[\hat{\Psi}(x)]$	序列子空间
$V[\Psi_l(x)]$	既约 (序列) 空间
$V[[\Psi_l(x)]^w]$	幂 (序列) 空间
$V[\Psi_m(x)]$	极小 (序列) 空间
$V[\Psi_p(x)]$	本原 (序列) 空间
$V[\Psi_T(x)]$	SRG 极大空间, 加扰极大空间
$V[\Psi_{T, \mathbf{d}_0}(x)]$	SRG 序列的极小空间
$V[\Psi_{T, \mathbf{h}}(x)]$	加扰空间
$\tilde{\mathbf{V}}$	由 PSRG 的状态转移矩阵和采样向量组成的 $L \times L$ 矩阵
$\tilde{\mathbf{V}}_0$	$\tilde{\mathbf{V}}$ 的子矩阵
$v_{i,j}$	任意二进制数
$\mathbf{v}_i$	第 i 采样向量
$\tilde{\mathbf{v}}_i$	第 i 有序采样向量
W	序列的重量, 交错序列
$W[\mathbf{v}]$	向量 $\mathbf{v}$ 的重量
$W[\Psi(x)]$	特征多项式 $\Psi(x)$ 的重量
W_j	第 j 多比特并行加扰序列
w	幂空间的幂
$\tilde{w}$	幂的二进制上限值
γ_s	稳定状态下的样品比较向量
γ_v	验证状态下的样品比较向量
$\mathbf{z}_s$	错误序列 $\{\sigma_k^s\}$ 的样品向量
$\mathbf{z}_v$	估计误差序列 $\{\sigma_k\}$ 的样品向量

z_i	加扰序列的第 i 样品
$\hat{z}_i$	解扰序列的第 i 样品
$\tilde{z}_i$	第 i 有序样品, 第 i 接收样品
$\mathbf{z}$	样品向量, 发射的样品向量
$\tilde{\mathbf{z}}$	接收的样品向量
α_i	第 i 采样时刻
$\hat{\alpha}_i$	第 i 并行采样时刻
$\tilde{\alpha}_i$	重排后的第 i 串行采样时刻
β_i	第 i 校正时刻
$\hat{\beta}_i$	第 i 并行校正时刻
γ_i	第 i 样品传输时刻
$\hat{\gamma}_i$	第 i 并行样品传输时刻
$\tilde{\gamma}_i$	第 i 有序样品传输时刻
$\Delta_{\mathbf{T}, d_0}$	极大初始状态向量的判别矩阵
$\Delta_{\mathbf{T}, h}$	极大生成向量的判别矩阵
Δ_α	可预测采样时刻的判别矩阵
$\Delta_{\tilde{\alpha}}$	重排后的判别矩阵
δ_k	第 k 状态距离向量
ε_i	第 i 样品错误
ε_i^S	稳定状态下的第 i 样品错误
ζ_i	估计误差序列 $\{\sigma_k\}$ 的第 i 样品
ζ_i^S	错误序列 $\{\sigma_k^S\}$ 的第 i 样品
η_i	第 i 样品比较数据
η_i^S	稳定状态下第 i 样品比较数据
Θ	由特征多项式 $\Psi(x)$ 的指数构成的整数集合
Λ	校正矩阵
π	解扰器已同步条件下, 进入验证状态的概率
σ	错误序列 $\{\sigma_k^S\}$ 的初始错误向量
$\{\sigma_k\}$	估计误差序列
$\{\sigma_k^S\}$	稳定状态下的错误序列
τ	序列的周期

τ_l	既约序列的周期
τ_p	PRBS 序列的周期
τ_w	幂序列的周期
$\phi(m)$	序列的自相关函数
$\Psi(x)$	序列空间的特征多项式, 自同步加扰器的特征多项式
$\Psi_l(x)$	既约多项式
$\Psi_p(x)$	本原多项式
$\Psi_r(x)$	$\Psi(x)$ 的互逆多项式
$\Psi_T(x)$	T 的极小多项式
ψ_i	$\Psi(x)$ 的系数
Ω	由延迟的信号编号和信号编号组成的二维集合
$\sum_{j=0} V[\Psi_j(x)]$	$V[\Psi_j(x)]$ 的和空间

目 录

第I部分 预备知识

第1章 数字传输与加扰	3
1.1 数字传输系统	3
1.2 数字传输中的加扰	4
1.3 数字信号与加扰	4
1.4 分组方式的数据传输与加扰	7
第2章 加扰技术基础	8
2.1 帧同步加扰	8
2.2 分布式样品加扰	9
2.3 自同步加扰	10
2.4 串行加扰	11
2.5 并行加扰	12
2.6 多比特并行加扰	12

第II部分 帧同步加扰

第3章 帧同步加扰概述	17
3.1 FSS 工作原理	17
3.2 加扰序列	17
3.3 移位寄存器发生器	19
3.4 内容编排	19
第4章 序列空间	20
4.1 序列空间定义	20
4.2 初等基底	21
4.3 原始基底	24
4.4 序列多项式表示	27
4.5 序列子空间	28
4.6 极小序列空间	31
第5章 移位寄存发生器	34
5.1 移位寄存发生器	34
5.2 SRG 序列的极小空间	35
5.3 SRG 空间	37
5.4 SRG 极大空间	38
5.5 基本 SRG	40
5.6 SSRG 与 MSRG	44

