

中国电子学会
遥控、遥测、遥感技术专题
研讨会论文集(I)

中国电子学会遥控遥测遥感专业技术研讨会筹备组

前 言

遥控、遥测、遥感（三遥）专业技术研讨会是电子工业部第五十四研究所受中国电子学会的委托，举办的第一次全国性学术会议，并将在这次会议上产生中国电子学会“三遥专业工程技术学会”。为开好本次研讨会，特成立了筹备组，从1984年6月开始，进行了大量的筹备工作。其间得到国内三遥学术界及工程技术界的广泛支持和热情帮助。中国电子学会学术交流工作部和电子工业部五十四所进行了积极的工作，现已征集论文85篇。

筹备组特邀了吴佑寿、杨世仁、顾怀瑾、梁仲衡、李达全、谢求成、蒋君章、章日荣、王昌宝、詹鸿来、王宝树、朱正中等有关专家为评审员，在译审过程中，他们又组织专业方面的行家对这些论文进行了认真审查。总的来讲，这些论文具有较好的学术价值和一定的经济价值，为此，特将其汇编成册，进行学术交流。由于出版方面的原因，现将这些论文分三部分发表，即三遥专业技术研讨会文集、《无线电工程》三遥专业技术研讨会论文专辑，第三部分（已在论文集中刊登了题录），将在《无线电工程》上陆续发表。

研讨会筹备工作已就序，对帮助和支持我们工作的各有关方面及各位同志表示衷心感谢。由于我们水平所限，工作中定有不足之处，敬请批评指正。

三遥专业技术研讨会筹备组

一九八五年三月

目 录

遥测体制综述·····	北京航空学院	张其善(1)
遥测技术发展述评·····	电子工业部54所	谭明才(8)
快速沃尔什变换程序·····	西北电讯工程学院	周忠英(20)
(8, 4) 汉明码编码译码程序·····	电子工业部54所	姚奇松(30)
微波辐射计的定标·····	长春物理所	史长青(37)
等带宽频分制遥测系统的探讨·····	北京航空学院	张文观(43)
毫微秒脉冲雷达在脱靶量测量方面的应用·····	电子工业部54所	赵 哲(51)
选样编码数据压缩·····		李幼平(59)
一种微波辐射计工作体制·····	电子工业部50所	袁庆琳(70)
微波辐射计输出数据采集与处理系统·····	华中工学院	樊文泉等(78)
一种红外光机扫描实时图像显示的新技术·····	电子工业部54所	赵永昌等(82)
大型A—E抛物面天线座标系误差公式的讨论·····	电子工业部39所	刘资深(84)
关于PCM遥测系统最佳群同步码理论的若干问题·····	南京航空学院	谢求成(90)
瓯江口附近海区陆地卫星数据水深信息提取试验 ·····	中科院空间中心地面站	厉银喜等(112)
单信道多模自跟踪系统·····		彭景先(116)
微波遥感理论概述与进展·····	电子工业部22所	赵立平(133)
利用微波辐射计遥感海面温度及盐度·····	南京工学院	孙敏松等(135)
正确测量和应用微波辐射计的技术参数·····	华中工学院	林士杰等(144)
无线电干涉仪在侦察测向中的应用·····	电子工业部54所	李大全等(150)
毫米波测速雷达的误差讨论·····	电子工业部54所	刘合一(157)
机载战场侦察雷达系统的研究·····	上海交大	潘志恒(161)
图像显示终端·····	西北电讯工程学院	侯伯亨等(164)
利用遥感图像计算水域动态库容的方法·····	清华大学	朱正中等(169)

车载干涉仪自跟踪传输系统用小型圆极化背射天线···电子工业部54所	陈贵宝 (175)
阵列天线的超角分辨特性分析·····西北电讯工程学院	高世伟等 (182)
NCIIS遥感图像处理系统软件介绍·····电子工业部15所	何志高 (194)
遥测系统中的一发多收数据传输方式及其站际数据合成 ·····成都电讯工程学院	周 亮等 (196)
遥控飞行器的频谱前沿检测测高计·····国防料大	傅诚忠 (201)
“CK—IC”遥测信号变换器的设计与试验·····南仪航空学院	李顺意等 (205)
设备状态自动巡检的探索·····	韦以强等 (218)
浮窗零阶预测算法所获压缩比的统计计算·····国防料大	郭桂蓉等 (223)
附记·····	(239)

遥 测 体 制 综 述

北航 张其善

提 要

本文将介绍近年来国内外在遥测体制方面所进行的研究工作。信号的正交分割原理是遥测体制的理论基础，这里将正交分割原理归结为一个统一的模型，原则上讲，“只要有一个正交函数系就有可能构成相应的遥测体制”。实际上，主要取决于工程上实现的可能性，以及实际的可用性。

引 言

众所周知，遥测体制有频率分割制与时间分割制两种，1975年我国遥测界提出了一个问题：除了频分制与时分制以外，有没有新的体制？有的话，是什么样的，它的实际可用性如何？1980年《遥测技术》第三期上刊登了“沃尔什遥测系统”一文，它回答了上述问题。同年，国际遥测会议录上也刊登了“以沃尔什函数为基础的遥测系统”一文，1983年第四期《遥测技术》报导了以沃尔什函数为副载波的序率分割制实验室样机通过鉴定的消息，至此，从理论与实践两方面都证实了新体制的可行性。

仔细分析三种遥测体制的数学基础之后，可以看出它们的数学基础均为正交函数。信号的正交分割原理是多路信息传输的理论基础。从工程观点出发，可以抽象为正交分路的统一模型。正确地运用这种模型，有可能探索出其他新的遥测体制，以哈尔函数为基础的新体制就是其中一例。同时还将介绍一种新型的正交函数——桥函数，它刊登在

1983年IEEE的EMC上。在遥测体制方面，尚有许多课题有待研究，愿与从事遥测遥控事业的同志们共同努力，为促进遥测体制方面的工作添砖加瓦。

信号的正交分割原理

在多路通信中常用的方法有频分通信、时分通信以及码分通信等。频分通信是各个不同的信号按照它们在频率参量上的差别来互相分割，时分通信是按照各个信号在时间参量的差别来互相分割，码分通信是各个信号按照它们码型排列上的差别来互相分割。从数学原理上来看以上三种分割同属于正交函数分割法，所不同的只是在具体情况下所使用的正交函数不相同而已。

