

无线通信实验^⑥

王昆 张广驰 刘智平

广东工业大学信息工程学院

目 录

实验一 FH-CDMA (跳频码分多址) 技术.....	1
实验二 DS-CDMA (直扩码分多址) 技术.....	9
实验三 DS/FH (直扩加跳频) 混合多址技术.....	23
实验四 TD/FH (时分加跳频) 混合多址技术	25
附录 1 无绳电话标准、原理及手机使用方法.....	28
附录 2 双路无线综合测试仪原理及使用方法.....	31
附图 1(A) BS 测量收发信机 (TRX-BS)	39
附图 1(B) MS 测量收发信机 (TRX-MS)	40
参考文献	41

实验一 FH-CDMA（跳频码分多址）技术

一、实验目的

1. 了解 FH-CDMA（跳频码分多址）移动通信原理。
2. 了解一种常用的正交跳频序列—RS 编码序列。

二、实验内容

1. 测量 FH-CDMA 移动通信实验系统发射端及接收端锁相频率合成器控制电压，了解收发两端频率是否按同一跳频序列同步跳变(同地址 FH-CDMA)或按不同跳频序列跳变(不同地址 FH-CDMA)。
2. 测量同地址与不同地址 FH-CDMA 发射端及接收端的有关信号与数据。

三、基本原理

FH-CDMA (Frequency Hopping-Code Division Multiple Access) 跳频码分多址移动通信系统原理框图如图 1-1 所示。

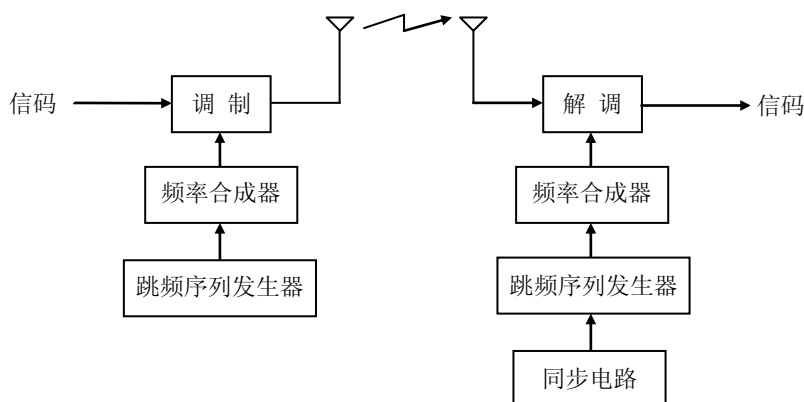


图 1-1 FH-CDMA 移动系统原理框图

基带信号对载波调制后发射，载频来自频率合成器，在跳频序列（常用 PN 序列即伪噪声序列：PseudoNoise sequence）的控制下随机跳变（最简单的控制方法是以序列值作为频道号）。收端的本振亦来自受跳频序列控制的频率合成器，接收频率随机跳变。当收发二端频率按同一跳频序列随机跳变，并且达到同步时，接收端就可解调出有用信息。当收发二

端频率按不同跳频序列随机跳变时，二端频率在任何时刻都不相同或相同的概率极小，即频率序列相互正交或准正交，接收端收不到发射端的信息。以上两种情况，前者对应同地址 FH-CDMA 用户正常通信过程；后者对应不同地址 FH-CDMA 用户之间相互干扰关系。

FH-CDMA 系统中，载波调制通常使用与相位无关的调频方式。

用于 FH-CDMA 通信的 PN 序列即跳频序列又称为跳频图案、跳频码。一般希望跳频序列具有如下性质：

- (1) 随机性
- (2) 周期性
- (3) 正交性
- (4) 可用序列多

常用的跳频序列是 RS 编码（Reed-Solomon code）。一种简单的 RS 编码可由 m 序列发生器的移位寄存器状态并行输出与编码选取寄存器状态作模 2 加来产生。设 m 序列为 n 阶，则对应的 RS 编码序列长 $L=2^n-1$ ，编码序列数目 $N=2^n$ 。图 1-2 给出由 4 阶 m 序列发生器构成的 RS 编码发生器。其中， m 序列发生器在时钟驱动下循环右移生成的 m 序列及对应的 1 个 RS 序列见表 1-1。由编码序列号 $N_3N_2N_1N_0$ 选取生成的 RS 编码序列见表 1-2。由表 1-1、1-2 可见，RS 编码序列长 $L=2^4-1=15$ ，编码序列数目 $N=2^4=16$ 。RS 编码序列作为频道号去控制频率合成器输出频率跳变。