第 6 章 串行帧同步加扰	50
6.1 PRBS 序列	50
6.2 本原序列空间	51
6.3 PRBS 序列生成器	54
第 7 章 并行帧同步加扰	59
7.1 并行加扰序列	59
7.2 间取序列	60
7.3 序列的分解	64
7.4 既约序列的间取序列	67
7.5 幂序列的间取序列	72
7.6 PRBS 序列的间取序列	76
7.7 和序列的间取序列	77
7.8 并行移位寄存发生器	79
7.9 并行移位寄存发生器的极小实现	82
7.10 极小 PSRG 的简单实现	85
第 8 章 多比特并行帧同步加扰	91
8.1 多比特并行序列	91
8.2 交错序列	93
8.3 并行序列的极小空间	96
8.4 既约序列的并行序列	98
8.5 MPFSS 中 PSRG 的实现方法	100
第 9 章 FSS 在 SDH/SONET 中应用	107
9.1 SDH/SONET 信号的加扰	107
9.2 STM-/STS-信号的比特并行加扰	109
9.3 STM- <i>N</i> 信号的字节并行加扰	112
9.3.1 STM-信号的字节并行加扰	112
9.3.2 STM-信号的字节并行加扰	114
9.4 STS- <i>N</i> 信号的字节并行加扰	116
9.4.1 STS-信号的字节并行加扰	117
9.4.2 STS-信号的字节并行加扰	118
第III部分 分布式样品加扰	
第 10 章 分布式样品加扰概述	123
10.1 DSS 工作原理	123
10.2 DSS 的三态同步机制	124
10.3 内容编排	124
第 11 章 加扰序列的预测	125
11.1 加扰空间	125
11.2 加扰极大空间	126

11.3	基本 SRG 的加扰极大空间	130
11.4	加扰序列的预测	133
第 12 章	串行分布式样品加扰	137
12.1	数学模型	137
12.2	DSS 的加扰器	138
12.2.1	加扰 SRG	138
12.2.2	采样时刻	140
12.3	DSS 的解扰器	141
12.3.1	解扰 SRG	141
12.3.2	校正时刻与校正向量	142
12.3.3	有效实现方法	150
12.4	具有最少定时电路的分布式样品加扰	153
12.4.1	同时采样	153
12.4.2	即时校正	155
第 13 章	并行分布式样品加扰	157
13.1	概述	157
13.2	PDSS 中的 PSRG	157
13.3	PDSS 的并行采样	160
13.4	PDSS 的并行校正	162
13.4.1	单样品校正	164
13.4.2	双样品校正	168
13.4.3	多样品校正	176
第 14 章	多比特并行分布式样品加扰	181
14.1	概述	181
14.2	MPDSS 的 PSRG	181
14.3	MPDSS 的并行采样	185
14.4	MPDSS 的并行校正	188
第 15 章	样品错误条件下三态同步机制	195
15.1	三态同步机制	195
15.2	捕获状态时错误样品的影响	196
15.3	验证状态时同步验证	198
15.4	稳定状态时同步确认	201
第 16 章	DSS 在 ATM 等中的应用	204
16.1	基于信元 ATM 信号的加扰	204
16.2	具有最小化定时电路的等价 DSS	209
16.3	一种最佳 DSS 设计	210
16.4	基于信元的 ATM 信号的并行 DSS	215
16.5	三态同步机制的设计	218
16.5.1	窗口观察式状态转移方式	218
16.5.2	门限值计数式状态转移方式	221

16.5.3 性能评估	223
16.6 在高速数据网中的应用	224
第IV部分 自同步加扰	
第 17 章 自同步加扰概述	233
17.1 SSS 的运作	233
17.2 信号校准	233
17.3 第IV部分的内容编排	235
第 18 章 串行自同步加扰	236
18.1 已加扰信号	236
18.2 已解扰信号	239
18.3 自同步特性	241
18.4 错误倍增	242
第 19 章 并行自同步加扰	243
19.1 并行已加扰信号与并行已解扰信号	243
19.2 并行自同步加扰器	246
19.3 并行自同步解扰器	251
第 20 章 SSS 在基于 SDH 的 ATM 中应用	257
20.1 基于 SDH 的 ATM 信号的加扰	257
20.2 基于 SDH 的 ATM 传输中使用的并行 SSS	258
第 21 章 并行自同步加扰的信号校准	261
21.1 功能处理器的算符	261
21.2 算符的数字算符	264
21.3 信号检测表	267
21.4 信号检测表的特征表示式	271
21.5 不同结构系统的信号检测表	272
21.5.1 基于加扰器的系统	273
21.5.2 基于置换器的系统	273
21.5.3 基于置换器—加扰器的系统	273
21.5.4 基于加扰器—置换器的系统	274
21.5.5 基于加扰器—置换器—加扰器的系统	276
21.5.6 基于置换器—加扰器—置换器的系统	276
21.5.7 信号检测表小结	277
21.6 信号检测表在信号校准中的应用	277
附录	
附录 A 抽象代数初步	283
A.1 域	283
A.2 域的扩展	284