信号的正交分割原理

设有 l 个信源，它们产生的消息记为 E_k ， $K=1, 2, \dots, l$ 。为了传送这些消息，通常要把消息 E_k 调制到各自的副载波 $\Phi_k(t)$ 上去，若用 $f_k(t)$ 来记这些已调信号，则有 $f_k(t) = E_k \Phi_k(t)$ ， $K=1, 2, \dots, l$ (1) 将这些信号迭加起来，那么在信道上的总输出信号为

$$f(t) = \sum_{k=1}^l f_k(t) = \sum_{k=1}^l E_k \Phi_k(t) \quad (2)$$

接收机的任务，就是要从综合信号 $f(t)$ 中分离出自己所需要的消息 E_k ， $k=1, 2, \dots, l$ 来。

为便于用数学的方法来表示这样多路通讯模型, 引入分离算子 D_m , D_m 的功能是第 m 个接收机能从总信号 $f(t)$ 中分离出自己所需要的消息 E_m , 用数学方法来表示〔7〕, 有

$$D_m \{ f(t) \} = E_m$$

$$\text{即 } D_m \left\{ \sum_{K=1}^1 E_k \Phi_k(t) \right\} = E_m \quad (3)$$

为要使(3)式成立, 必须令

$$\sum_{K=1}^1 E_k \Phi_k(t) \neq 0 \quad (4)$$

式(4)表示已调制好的1个信号应该是线性无关的, 由于多路通信中的1个消息 E_k 原来就是彼此独立的, 因此, 欲使 $E_k \Phi_k(t)$ 亦彼此独立, 就要求各自的副载波 $\Phi_k(t)$ 是线性无关的。

关系式(4)从物理上来解释是已经调制好的1个信号, 在迭加的过程中不能彼此抵消, 反过来讲如果关系式(4)不被满足, 即

$$\sum_{K=1}^1 E_k \Phi_k(t) = 0 \quad (5)$$

这即是说已调制信号彼此互相抵消, 结果使总输出为零, 那么分离算子作用在零信号上当然不能分离出原信号来了。

从上面的叙述可以看到: 各消息的副载波 $\Phi_k(t)$ 彼此间线性无关是实现多路通信的必要条件, 实际上, 仅用线性独立的副载波 Φ_k 来实现多路通信设备是很复杂的, 为了使多路通信的设备更加简单, 实现起来更加容易, 常常对各消息的副载波提出更加严格的要求, 即各消息的副载波是彼此正交的, 设 $\psi_k(t)$ 为彼此正交的一组副载波, 则用此副载波得到的已调信息为

$$f_k(t) = E_k \psi_k(t) \quad (6)$$

在信道中迭加后的总输出信号为

$$f(t) = \sum_{K=1}^1 f_k(t) = \sum_{K=1}^1 E_k \psi_k(t) \quad (7)$$

如果令分离算子是具有以下形式的积分算子,

$$D_m \{ f(t) \} = \int_a^b \psi_m(t) f(t) dt \quad (8)$$

那么此分离算子就具有分离消息 E_m 的能力, 现证明如下:

$$\text{证: } D_m \{ f(t) \} = \int_a^b \psi_m(t) \cdot f(t) dt = \int_a^b$$

$$\begin{aligned} & \psi_m(t) \sum_{K=1}^1 E_k \psi_k(t) dt \\ &= \int_a^b \psi_m(t) E_n \psi_m(t) dt \\ &+ \sum_{\substack{K=1 \\ K \neq m}}^1 \int_a^b \psi_m(t) E_k \psi_k(t) dt \\ &= E_m + 0 = E_m \quad \text{证毕} \end{aligned} \quad (9)$$

在证明(9)式过程中已经用了正交函数的如下特性:

$$\int_a^b \psi_m(t) \psi_k(t) dt = \begin{cases} 1, & \text{当 } m=K \\ 0, & \text{当 } m \neq K \end{cases} \quad (10)$$

从上面的证明可见: 如果分离算子 D_m 用正交函数 $\psi_m(t)$ 与信道总输出信号的乘积积分运算来表示, 那么消息 E_m 就可以从总信号中分离出来, 从而可以实现多路通信。

多路通信中的分割形式与正交函数的关系

从上一段的证明可见, 从原则上讲任何正交函数都可形成分离算子, 因此任何正交函数都可用于多路通信。

目前常用的频分、时分和码分等几种多路通信方法, 从数学上讲他们主要差别在于所使用的正交函数不同。

- | $\psi_k(t)$ | 对应的体制 |
|-------------------------------|-----------|
| 1. $\text{Si}_n 2\pi K\theta$ | 频率分割制 FDM |
| 2. $\text{Blo}(K, \theta)$ | 时间分割制 TDM |
| 3. $\text{Wal}(K, \theta)$ | 序率分割制 SDM |

$$\theta = t/T$$

每一周期 T 内，在发送端对各个输入信号采样以获得各个信号的幅度 $a_1, a_2, \dots, a_N$ 。然后通过相乘对每个副载波进行调制，把这些信号相加起来就可得综合信号

$$E(t) = \sum_{n=1}^N a_n P_n(t)$$

正交分路的统一模型

在正交分割原理一节中，用数学公式揭示了实现多路信息传输的本质。在证明过程中，没有对正交函数提出任何特定的限制，意思是说任何正交函数都可以用于多路通信。工程上如何实现呢？这里归纳出一个统一的模型。它可适用于各种体制，这种统一的模型以方框图的形式表示。

统一的模型示于图1。在收发两端采用相同的正交波形发生器，以产生正交的波形 $P_1(t), P_2(t), \dots, P_N(t)$ 。同步电路保证两端的发生器工作于相同的重复频率。在

综合信号通过常规的信道传输，在接收端先恢复出综合信号，已恢复的综合信号与各副载波相乘，再把它积分，采样保持，就可以获得所需的信号

$$a_m = \frac{1}{T} \int_0^T E(t) P_m(t) dt$$

$$m=1, 2, \dots, N.$$

虽然 $E(t)$ 包含了 N 个副载波，根据正交原理，所需的副载波乘以它本身的积分为1，就是所需的信号，其他各项相乘再积分为零。

序率分割制简介

简单介绍一下序率分割制遥测系统，这是一种遥测信息传输的新体制，它是在传统的频分制 (FDM) 和时分制 (TDM) 两大类遥测体制之外，建立了一类新的多路遥测体制——序率分割体制 (SDM)。它既可作为遥测信息传输系统，又可作为一般通用的信息传输系统。

几十年来，人们一直认为遥测体制只有频分制与时分制两种。于是提出了这样的问题：除了频分制与时分制之外，是否存在新体制？如果存在，是什么样的体制？其性能如何？本发明就回答了这些问题。