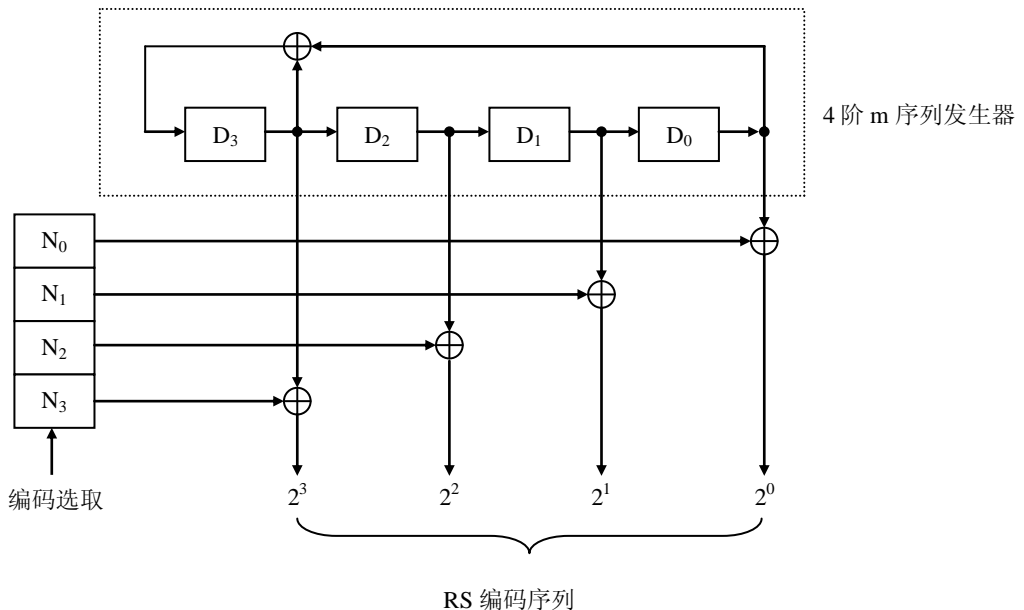


图 1-2 RS 编码序列发生器

表 1-1 4 阶 m 序列的寄存器状态及 $N_3N_2N_1N_0=0000$ 时的 RS 序列

	D ₃	D ₂	D ₁	D ₀	RS 序列	距离（与前值比较）
(1)	1	1	1	1	15	1
(2)	0	1	1	1	7	8
(3)	1	0	1	1	11	4
(4)	0	1	0	1	5	6
(5)	1	0	1	0	10	5
(6)	1	1	0	1	13	3
(7)	0	1	1	0	6	7
(8)	0	0	1	1	3	3
(9)	1	0	0	1	9	6
(10)	0	1	0	0	4	5
(11)	0	0	1	0	2	2
(12)	0	0	0	1	1	1
(13)	1	0	0	0	8	7
(14)	1	1	0	0	12	4
(15)	1	1	1	0	14	2

表 1-2 RS 编码序列

序列号	RS 编码序列																		
	N ₃	N ₂	N ₁	N ₀	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
(0)	0	0	0	0	15	7	11	5	10	13	6	3	9	4	2	1	8	12	14
(1)	0	0	0	1	14	6	10	4	11	12	7	2	8	5	3	0	9	13	15
(2)	0	0	1	0	13	5	9	7	8	15	4	1	11	6	0	3	10	14	12
(3)	0	0	1	1	12	4	8	6	9	14	5	0	10	7	1	2	11	15	13
(4)	0	1	0	0	11	3	15	1	14	9	2	7	13	0	6	5	12	8	10
(5)	0	1	0	1	10	2	14	0	15	8	3	6	12	1	7	4	13	9	11
(6)	0	1	1	0	9	1	13	3	12	11	0	5	15	2	4	7	14	10	8
(7)	0	1	1	1	8	0	12	2	13	10	1	4	14	3	5	6	15	11	9
(8)	1	0	0	0	7	15	3	13	2	5	14	11	1	12	10	9	0	4	6
(9)	1	0	0	1	6	14	2	12	3	4	15	10	0	13	11	8	1	5	7
(10)	1	0	1	0	5	13	1	15	0	7	12	9	3	14	8	11	2	6	4
(11)	1	0	1	1	4	12	0	14	1	6	13	8	2	15	9	10	3	7	5
(12)	1	1	0	0	3	11	7	9	6	1	10	15	5	8	14	13	4	0	2
(13)	1	1	0	1	2	10	6	8	7	0	11	14	4	9	15	12	5	1	3
(14)	1	1	1	0	1	9	5	11	4	3	8	13	7	10	12	15	6	2	0
(15)	1	1	1	1	0	8	4	10	5	2	9	12	6	11	13	14	7	3	1

由表 1-1 第 3 列可见，RS 序列数值变化具有随机性。由表 1-2 可见，如果 FH-CDMA 系统按表中所示同步组网工作，则任意二组跳频序列对应数值（频道号）都不相同，即相互正交。4 阶 RS 序列组共有 16 个序列，增加其阶次可用序列数会迅速增加。总之，RS 序列在随机性、周期性、正交性及可用序列数多等方面都性能良好，适合作为 FH-CDMA 系统的跳频序列。

FH-CDMA 系统的另外二个关键技术是：

(1) 高速频率合成器，捕捉时间短，一般不得超过跳频周期的 10%（因为捕捉过程中无法传送信号）。常用电路有直接数字式频率合成器（DDS）及小数分频锁相频率合成器。

(2) 收端跳频序列同步

跳频序列同步的方法与 DS-SS（直扩码分多址）的相似，分为捕捉与跟踪二个阶段。收发两端跳频序列相同，但初始相位一般不同。收端步进滑动本地跳频序列的相位，当中频输出有效信号时表明已完成捕捉，则停止滑动，转入同步跟踪状态。

以上二方面的详细内容及 FH-CDMA 的抗干扰、抗衰落及处理增益等性能，请参考有关资料。

图 1-3 为 FD-CDMA 移动通信实验系统框图，其中综测仪 TX-BS 为发端，作为系统基站 BS 的发射机；RX-MS 为收端，作为系统移动台 MS 的接收机。

收发两端频率合成器实际采用图 1-4 所示普通锁相环(PLL)频率合成器，其中，PD 为电荷泵鉴相器；LF 为环路滤波器；VCO 为压控振荡器（即调频振荡器），其振荡频率 f_v 受控