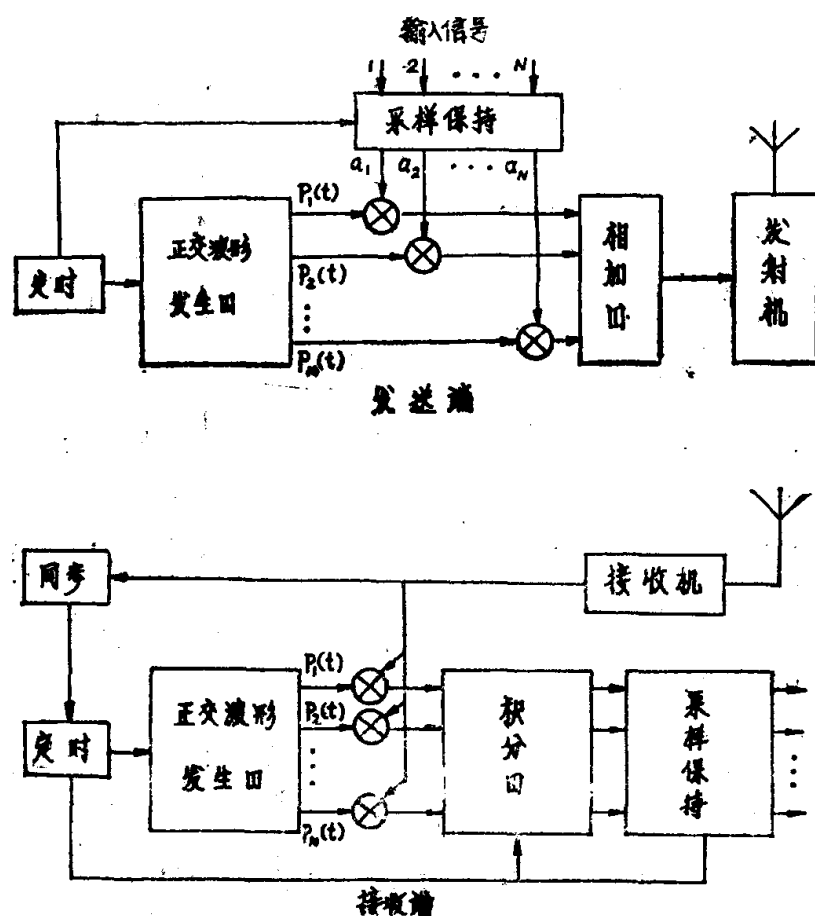


图1. 正交分路的统一模型

在理论上,我们提出了一种非连续开拓的沃尔什函数,运用正交分割原理,提出了以非连续开拓沃尔什函数为副载波,建立一种新的遥测体制。在实践上,制成了非连续开拓的沃尔什函数发生器,以及其他有关的电路部件,除了常规的同步方法之外,还实现了相关函数与锁相结合的同步方法。

序率分割制遥测系统与频分制、时分制的区别在于数学基础不同,频分制的数学基础是正余弦函数,时分制的数学基础是方块波脉冲函数。序率分割制的数学基础是沃尔什函数,它是一种归一化的正交的完备的函数系。利用沃尔什函数的正交特性,可将多路信号进行分路。我们采用的非连续开拓沃尔什函数与一般的沃尔什函数是不相同的,非连续开拓后,其正交性不变,却提高了系统精度,还更易于实施。

新体制的工作原理如下:在发送端,从传感器来的信号首先通过序率低通滤波器,然后送至调制器,它实际上是乘法器,来自沃尔什函数发生器的不同序率的沃尔什波分别加到调制器,在其中实现调制。已调信号在相加器中相加,其输出为综合信号,再经过常规的发射机形成载波信号从天线发射出去。在接收端,收到的载波信号经常规的接收机解调后,恢复成综合信号,它同时送到所有的各解调器及同步器中。同步器先选出同步信号以确保收、发两端的沃尔什函数发生器同步动作。各种序率的沃尔什波送至相应的解调器,在其中综合信号分别与不同的沃尔什波相乘,根据正交特性可以在输出端得到所传输的信号。

把序率分割制与现行的频分制比较,它在路数、容量、频响等方面有明显的优点;将它与现行的时分制比较,它在测量速变信号,设备简单,成本低廉等方面有一定的优越性。

SDM 为遥测数据传输开辟了一条新途径,由于沃尔什函数是一种特殊的正交码,

它有利于信息的保密传输,可用于保密遥测。此外,它还适用于保密的话音传输等。

以哈尔函数构成HDM体制

哈尔函数是由匈牙利数学家在1910年提出来的,它是由一整套正交矩形函数组成的。它的第一个函数 $\text{har}(0, 0, t) = 1$,在正交区间 $[0, 1]$ 内。第二函数 $\text{har}(0, 1, t)$ 在左半个区间为 $+1$,在右半个区间为 -1 。其他函数值是一组有规律的数值: $0, \pm 1, \pm \sqrt{2}, \pm 2, \pm 2\sqrt{2}, \pm 4$ 等等。在区间 $[0, 1]$ 上可定义为:

$$\text{har}(0, 0, t) = 1 \quad \text{当 } 0 \leq t \leq 1 \text{ 时}$$

$$\text{har}(0, 1, t) = \begin{cases} +1 & \text{当 } 0 \leq t \leq \frac{1}{2} \text{ 时} \\ -1 & \text{当 } \frac{1}{2} \leq t \leq 1 \text{ 时} \end{cases}$$

$$\text{har}(1, 1, t) = \begin{cases} \sqrt{2} & 0 \leq t \leq \frac{1}{4} \\ -\sqrt{2} & \frac{1}{4} \leq t \leq \frac{1}{2} \\ 0 & \frac{1}{2} \leq t \leq 1 \end{cases}$$

$$\text{har}(1, 2, t) = \begin{cases} \sqrt{2} & \frac{1}{2} \leq t \leq \frac{3}{4} \\ -\sqrt{2} & \frac{3}{4} \leq t \leq 1 \\ 0 & 0 \leq t \leq \frac{1}{2} \end{cases}$$

$$\text{har}(n, k, t) = \begin{cases} \sqrt{2^n} & \frac{2k-2}{2^{n+1}} \leq t < \frac{2k-1}{2^{n+1}} \\ -\sqrt{2^n} & \frac{2k-1}{2^{n+1}} \leq t < \frac{2k}{2^{n+1}} \\ 0 & \text{在别处} \end{cases}$$

其中 $n=0, 1, 2, \dots, k=1, 2, \dots, 2^n$
 n 称为阶, k 称为次。 n 阶的那些哈尔函数,
 意思是在 $1/2^n$ 宽度内,有相同的过零点数。
 k 次的哈尔函数,意思是指它在同一阶的哈尔
 函数中所处的位置。位置自左向右数。例如,
 $\text{har}(2, 1, t)$ 为2阶1次哈尔函数,处在最
 左边; $\text{har}(2, 4, t)$ 为2阶4次哈尔函数,
 处在最右边,参看图2,移动的距离与其次数
 成比例。

哈尔函数是归一化正交的,根据正交分
 割原理,凡是正交函数系,均可用来构成某
 种遥测体制,哈尔函数为三值函数,它的构
 成比较简单,从初步实验来看,它可能是一
 种有希望的新体制,简称为HDM体制。

只不过要在哈尔函数发生器,多值乘法
 器上多做点工作而已。

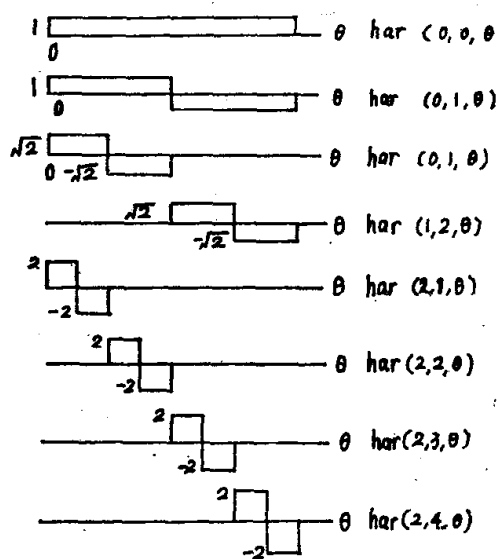


图2 前八个哈尔函数

以桥函数为基础的遥测系统

方块波脉冲是取+1和0的二值函数系,
 它是构成时分制的基础。沃尔什函数是取+
 1和-1的二值函数系,它是构成速率分割制
 的基础。在这两个函数中间,存在着一个取
 +1、-1和0的三值函数系。在这个函数系的
 两个端点,三值函数退化成二值函数,一个

是沃尔什函数,另一个就是方块波脉冲函数。
 在沃尔什函数与方波脉冲函数之间存在着很
 多这样的三值函数。因此可以认为这种三值
 函数系是把沃尔什函数和方块波脉冲函数联
 系起来的一种函数系,它的作用就象在沃尔
 什函数和方块波脉冲函数之间架起了一座桥
 梁,因此把这种三值函数称为桥函数系。

桥函数的构成方法如下,只要把Swick
 提出的沃尔什函数 $\text{Walw}(i, t)$ 的对称复制
 方式和方块脉冲函数移位形成方式结合起来
 就能获得桥函数。

1. 若 i 表示桥函数的序号,它可以用 P
 位二进制码 $i_{P-1}, i_{P-2}, \dots, i_{j-1}, \dots, i_1, i_0$
 来表示。

2. 将这 P 位二进制码分为两部分:

(1) 右面 j 位二进制码 $i_{j-1}, i_{j-2}, \dots, i_1, i_0$
 作为移位信息;

(2) 左面的 $(P-j)$ 位二进制码 $i_{P-1}, i_{P-2}, \dots, i_j$
 作为复制信息;

3. 先作序列移位,再作序列复制。

(1) 在0时隙处的初始序列均匀为+1
 (简写作+),其他 $(L-1)$ 个时隙处的
 值均为0,其中 $L=2^j$ 。

(2) 按移位信息 $i_{j-1}, \dots, i_0$ 将序列
 “+”右移若干位。

(3) 采用对称复制作为复制方式,按
 信息 $i_{P-1}, \dots, i_j$ 逐次进行复制,第一次复制
 信息为 i_{P-1} ,第二次为 i_{P-2} ,直到第 $(p-j)$
 次为止。

表1中列出了序号 i 从0至15,移位位数 j
 =1的桥函数形成过程。

桥函数的数学表示法

和其他函数的标记方法一样,将桥函数
 Bridge一词的头三个字母作为桥函数的标
 记,离散桥函数用 Bri 表示,连续桥函数用
 bri 表示。

由于在生成桥函数时不仅需要复制信
 息。因此桥函数包含四个参变量。

离散桥函数可以表示为:

表1 i从0至15, j=1的桥函数形成过程

序号	二进制码	复制信息	移位信息	初始序列	移位后序列	第一次复制序列	第二次复制序列	第三次复制序列
i	$i_3 i_2 i_1 i_0$	$i_3 i_2 i_1$	i_0		i_3	i_2	i_1	
0	0 0 0 0	0 0 0	0	+○	+○	○+	+○○+	+○○++○○+
1	0 0 0 1	0 0 0	1	+○	○+	+○	○++○	○++○○++○
2	0 0 1 0	0 0 1	0	+○	+○	○+	+○○+	-○○--○○-
3	0 0 1 1	0 0 1	1	+○	○+	+○	○++○	○--○○--○
4	0 1 0 0	0 1 0	0	+○	+○	○+	-○○-	-○○++○○+
5	0 1 0 1	0 1 0	1	+○	○+	+○	○--○	○++○○++○
6	0 1 1 0	0 1 1	0	+○	+○	○+	-○○-	+○○+-○○-
7	0 1 1 1	0 1 1	1	+○	○+	+○	○--○	○++○○--○
8	1 0 0 0	1 0 0	0	+○	+○	○-	-○○+	+○○--○○+
9	1 0 0 1	1 0 0	1	+○	○+	-○	○-+○	○+-○○-+○
10	1 0 1 0	1 0 1	0	+○	+○	○-	-○○+	-○○++○○-
11	1 0 1 1	1 0 1	1	+○	○+	-○	○-+○	○-+○○+-○
12	1 1 0 0	1 1 0	0	+○	+○	○-	+○○-	-○○+-○○+
13	1 1 0 1	1 1 0	1	+○	○+	-○	○+-○	○-+○○-+○
14	1 1 1 0	1 1 1	0	+○	+○	○-	+○○-	+○○-+○○-
15	1 1 1 1	1 1 1	1	+○	○+	-○	○+-○	○+-○○+-○

$Briw(i, j, p, t)$

其中: t 为桥函数的自变量时间, 在(0, 1)区间内变化。

$N=2^p$, 表示时间区间内的时隙数;