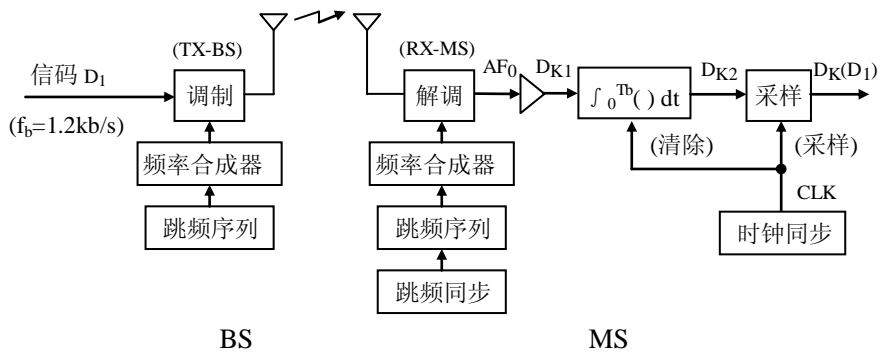


图 1-3 FH-CDMA 移动通信实验系统

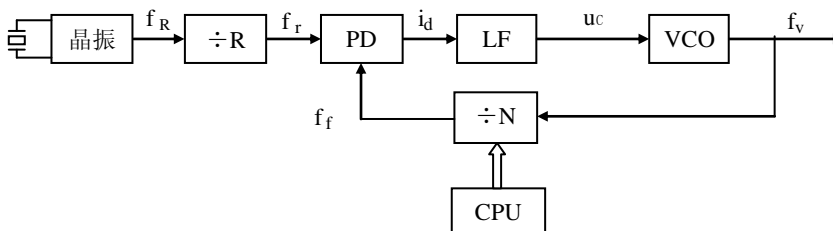


图 1-4 锁相频率合成器方框图

制电压 u_c 控制而改变，一般有

$$f_v = f_0 + K_0 \cdot u_c \quad (1-1)$$

式中， f_0 为固有振荡频率， K_0 为压控灵敏度（单位 Hz/V 或 rad/S · V）； $\div N$ 为程序分频器，其分频比由 CPU 程序设置可变； $\div R$ 为参考分频器，将稳定的晶体振荡器频率 f_R 分频得到环路参考频率 f_r （一般为 5KHz、6.25KHz、12.5KHz 或 25KHz 等）。环路锁定时，环路控制电压 u_c 为直流，PD 两个输入信号相位差为 0 或固定值，则频差为 0，即

$$f_r = f_i = f_v / N$$

故

$$f_v = N \cdot f_r \quad (1-2)$$

由 CPU 程序改变分频此 N 后锁相频率合成器经过捕捉过程重新锁定，输出频率 f_v 及对应的环路控制电压 u_c 都发生改变。由式 (1-2) 还可见，所有的输出频率 (f_v) 都与晶振频率 ($f_r = f_R / N$) 具有相同的准确度与稳定度；频道间隔 Δf 最小可以等于 f_r ，实际值由系统要求决定。本系统 $\Delta f = 25\text{KHz}$ ， $f_r = 5\text{KHz}$ ，则 N 变化间隔 $\Delta N = 5$ ；系统有 20 个双工信道，各信道频率及分频比见表(1-3)及表(1-4)。

表 1-3 BS 测量收发信机频率（无绳电话 MS 收发信机频率）

($f_r = 5.00\text{KHz}$, $f_{\text{IF}} = 10.700\text{MHz}$)

CH	TX 频率(MHz)	TX 环 $\div N$	RX 频率(MHz)	RX 一本振频率(MHz)	RX 一本振环 $\div N$
1	48.000	9600	45.000	34.300	6860
2	48.025	9605	45.025	34.325	6865
3	48.050	9610	45.050	34.350	6870
4	48.075	9615	45.075	34.375	6875
5	48.100	9620	45.100	34.400	6880
6	48.125	9625	45.125	34.425	6885
7	48.150	9630	45.150	34.450	6890
8	48.175	9635	45.175	34.475	6895
9	48.200	9640	45.200	34.500	6900
10	48.225	9645	45.225	34.525	6905
11	48.250	9650	45.250	34.550	6910
12	48.275	9655	45.275	34.575	6915
13	48.300	9660	45.300	34.600	6920
14	48.325	9665	45.325	34.625	6925
15	48.350	9670	45.350	34.650	6930
16	48.375	9675	45.375	34.675	6935
17	48.400	9680	45.400	34.700	6940
18	48.425	9685	45.425	34.725	6945
19	48.450	9690	45.500	34.750	6950
20	48.475	9695	45.475	34.775	6955

表 1-4 MS 测量收发信机频率（无绳电话 BS 收发信机频率）

($f_r=5.00\text{KHz}$, $f_{IF}=10.700\text{MHz}$)

CH	TX 频率(MHz)	TX 环÷N	RX 频率(MHz)	RX 一本振频率(MHz)	RX 一本振环÷N
1	45.000	9000	48.000	37.300	7460
2	45.025	9005	48.025	37.325	7465
3	45.050	9010	48.050	37.350	7470
4	45.075	9015	48.075	37.375	7475
5	45.100	9020	48.100	37.400	7480
6	45.125	9025	48.125	37.425	7485
7	45.150	9030	48.150	37.450	7490
8	45.175	9035	48.175	37.475	7495
9	45.200	9040	48.200	37.500	7500
10	45.225	9045	48.225	37.525	7505
11	45.250	9050	48.250	37.550	7510
12	45.275	9055	48.275	37.575	7515
13	45.300	9060	48.300	37.600	7520
14	45.325	9065	48.325	37.625	7525
15	45.350	9070	48.350	37.650	7530
16	45.375	9075	48.375	37.675	7535
17	45.400	9080	48.400	37.700	7540
18	45.425	9085	48.425	37.725	7545
19	45.450	9090	48.450	37.750	7550
20	45.475	9095	48.475	37.775	7555

在表 1-2 中选取 0 号及 11 号序列作为正交跳频序列，考虑到收发信机频道号为 1-20，将序列值加 3 后得到实际使用的二组正交跳频序列如表 1-5 所示。信码 $D_1=10101100\dots$ （循

表 1-5 实验系统使用的二个正交跳频序列

序列号	跳频序列（频道号）
0	18 10 14 8 13 16 9 6 12 7 5 4 11 15 17
11	7 15 3 17 4 9 16 11 5 18 12 13 6 10 8

环重复)，码速率 $f_b=1.2\text{Kb/s}$ 。载波调制方式为 FSK。收端解调输出信号 AF_O 整形得 D_{K1} ，经积分得 DK_2 ，采样/保持输出数据 D_K ，以最低误码率恢复发端数据。

接收端同步电路认为是理想的，不作为本实验研究内容，实际上收发两端的跳频受同一单片机控制。当收发两端都采用 0 号序列同步跳频时，接收端解调输出发端调制信码；当收发两端分别按 0 号及 11 号序列跳频时，接收端无发端调制信码输出。

实验系统的实际跳频速率约 15 跳/秒，跳频周期约 65ms。跳频时 CH 数码管显示 MS 测量收发信机工作频道号；在同地址同步跳频并且收发天线距离足够小、接收信号足够强时，接收端显示接收信号频率。

四、实验步骤

1. 设置综测仪为 FH-CDMA 工作方式（按 K1 至 NECH 灯亮，再按 K4），TRX-BS 及 TRX-MS 的工作频道按表 1-5 以 15 跳/秒速率随机跳变，工作方式控制面板上信道(CH)号数码管实时显示 TRX-MS 的信道号；打开发射机 TX-BS（K6 置 ON，K7 置 BS，BS 测量面板 TX 绿灯亮），加上内部调制数字信号（K9 置 INT）。

2. 反复按 K4 键，系统循环步进处于表 1-6 所示二种子工作方式之一。

表 1-6 FH-CDMA 通信子工作方式

子方式序号	NECH 灯指示		子工作方式
	闪速	占空比	
1	4Hz	0.1	同地址(收发两端都用表 1-5 中 0 号序列)同步 FH-CDMA
2	4Hz	0.9	不同地址(收发两端分别用 0 及 11 号序列)FH-CDMA

3. 双踪示波器二个通道都设置为 DC、2V/DIV~5V/DIV，分别观测 TX-BS 及 RX-MS 的锁相频率合成器环路控制电压 u_{ct} 及 u_{cr} ；置内触发方式；扫描速度调至足够慢。

4. 反复按 K4 键，NECH 灯闪亮的占空比为 0.1 或 0.9 循环切换。当占空比为 0.1 时，可观测到二套收发信机 u_c 同步随机跳变，即同地址同步跳频；当占空比为 0.9 时，可观测到二套收发信机 u_c 以不同方式随机跳变，即不同地址跳频。

5. 将双踪示波器置外触发方式，外触发输入接至综测仪 MS 测量面板 TRI_A 端；扫描速度调至 10ms/DIV。

按 K4 键，当 NECH 灯闪烁占空比为 0.1 即收发两端同地址同步跳频时，测量得到收端 AF_O 波形如图 5-5 所示。由图可见，在锁相环捕捉过程中频率不断变化，还未锁定于额定值，收发两端频率不等，因此收端收不到射频信号， AF_O 输出一片噪声直至环路锁定为止，之后发端才开始发送数据至收端。在收发两端同地址同步跳频时，若收发天线距离足够小，接收信号足够强时，接收端显示接收信号频率。

当 NECH 灯闪烁占空比为 0.9 即收发两端不同地址跳频时，收发两端频率总不相同，接收端总是接收不到发端信号， AF_O 输出恒为一片噪声，并且无接收信号频率显示。

在收发两端同地址同步跳频时，将示波器一个通道接至收端 AF_O ，另一通道顺次接至发端 u_{ct} 及 D_1 ，以收端 AF_O 为时间参考，在同一座标纸上记录发端 u_{ct} 、 D_1 及收端 AF_O 波形，得到同步跳频工作过程图。

6. 将双踪示波器扫描速度调至 2ms/DIV。按 K4 键，当 NECH 灯闪烁占空比为 0.1 时，接收端 D_K 输出发端调制信号（ $D_1=10101100\cdots$ 循环重复）。将示波器一个通道接至发端 D_1 ，另一通道顺次接至收端 AF_O 、 D_{K1} 、 D_{K2} 、CLK(上升沿有效)、 D_K ，以发端 D_1 为时间参考，顺次测量并在同一座标纸上记录发端 D_1 及收端 AF_O 、 D_{K1} 、 D_{K2} 、CLK、 D_K 波形。或者按

信号流向从 D_1 至 AF_0 、 D_{K1} 、 D_{K2} 、 CLK 、 D_K ，双踪示波器两个通道同时测量两个相邻信号，先在坐标纸上记录前面一个信号波形(或前一次测量已记录)，再以前一个波形为时间参考记录后面一个信号波形，依此类推顺次测量记录所有信号波形。得到同步跳频数据传输处理波形图。

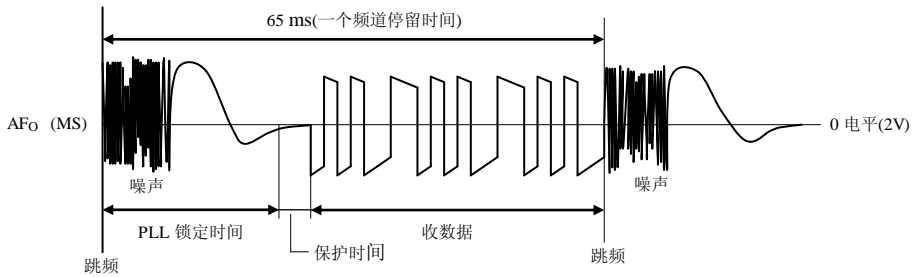


图 1-5 同步 FH-CDMA 通信系统跳频工作过程

五、实验报告内容

1. 整理实验记录，画出图 1-3 所示 FH-CDMA 系统在同地址同步 FH-CDMA 工作方式下，跳频工作过程图及数据传输处理波形图，结合不同地址 FH-CDMA 工作方式下接收端接收不到发端信号、 AF_0 输出恒一片噪声的情况，说明 FH-CDMA 的基本工作原理。
2. 试给出 3 阶 m 序列形成的 RS 编码序列，研究其作为跳频序列的正交性。