$L=2^i$, 表示移位所占据的时隙数。

$L \leq N$

i 表示桥函数的序号, $i < N$

下标 W 表示用沃尔什编号方式复制

生成的。

如果规定在一个时隙内桥函数之值不变, 那么可以将离散的桥函数变为连续的桥函数。连续桥函数可标记为

$briw(i, j, p, t)$

函数中出现的四个参变量及下标的意义与离

散函数的相同。

桥函数的图形

图3a中画出了桥函数 $\text{briw}(i, 1, 3, t)$, $i=0\sim 7$ 。图3b中画出了桥函数 $\text{briw}(i,$

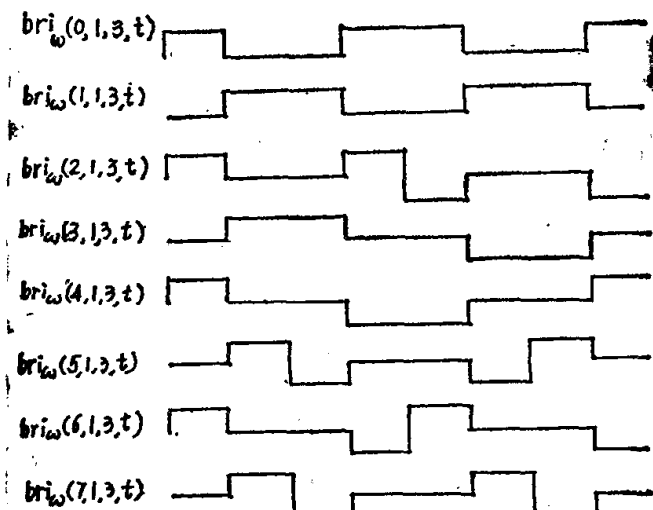


图3a, $i=0\sim 7$ 的 $\text{briw}(i, 1, 3, t)$

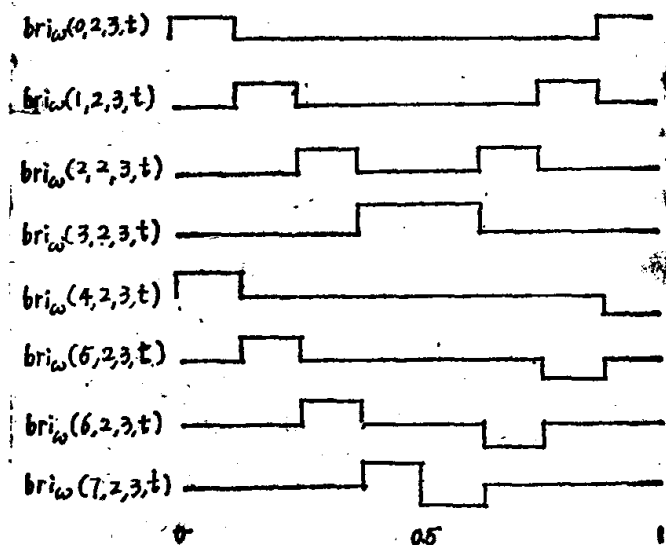


图3b, $i=0\sim 7$ 的 $\text{briw}(i, 2, 3, t)$

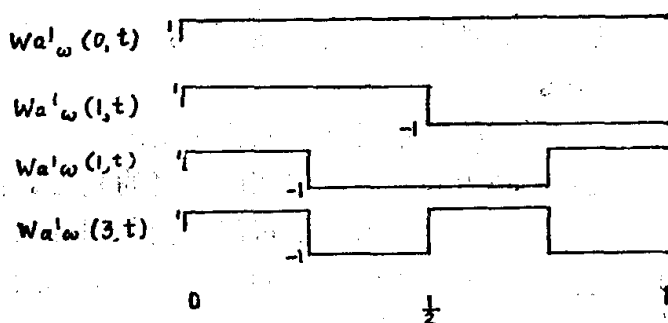


图3c, $i=0\sim 3$ 的 $\text{Walw}(i, t)$

$2, 3, t)$, $i=0\sim 7$ 。为了对比起见, 图3c中画出了沃尔什编号的沃尔什函数 $\text{Walw}(i, t)$, $i=0\sim 3$ 。

将图3a、b中的桥函数图形与图3c中的沃尔什函数图形进行比较可以发现以下特点:

(1) 在图3a中, 将 $\text{briw}(i, 1, 3, t)$, $i=0\sim 7$ 中非零值合并在一起, 出现四种不同图形, 其形状与 $\text{Walw}(i, t)$, $i=0\sim 3$ 的图形一致。在图3b中, 将 $\text{briw}(i, 2, 3, t)$, $i=0\sim 7$ 中非零值合并在一起, 出现两种不同的图形, 其形状与 $\text{Walw}(i, t)$, $i=0\sim 1$ 的图形一致。

(2) 一般说, $\text{briw}(i, j, p, t)$ 函数中, 将非零值合并在一起, 可出现 $2^{(p-j)}$ 个不同函数图形。例如 $\text{briw}(i, 1, 3, t)$ 与四个 $\text{Walw}(i, t)$ 图形一致, $\text{briw}(i, 2, 3, t)$ 与两个 $\text{Walw}(i, t)$ 图形一致。

(3) 一般, $\text{briw}(i, j, p, t)$ 函数中将非零值合并在一起, 其图形与 $\text{Walw}\left(\left[\frac{i}{L}\right], t\right)$ 函数图形相一致。其中

$\left[\frac{i}{L}\right]$ 表示 i 除以 L 后取整数部份。
 $L=2^j$, 例如 $\text{briw}(7, 1, 3, t)$ 与 $\text{Walw}(3, t)$ 图形一致, $\text{briw}(5, 2, 3, t)$ 与 $\text{Walw}(1, t)$ 图形相一致。

桥函数的正交性已有证明, 由正交分割原理可以推论: 桥函数为副载波的遥测体制是可以成立的。

小 结

将正交分割原理与正交分路的统一模型相结合, 乃是分析与研究遥测体制的基础。由此才有可能探索出新

(下转42页)

遥 测 技 术 发 展 述 评

谭明才

引言

国外遥测技术的发展已有一个多世纪的历史,近几十年来更得以长足发展,应用范围逐步扩大,效能日益提高,引起许多国家普遍重视,博得热情讴歌。在我国,更需把遥测技术应用于四化建设。本文拟就遥测技术的重要地位、发展前景、国外遥测技术,特别是新理论、新技术、新体制及其应用等方面的发展水平、动向以及我国遥测技术的发展水平、差距和发展遥测的初步设想等问题作一概述,以期为遥测技术的发展助一微薄之力,愿遥测为人类带来更大希望。

在本文编写过程中,就有关问题专程请教了南航谢求成老师和北航欧阳长月、张其善、张鸣瑞三位老师,深受教益。同时参考了国内外遥测界许多专家、权威人士的重要文章,在此,特向他们表示深切的感谢。由于笔者水平所限,缺、错之处,敬请批评指正。

一、遥测技术的重要地位和前景

遥测并不是一门单独学科,它是把物理学、测试、显示、记录、数据处理、电子器件、信息论、通信、雷达和计算机等的适用部分综合利用,形成具有遥测特色的多学科综合性的技术领域,因此,遥测则是随着各学科的发展而发展的。正因为如此,国内外

一些人士对遥测的地位和前途提出了不同见解。有的认为,遥测没有单独存在的必要或在学校勿需单独设立遥测专业;有的认为遥测没有搞头,出现些小的波动,甚至有的遥测工作人员打算改行转业等等。