实验二 DS-CDMA（直扩码分多址）技术

一、实验目的

了解 DS-CDMA（直扩码分多址）移动通信原理。

二、实验内容

1. 测量单信道 DS-CDMA 通信系统发端及收端波形，了解发端扩频调制及收端相关检测原理，初步了解码分多址逻辑信道形成原理。

2. 测量 2 信道 DS-CDMA 通信系统发端及收端波形，进一步了解发端扩频调制、收端相关检测及码分多址逻辑信道形成原理。

三、基本原理

图 2-1 为直扩码分多址 DS-CDMA（Direct Sequence Spread Spectrum-Code Division Multiple Access）通信系统原理框图。DS-CDMA 利用高速率的正交码序列 c_i （互相关函数值为 0 或很小的码序列）作为地址码，与用户信息数据 d_i 相乘（或模 2 加）得到信息数据的直接序列扩频信号，经过相应的信道传输后，在接收端与本地产生的地址码进行相关检测，从中将地址码与本地地址码一致的用户数据选出，把不一致的用户数据除掉。码分多址通信系统可完成时域、频域及空间上混叠的多个用户直扩数据的同时传输，或者说，利用正交地址码序列在同一载频上形成了多路逻辑信道，可动态地分配给用户使用。

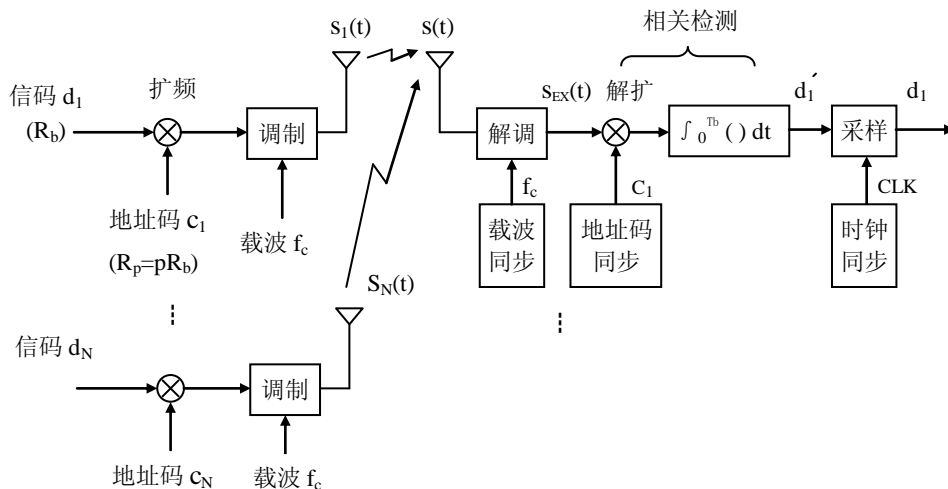


图 2-1 DS-CDMA 移动通信系统原理框图

其工作原理如下^[9,10,11]:

1. 正交码序列

(1) 定义

设 $c_i(t), i=1, 2, \dots, N$ 是序列周期为 T (一序列周期内子码元数为 p , 子码周期为 $T_p=T/p$) 的一组码序列。若它们的互相关函数为 0, 即

$$R_{i,j}(\tau) = \int_0^T c_i(t) \cdot c_j(t-\tau) dt = 0, \quad i \neq j \quad (2-1)$$

则称为正交码序列组, 可作为 DS-CDMA 系统的地址码。

为便于收端实现地址码的同步, 它们应具有尖锐的自相关峰, 即满足

$$|R_i(\tau)| = \left| \int_0^T c_i(t) \cdot c_i(t-\tau) dt \right| = \begin{cases} p, & \tau = 0 \\ \ll p, & |\tau| \geq T_p \end{cases} \quad (2-2)$$

实际地址码互相关函数及自相关函数不一定严格满足以上关系。迄今为止, 实际用于 DS-CDMA 的地址码, 按互相关性能可分成二类:

- ① 互相关函数值在任意 τ 值下, 与自相关函数峰值相比都很小, 但不一定为 0, 称为准正交。
- ② 互相关函数值在指定的时刻 (例如 $\tau = 0$) 才为 0, 才是正交的; 而在其它时刻互相关函数值可能很大。

地址码按自相关性能可分为以下二类:

- ① 自相关峰很尖锐且在一序列周期内只有一个自相关峰, 与白噪声的自相关函数相近, 称为 PN 序列 (PseudoNoise sequence - 伪噪声序列)。
- ② 自相关峰不尖锐或在一序列周期内有多个自相关峰, 不属于 PN 序列。

(2) 常用正交码序列

常用正交码序列有以下三种:

- ① *Walsh* (沃尔什) 序列: 在指定时刻 ($\tau = 0$) 正交, 自相关特性不好 (不属于 PN 序列)。
- ② *m* 序列: 准正交, 自相关特性很好 (属于 PN 序列)。
- ③ *Gold* 序列: 准正交, 自相关特性很好 (属于 PN 序列)。

表 2-1 给出 8 阶 *Walsh* 序列^[1]。 W_0^8 表示 0 号 8 阶 *Walsh* 序列, 其它依此类推。

在研究 8 阶 *Walsh* 序列的正交性前, 先研究一下如何计算及用什么电路实现式 (2-1)、(2-2) 所示的相关运算。

表 2-1 8 阶沃尔什序列

	(0, 1) 域	(-1, +1) 域
W_0^8	0000, 0000	-1-1-1-1, -1-1-1-1
W_1^8	0101, 0101	-1 1-1 1, -1 1-1 1
W_2^8	0011, 0011	-1-1 1 1, -1-1 1 1
W_3^8	0110, 0110	-1 1 1-1, -1 1 1-1
W_4^8	0000, 1111	-1-1-1-1, 1 1 1 1
W_5^8	0101, 1010	-1 1-1 1, 1-1 1-1
W_6^8	0011, 1100	-1-1 1 1, 1 1-1-1
W_7^8	0110, 1001	-1 1 1-1, 1-1-1 1

二进制数用 0, 1 表示, 在常用的正逻辑数字电路里面的形式是低电平(L)、高电平(H)。两个二进制序列 A、B 由异或门及模拟乘法器进行处理的电路及输出如图 2-2 所示。

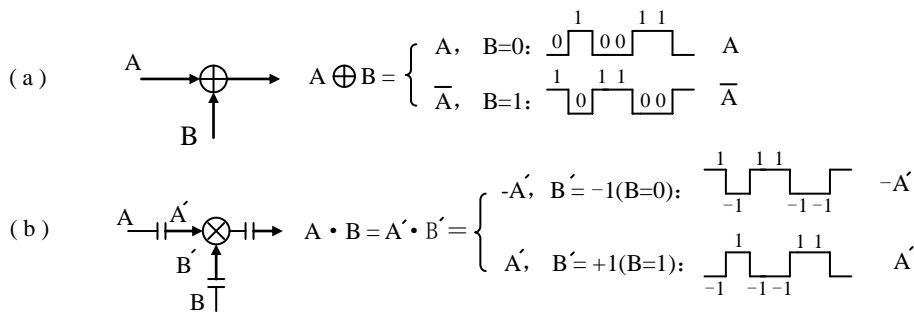


图 2-2 两个二进制序列通过(a)异或门及(b)模拟乘法器

图中, 假定 $A=010011\dots$, B 是长串的连接 0 或连 1。模拟乘法器输入、输出端有自己的正常静态偏置电平, 故与前后电路必须通过隔直电容相联。输入二进制序列 0、1...经过隔直后, 以模拟乘法器输入偏置电平为参考, 成为负电平、正电平..., 归一化后为 -1、+1..., 即 0 变成 -1, 1 变成 +1。由图 2-1 可见, 除了倒相之外, 两电路的输出完全相同。而倒相的差别, 很容易通过加一级倒相器来消除, 可以不予考虑。将 A、B 互换或改为其它数据重画波形, 可得到相同结果。

由以上分析可得到以下结论:

- (1) (0, 1) 域上的二进制序列作乘法运算, 必须首先转换到 (-1, +1) 域上 (0 → -1,

1→+1) 后再进行。

(2) 二进制序列在 (0, 1) 域上模二加 (异或) 运算与其在 (-1, +1) 域上的乘法运算等效。

进一步分析容易得出, 对于两路输入信号为多个数字序列波形线性叠加的情况, 只要输入幅度没超过模拟乘法器线性工作范围, 上述结论 (1) 仍适用; 而异或门是非线性器件, 上述结论 (2) 就不能推广了。

下面就可按式 (2-1) 以表 2-1 中的 W_1^8 、 W_7^8 为例来研究沃尔什函数的正交性。

图 2-3 是用模拟乘法器求 W_1^8 、 W_7^8 互相关函数值 $R_{1,7}$ 的有关波形, 可见 $R_{1,7}=0$ 。直接计算的结果与图 2-3 中一致:

$$R_{1,7} = \int_0^T W_1^8 \cdot W_7^8 \cdot dt = \sum_{i=1}^8 (a_{1i} \cdot a_{7i}) T_p = [1+1+(-1)+(-1)+(-1)+(-1)+1+1] T_p = 0$$

由上式可见, **求数字序列相关函数, 只需将其 (-1, +1) 域对应位相乘再求和 (再乘以码元周期) 即可得到。**

同法可求出其它任意二个序列之间的互相关函数值都为 0。

Walsh 序列的正交性在 $\tau \neq 0$ 时急剧恶化。例如: 由表 2-1, W_2^8 循环左移 1 位 ($\tau = -T_p$) $= W_3^8$, W_4^8 循环左移 2 位 ($\tau = -2T_p$) $= W_6^8$, 互相关值都等于自相关函数的峰值。

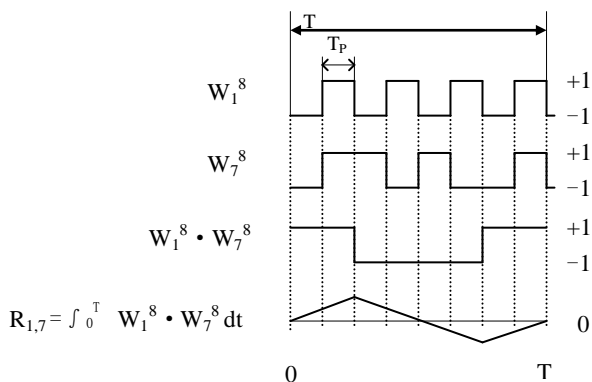


图 2-3 W_1^8 、 W_7^8 及互相关函数值

2. DS-CDMA 移动通信系统

图 2-1 为 DS-CDMA 移动通信系统原理框图。系统中采用包含 N 个码序列的正交码组 C_1, C_2, \dots, C_N 作为地址码, 分别与信码 d_1, d_2, \dots, d_N 模 2 加或相乘实现扩频调制。信码速

率 R_b (单位: b/s, 比特/秒)、周期 $T_b=1/R_b$; 地址码速率 R_p (单位: c/s, 码片/秒或子码/秒)、周期 $T_p=1/R_p$, 地址码序列每周期包含 p 个子码元, 序列周期 $T = p \cdot T_p$ 。通常设置

$$R_p = p \cdot R_b \quad (2-3)$$

即

$$\begin{aligned} T_b &= p \cdot T_p \\ &= T \end{aligned} \quad (2-4)$$

式 (2-3)、(2-4) 表明, 地址码速率 R_p 是信息速率 R_b 的 p 整数倍, 1 个信码周期 T_b 对应一个地址码序列周期 T 。信息码与地址码相乘后占据的频谱宽度扩展了 p 倍。由 N 个正交地址码在一对双工载频上构成 N 个逻辑信道, 可供 N 对用户同时通信。图中画出发端的 N 个用户及收端第 1 个用户。