实际情况并不是这样。

1. 遥测应大力发展 在遥测数据获取和存储系统,虽然微处理机有可能代替遥测系统,但这种想法并不是一种全面的考虑。因遥测系统有一个突出优点,即当测试飞行器破坏或丢失时,遥测数据的恢复则是永久的,而微机存储系统却因断电而丢失存储内容。对这些论题,英国《遥测系统》1978年1月号上一篇文章的作者作了详细说明。他说:“遥测能取消吗?”进行分析后,指出:频分遥测系统与微处理机数据获取、存储系统相比,两者在机载体积、重量、功率方面大致相同,但遥测的成本却是后者的5倍。然而,遥测系统有个突出优点,即当测试运载器破坏或丢失时,数据恢复却是永久的。而对随机存取的存储系统来讲,如电源切断,存储内容就丢失了。当然也应看到,随着微处理机技术的迅速发展,会出现些新变化。

最后的方案可能是向由微处理机控制的遥测系统方向发展,以兼顾两者的长处。他最后的结论是:遥测不可能取消,用存储系统代替遥测技术的想法并不是一种全面的考虑。

至于学校是否单独开设遥测专业问题,人们正在根据实际情况进行认真研究。但有

个共同的认识,即遥测不仅不能取消,而且还应加强。尤其是科研、设计、生产、使用部门应组织专门力量研究和发展遥测技术。尽管它与遥控、通信、雷达、计算机等有通用部分,但它确有自己的专业特点,如要求测量精度高、数据处理量大、快速测量、实时显示、传输系数高等,只有认真研究这些特点以及新技术、新理论和新体制,才能更好地发挥遥测技术的效能。

无论是否设立遥测专业,但工作在遥测技术领域的科研、试制、软硬件设计人员都应根据自己的实际需要,深入掌握下列一门或几门专业知识。如普通物理中与非电量有关的一些基础理论与应用;各种传感器的生产工艺知识;多路通信理论与应用;信息论在遥测中的应用;统计接收与编码理论;数据处理与误差分析的理论和应用;电子线路与滤波器的理论和设计;计算机、微处理机在遥测系统的应用及软硬件的设计等等。这对研究和应用遥测都是很有益处的。

2. 遥测继续发挥重要作用

遥测所测量的大多是极远、极细、极微的对象。前阶段遥测技术的迅速发展促进了火箭、导弹、飞船的发展,可以说,它为宇航、空间技术的发展发挥了巨大作用。现阶段遥测技术除用于军事和国防建设外,而且还应用于工业、农业、交通、水电、科学、教育、卫生、体育等方面,特别是用来测量那些远距离、分散或无法接近的目标,如对空间飞行器、核爆炸、强辐射、剧毒、高温、高压及其它恶劣环境下或人不能接近的目标的测量、监视、观察和了解,都用遥测来实现。遥测将作为自动化的手段之一,为四化建设继续发挥重要作用。

3. 遥测在多学科综合利用中大显其能

科学技术的发展进一步激励和促进了各学科的迅速发展,也为多学科的相互交叉、彼此渗透提供了条件。遥测与雷达、通信、计算机等学科的情况就是这样。遥测与雷达本

系统中的跟踪、天线、微波收发等部分在采用射频方面有相似之处;遥测的数字调制与数字通信有共同之点;遥测用磁记录器和计算机用磁带机在原理、设计、生产工艺方面没有什么两样,尽管其使用要求不同,甚至各具特点。但是无论哪种基础学科的发展都没有取代遥测,相反还促进了遥测的发展。这正说明遥测作为一门应用学科所具有的特点。

在实际应用中,遥测在多学科综合系统中更是大显身手。无论在空间技术、军事系统,还是在民用系统中的应用实例已枚不胜举。勿容置疑,遥测在今后的发展和应用中将显示出旺盛的生命力。

二、国外遥测的发展水平

近20—30年来,国外遥测技术得到惊人的发展。但对其发展历史应予回顾,这对了解、研究和发展遥测是必要的,有益的。总的来看国外遥测的发展大体分为四个阶段。

①原始阶段,即从1812年至19世纪40年代。虽俄国早在1812年将遥测用于矿山爆破工作,但从当时的技术水平来看,这种遥测是原始的。②幼年阶段,19世纪50年代至20世纪初期。其特点是遥测被用于军事,用来测量和记录炮弹的速度。1901至1906年遥测载入飞机,第一次横跨大西洋进行无线电传输试验和地震试验,并扩大到航运、货物调度及气象方面。但从技术和使用效果来讲,其仍属幼年时期。③成熟阶段,20世纪20年代至40年代末期。以美国建立NASA组织为起点,遥测技术及其在军事上的应用取得突飞猛进的进步,成绩显著。二次大战期间,FM—FM、PAM和PDM遥测体制已用于飞机和火箭,并一直沿用至今。1947年遥测首次用于探空火箭V-2,1949年多路遥测系统问世。这一时期遥测已从青年迅速跨入中年这一成熟时代。④飞速发展阶段,即从

世纪50年代初至今,是遥测飞速发展的时期。调制体制已从模拟式进入数字式新领域,数字化的PCM遥测系统已开始工作,这标志着遥测技术已达到划时代水平。传输系统迅速发展,遥测距离向深远延伸,1965年,传输距离已达一亿五千万英里,传输容量大大增加,既有参数,又有图象,传输速率高,每帧图象传输速率为二万四千比特。传感器和多路转换器得到很大发展。

具体来说,一个多世纪以来,国外在遥测方面大体抓了以下几项工作。

(一)开拓和发展遥测系统

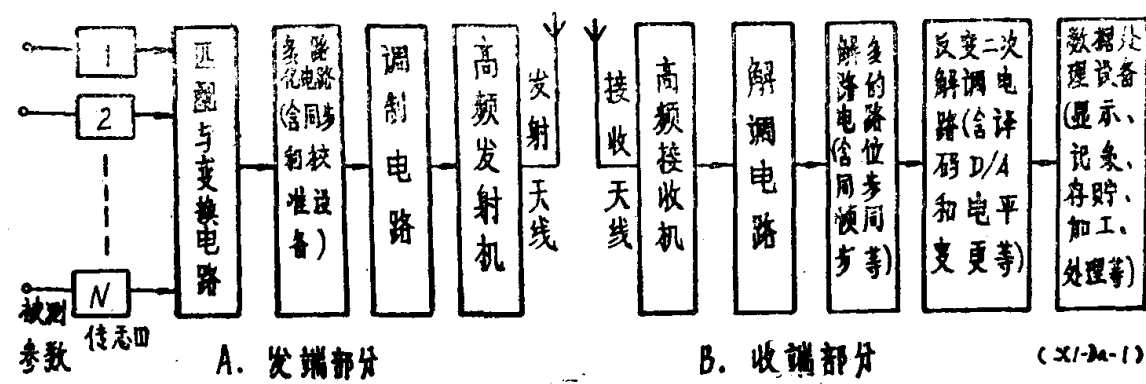


图1.遥测方框图

I. 传感器技术

传感器的定义很不统一,但从其功能、基本原理、敏感元件、输出量和主要特性(精度、尺寸等)等方面,可以描述传感器,以更好地对其研制和使用。传感器分接触式和非接触式两种,均有广泛应用。美国在卫星、飞船试验中约有2/3的被测参数需用传感器。在美阿波罗10中,用于测量开关、压力、温度、流量、速度等参数的就采用1218个传感器,在土星SA-525中,用于上述目的的有2077个传感器。