DS-CDMA 系统的载波调制方式可采用调频或调相, 以调相方式应用最广。以 2PSK 调制为例, 发端用户 1 发射的信号为

$$S_1(t) = d_1(t) \cdot c_1(t) \cdot \cos \omega_c t \quad (2-5a)$$

上式中, $d_1(t) \cdot c_1(t)$ 是 (-1, +1) 域二元数据, 则 $S_1(t)$ 是 $0/\pi$ 调相的 2PSK 信号。故载波调制器就是模拟乘法器。式 (2-5a) 可写成如下形式

$$\begin{aligned} S_1(t) &= d_1(t) \cdot c_1(t) \cdot \cos \omega_c t \\ &= [d_1(t) \cdot c_1(t)] \cos \omega_c t \end{aligned} \quad (2-5b)$$

或

$$\begin{aligned} S_1(t) &= d_1(t) \cdot c_1(t) \cdot \cos \omega_c t \\ &= [d_1(t) \cdot \cos \omega_c t] \cdot c_1(t) \end{aligned} \quad (2-5c)$$

上式表明, 发端的 DS-CDMA 射频信号, 可通过先扩频调制再载波调制 (式 (2-5b)) 或先载波调制再扩频调制 (式 (2-5c)) 得到, 二者是等效的。与此对应, 收端也有二种等效的解调方案。本实验系统采用的方案是: 发端先扩频调制再载波调制, 收端先载波解调再扩频解调。

发端 N 个用户发射在空中的信号在时域、频域完全混叠在一起, 收端每一个用户都可收到。收端第 1 个用户天线收到的信号

$$S(t) = \sum_{i=1}^N S_i(t) = \sum_{i=1}^N A_i \cdot d_i(t) \cdot c_i(t) \cdot \cos \omega_c t \quad (2-6)$$

解调后的信号

$$S_{EX}(t) = \sum_{i=1}^N A_i' \cdot d_i(t) \cdot c_i(t) \quad (2-7)$$

经过与本地地址码 $c_1(t)$ 相关检测后输出信号

$$\begin{aligned} d_1' &= \int_0^T S_{EX}(t) \cdot c_1(t) dt \\ &= \sum_{i=1}^N A_i' \cdot \int_0^T d_i(t) \cdot c_i(t) \cdot c_1(t) dt \end{aligned}$$

上式中， T 为地址码序问周期，等于信码周期 T_b ，故积分号中信码 $d_i(t)$ 是常数可提出，得

$$d_1' = \sum_{i=1}^N A_i' \cdot d_i(t) \cdot \int_0^T c_i(t) \cdot c_1(t) dt$$

代入式 (2-1) 地址码的正交性关系可得

$$\begin{aligned} d_1' &= A_1' d_1(t) R_1(0) \\ &= A_1'' d_1(t) \end{aligned} \quad (2-8)$$

上式中 $R_1(0) = \int_0^T c_1(t) \cdot c_1(t) dt$ 为 $c_1(t)$ 的自相关函数峰值。 d_1' 经采样后得到方波形式的信码 $d_1(t)$ 。收端用户 1 从发端 N 个用户发射在空中，在时域及频域完全混叠的 DS-SS 信号中，接收到发端用户 1 的信码。

3. DS-SS 移动通信的关键技术

- (1) 正交码序列的研究、选择及配置。
- (2) 为克服远近效应，要进行精确、快速的发射功率控制。

由前面式 (2-6) ~ 式 (2-8) 的分析可见，如果地址码组严格正交，并且收端对接收信号采用相关检测(与地址码相乘再积分)，则式 (2-8) 所示收端输出只包含有用信息，而不包含其它地址的信息，即不存在多址干扰。但实际情况并不是如此理想：

(1) 地址码不严格正交

① 实际使用的地址码一般都不是严格正交，或者只在指定的相对相位关系下才是严格正交；

② 传输引起信号波形畸变及收端地址码同步精度不高，地址码正交性恶化。

(2) 收端对地址码没采用或无法采用相关检测

① 收端先对地址码解扩(相乘), 然后再载波解调。

② 地址码序列周期大于信码周期(例如 IS-95/N-CDMA 系统上行地址码), 则无法对地址码采用相关检测。

在上述两种实际应用情况下, 接收端就存在多址干扰。近地发射机来的无用的强信号对远地发射机来的有用的弱信号会产生严重多址干扰。另一方面, 由于接收机前端电路的线性动态范围有限, 近地强干扰信号会造成接收机的阻塞, 亦会抑制远地有用弱信号的接收。以上二个原因造成的近地强信号对远地弱信号接收的抑制现象称为“远近效应”。

同一小区内各移动台与基站距离不同, 各移动台发射信号到达基站接收机的传输距离不同, 存在远近效应; 而基站发射的多路信号到达某一移动台接收机的传输距离相同, 不存在远近效应。

克服远近效应的方法是对移动台发射功率进行精确、快速及大幅度的控制, 使任一移动台无论处于什么位置, 其发射信号到达基站接收机时, 都具有相同的电平, 而且刚刚达到要求的信干比门限; 基站发射信号虽不存在远近效应, 但仍进行慢速及小幅度的控制, 使移动台接收机收到基站发射来的信号刚刚达到要求的信干比门限。

各移动台的发射机是物理上独立的发射机, 可按需要独立进行功率控制。基站发射机及功率控制由于下述原因而大为简化。

原则上, 基站需为每条 DS-CDMA 逻辑信道配置一台发射机, 但由于这些发射机处于同一基站, 所以发射载频是相干的(同频、同相), 故基站总的发射信号可表示为

$$\begin{aligned} S(t) &= \sum_{i=1}^N [A_i \cdot d_i(t) \cdot c_i(t) \cdot \cos \omega_c t] \\ &= \sum_{l=1}^N [A_i \cdot d_i(t) \cdot c_i(t) \cdot 2 \cos \omega_{IF} t \cdot \cos(\omega_c - \omega_{IF})t] \\ &\quad \text{上变频(取和频)} \\ &= \left[\sum_{i=1}^N 2A_i \cdot d_i(t) \cdot c_i(t) \cdot \cos \omega_{IF} t \right] \cdot \cos(\omega_c - \omega_{IF})t \quad \Big|_{\text{上变频(取和频)}} \quad (2-9) \end{aligned}$$