传感器紧靠被测点,是决定遥测系统精度和可靠性的关键部分。分配给它的误差一般约占系统总误差的1/2,研制经费也占遥测系统总研制费的一半左右。因精度是衡量传感器的重要指标,所以,早在50年代国外对此就尤为重视。以应变式传感器为例,当

关于遥测的组成,由于种种原因,看法有些不同,理论上也有分歧。不过,若按遥测信号流程来排列各组成部分,可能比较合理。因此,可将遥测系统分成八个单元(详见图1),即传感器、匹配电路、数据采集单元(含调制部分)、发射机及其天线,以上为发端设备;收端也有四部分,即接收天线及其随动部分、接收机、记录和显示单元、数据处理单元。对上述各部分都给予了足够重视和探索,进而,促进整个系统的发展。现仅就几个主要部分予以评价。

时精度很少高于 $\pm 1\%$,而1978年后,由于采用微电子器件对传感器进行误差补偿和自校,故其精度进一步提高到 $0.1\% - 0.04\%$,如表1所示。

表1

年代	50年代	60年代	70年代中期	1978年后
精度%	$\leq \pm 1$	0.5	0.2—0.5	0.1—0.04

但由于需检测的信息日益丰富,特别是计算机、微处理机的迅速发展,为进行信息处理提供了重要工具,这就需大量地发挥敏感元件的作用,也就是向传感器提出了更高的要求,因此研究和开发传感器技术仍是今后的重要任务。其重点应放在:

(1) 进一步研究传感器的新理论,提高性能,进行仿生化研究。在精度和小型化

方面很下功夫。以前由于传感器的体积大而不能应用，现已有直径仅0.25毫米的压力传感器，重量只有0.14克的压电振动传感器，使其达到既高精度，又小型化、集成化的水平。

所谓仿生化，就是仿生物器官制成新型生物传感器。现已制成与视、听、触觉相应的传感器，与嗅、味觉相应的传感器正在研制。据日本预测，几年后将正式使用嗅觉传感器。目前尚未发现味觉传感器的研制原理，不过，可仿效其它生物功能。

(2) 提高可靠性、稳定性。要求传感器结构坚固、装配简易、灵巧、稳定，可靠性高。

(3) 发展非接触式传感器，增加品种，扩大应用，增强互换性，以满足诸如粮食资源、矿物资源、生命科学、医疗、能源和海洋、宇宙开发等这些重大领域对传感器的需求。同时要求提高质量、降低成本、提高使用价值。

(4) 研究和应用数字式、多功能传感器。迅速发展的计算机技术引入传感器，构成数字式传感器。用计算机进行予处理，提高传感器的实用效能。数字式传感器有两种输出形式：一是数字量输出；一是频率输出。前者是模拟式传感器和A/D转换器的组合。图2示出这两种传感器的结构原理。其特点是抗干扰能力强，易和计算机连接。

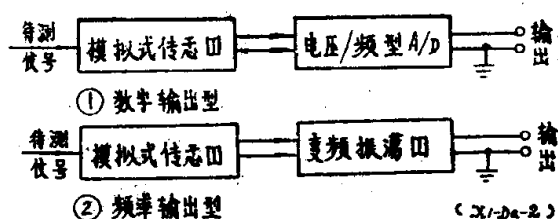


图2. 数字式传感器结构原理

(5) 努力将结构型传感器逐渐过渡到物性型传感器

结构性传感器的特点是性能稳定，精度

和线性较好。但制造加工困难、装配工艺水平高，成本高，不易标准化、系列化。而物性型传感器是以半导体、电介质、磁性体为传感材料的固体器件，便于集成化、系列化，且成本较低。

Ⅱ. 数据采集与调制体制

数据采集是遥测系统的重要问题之一，如何高效率和高可靠地采集来自传感器的被测信号是与采用什么调制体制密切相关的。有些体制的采集器已有商品出售。调制体制总的来讲有：AM、FM、PM和PSK。目前大量用于遥测系统的有频分制和时分制，当然也在探索新的遥测体制。频分制又分AM、FM、PM和SSB等；时分制分PAM、PDM、PPM和PCM等。如将分路调制方式和载波调制方式进行组合，又可得到多种方式的调制体制，如FM—FM、PAM—FM、PPM—FM、PDM—FM及PCM—FM等，它们各有其优缺点，但都得到广泛应用，在传输效率、可靠性、精度和设备兼容等方面基本满足要求。不过，美国在《IRIG标准》中，却把AM、PDM、PPM等调制体制取消或不用，而主要用PCM，同时也考虑PAM及FM。

PCM体制早在50年代国外已经采用，近年来发展迅速，成为遥测的主要调制体制，其有突出的优点，如抗干扰性强、准确性高、易于加密、直接与计算机接口等，特别是对计算机引入遥测非常有利。正因为如此，美苏都用PCM取代了以前采用的，曾吃过泄密苦头的模拟式体制。国外在调制体制方面采用了加密、扩频等技术。据估计，美国采用PCM遥测体制的约占65%。

FM—FM遥测具有体积小、重量轻、可靠性高、系统灵活、技术比较成熟、具有多年使用经验，在测量连续信号、窄脉冲上冲及振动参数时较之PACM优势等优点，但确也存在着精度不高、保密性差、路数不

多、抗干扰性差等缺点，故妨碍了对其使用。但在保密性不高的情况下，使用FM—FM遥测系统是可取的，大有希望的。现在美国Microcom公司及EMR公司仍在更新器件、提高付载频、大量使用微处理机，进一步生产和研究提高双调频系统。有人认为，在美国遥测系统中，采用该调制体制的仍占25%。

至于PAM—FM系统，我国长期用来测量振动，因误差过大，曾对其产生怀疑。不过，按美国遥测界的观点认为，只要取样率合适，并采用滤波特性好的滤波器和适当的数据处理方法，是可避免误差的，故在美国仍有10%的遥测设备采用PAM—FM调制体制。

PACM这种数字模拟混合体制，我国使用多年。五十年代，美国在实验室也研究过，不久就放弃了，现很少见到这种体制的遥测设备。

那么，随着遥测技术的不断发展，今后人们还会探索哪些新的遥测体制，研究哪些问题呢？根据目前情况，可以预测，今后将进一步发展已占主导地位的PCM体制，继续保持它的领先地位。频分制和时分制将混合使用。在某些场合，还可能选用PAM—FM。

可能研究出一种由卷积码和最小频移键控组成的新体制，在通带和功率不变情况下可提高增益，这是因为卷积码能提高数字通信系统增益，最小频移键控能有效地节约信道通带之故。

数字调制技术将随着数据传输系统的大发展而由简单的PSK发展为BPSK、QPSK、8PSK和16PSK。其中BPSK和QPSK在美国较为普遍，后者更能节约带宽，1990年前将得到广泛应用。PSK体制若加上某种不太复杂的信道编码，可能得到 β 值下降的结果，而带宽增加又不多，设备易于实现，它可能比PPM体制更有前途，这是我国遥测

界1984年4月召开的技术交流会上所提出的新观点。

沃尔什函数作为一种新的调制体制—序列分制将会得到进一步研究和发展。沃尔什函数是一种仅取 ± 1 的二值跳变的非正弦型的正交完备函数。由美国数学家沃尔什(J. L. Walsh)于1923年提出了这种函数的完整数学理论。在经过一段较长时间的“冷遇”之后，于近年来，在脉冲技术、数字技术、特别是计算机技术迅速发展的条件下，又得以重视和发展。目前沃尔什函数可能与频分制一争高低，但尚难确定它与时分制到底哪种生命力强。按美国遥测界权威人士L. Rauch的说法，不论哪种方法，要以实现起来设备简单可靠来决定使用前景。我国已于1983年9月通过了沃尔什函数遥测样机鉴定，确认这是一项可喜的科研成果，具备了转向工程设计的条件，到1982年为止，国外尚未见到类似样机。这种新体制可能吸引更多的遥测界人士去加以开发和研究。

Ⅲ. 显示、磁记录技术

显示和记录也是遥测的重要环节之一。

显示设备主要以文字和图表形式实时显示几种主要参数，用作实时观测或监视。近年来，显示技术发展很快，特别是彩色大屏幕CRT在遥测中亦颇受欢迎。当然，有时也辅以静电打字或CRT与其两者兼用，不过上述显示内容均不作为记录之用。

作为主要记录手段的磁记录器随着计算机技术的发展并用于遥测而迅速发展起来。磁记录器容量大、速度快、体积小、重量轻、易与数据处理用的计算机连接，在很短时间内就处理大量数据，省时省力、准确，所记录的参数容易转录和复制。它与50—60年代所采用的需人工判读和处理数据，通常需用半个月或几个月才能获得遥测数据结果的摄影记录有着不可比拟的优点。

磁记录器在遥测系统中大约用于下列四

种场合：**a.**记录遥测输出的连续模拟信号；**b.**记录解调后的群信号或分路信号；**c.**记录检波前的中频信号；**d.**在特殊情况下，记录导弹、火箭或卫星内的一段参数，这时，磁记录器就是配合遥测获得遥测数据的特殊遥测手段。

磁记录器因用途不同而各具特点。空用记录器要能承受恶劣环境条件，记录电视图象的则要频带宽，测量宇航员生理参数的要求带速低时间长，等等。近年来，磁记录器发展很快，具有下列特点：

①增加路数，最多为48路；

②提高带速，双向记录，最多达10种带速，最高带速为6米/秒、带速误差达0.01%；

③提高记录密度，数字记录密度高达33.333千位/时，线记录密度65.5千位/时；

④注意启动、停业时间，启动时间3—4秒，停止时间2.5~3秒；

⑤提高码速率，美国Ampex公司研制成超高码速率磁记录器，其码速率高达1000兆位/秒；

⑥采用微处理机控制磁记录器，起到随时监控、自动操作和校准检测的作用。美国霍尼韦尔公司的Model—90磁记录器就是采用微处理机控制，使抖动达到0.08%（带速6米/秒时），时基误差达 $0.1\mu s$ （带速3米/秒时）；

⑦降低误码率，美国霍尼韦尔公司采用一种迭落控制检纠错方法，使误码率降低3—4个量级，达 10^{-11} 。桑加蒙公司的磁记录器经检纠错后，误码率从 10^{-8} 降到 10^{-11} ；

⑧研究新型磁头及记录装置，日本索尼中央研究所为把日本东北大学岩崎俊一教授于1976年首先提出的垂直磁记录技术推向实用化，研制成单极磁头，并试制成最适用该磁头的双层磁介质以及3.5吋软磁盘。结果使线记录密度高达65.5千位/时，传输速度达5兆位/秒，存贮容量达4兆字节/单面。

在这方面已达到世界最高水平。与5.25吋硬磁盘相比，其存贮容量增加好几倍，而传输速率相同，可以说，已具有划时代的高性能。这一成果表明，垂直磁记录对今后日益增长的大容量信息存贮、高速信息处理等具有重要意义；

⑨发展灵巧、便携机型。桑加蒙公司已用三年时间，耗资500万美元，致力于发展全新的SabreⅡ型便携机型。其全部控制功能通过感应键或邻近的专用键输入，在本地通过一个7吋屏幕，在远处，通过计算机接口，进行人—机对话，预计今明两年，该机将投入使用；

⑩开发新技术，探索磁记录器技术的发展方向。目前磁记录技术正朝着高记录速度、多磁道、高记录密度和低误码率的方向发展。磁泡存贮器日益受到重视，美国Rockwell公司、Sandia及Bell实验室均集中力量研究磁泡存贮器，试图用于宇宙飞船、机械设备，甚至有人认为有取代遥测的可能。在海底测量地震和高空气球测 γ 射线的试验中，取得良好效果。由于磁存贮器可靠性高，又无机械运动部分，故其将会得到进一步发展。

对高速飞行体触地、触水（如钻地炮弹）时性能试验进行记录的大容量固态存贮器也将得到更引人注目的发展。微计算机、微处理机控制磁记录器也是磁记录技术的重要发展方向。

Ⅳ 数据处理技术

数据处理是关系到如何实时、高速、准确地处理遥测数据，获得遥测结果的重要问题。数据处理部分包括数据处理用的计算机及其与磁记录器重放的接口装置。随着计算机技术迅速引入遥测系统，遥测数据处理已由最初用摄影胶片记录，用人工判读的处理方式发展为用计算机进行处理，即对原始数据进行诸如数据平滑、线性化、误差分