由式(2-9)可见, 基站各信道发射的射频信号, 可先在中频 ω_{IF} 实现扩频调制及载波调制, 经线性叠后由 1 台发射机上变频到射频再功率放大后发射出去。调整各信道中频信号幅度, 就调整了各信道射频信号幅度(功率)。

基站发射的多路射频信号另外一种形式为

$$S(t) = \sum_{i=1}^N [A_i \cdot d_i(t) \cdot c_i(t) \cdot \cos \omega_c t]$$

$$= \left[\sum_{i=1}^N A_i \cdot d_i(t) \cdot c_i(t) \right] \cdot \cos \omega_c t \quad (2-10)$$

即，可先将各信道扩频调制后的基带信号线性叠加，再对同一载波进行调制后发射出去。调整各信道扩频基带信号的幅度，就调整了各信道射频信号幅度。

(3) 地址码同步

由图 2-3 可见，DS-CDMA 收端同步除了有一般数字通信系统的载波同步、时钟同步（位同步）及帧同步以外，地址码同步是它所特有的，它包括捕获及跟踪二部分。

常用的地址码捕获方法为滑动相关法。参考图 2-3 接收端。根据地址码的自相关峰值特性确定一个检测门限。逐步滑动接收机本地地址码相位，检测相关器的输出，在输出超过检测门限时停止滑动相位，完成捕捉，然后转入跟踪。

以上几方面详细内容及 DS-CDMA 的处理增益、抗多径衰落等性能请参考有关资料。

4. 实验系统原理

根据上述 DS-CDMA 移动通信原理介绍及双路踪测仪中已有的二套调频收发信机平台，实际 DS-CDMA 实验系统框图如图 2-4 所示。发端采用二个正交地址码 C_1 及 C_2 ，通过异

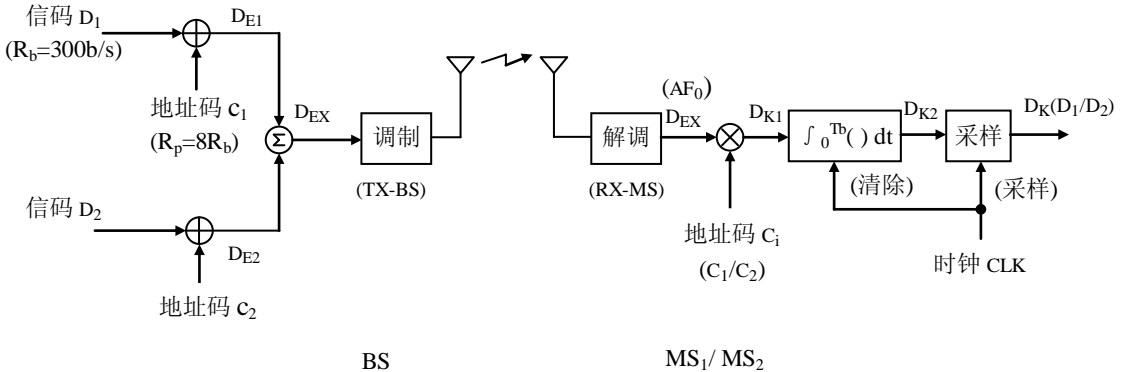


图 2-4 DS-CDMA 移动通信实验系统

或门分别对两路信码 D_1 及 D_2 实现扩频调制，得到两路信码各自的扩频(调制)基带信号 D_{E1} 、 D_{E2} ，它们线性叠加为两路信码的扩频基带信号 D_{EX} 。TX-BS 作为系统基站 BS 的发射机， D_{EX} 对载波 FSK 调制,再发射出去。收端 RX-MS 载波 FSK 解调输出扩频基带信号 D_{EX} 。通过切换本地地址码 C_i 为 C_1/C_2 ，再经过相关检测得到信码 D_1/D_2 ，模拟二个移动台 MS_1/MS_2 的接收机。实验系统采用二个正交地址码，在同一载频上形成二个 DS-CDMA 逻辑信道。二路信码 $D_1=10101100\cdots$ （周期循环）， $D_2=01010011\cdots$ （周期循环），码速率为 $R_b=300\text{b/s}$ 。地址码 $C_1=W_1^8=01010101$ ， $C_2=W_7^8=01101001$ ，子码速率为 $R_p=8R_b=2.4\text{kc/s}$ （2.4 千子码/秒），

则有 $T_b=8T_p=T$ 。接收端地址码同步及时钟同步电路都认为是理想的，不作为本实验的研究内容，收端地址码 C_1 及时钟 CLK 实际上与发端 D_1 、 D_2 、 C_1 、 C_2 一起由同一单片机产生。

需要指出，2 个用户各自的扩频基带信号 D_{E1} 及 D_{E2} 是二值信号 $+1/-1$ ，它们线性叠加为 D_{EX} 后就成为三值信号： $0[(+1)+(-1)]$ 、 $+2[(+1)+(1)]$ 及 $-2[(-1)+(-1)]$ ，归一化值为 0 、 $+1$ 、 -1 。更多个用户扩频基带信号线性叠加成的 D_{EX} 为多值信号^[9]。

实验系统有如下几种子工作方式

(1) 单信道 DS-CDMA 通信

- ① 发端发 $D_1(C_1)$ ，收端收 $D_1(C_1)$ ；
- ② 发端发 $D_2(C_2)$ ，收端收 $D_2(C_2)$ ；
- ③ 发端发 $D_2(C_2)$ ，收端地址码为 C_1 ，收不到发端 $D_2(C_2)$ 。

(2) 2 信道 DS-CDMA 通信

- ① 发端发 $D_1(C_1)+D_2(C_2)$ ，收端收 $D_1(C_1)$ ；
- ② 发端发 $D_1(C_1)+D_2(C_2)$ ，收端收 $D_2(C_2)$ 。

由单信道 DS-CDMA 通信实验可初步了解 DS-CDMA 通信原理，观察地址码 C_1 、 C_2 各自的自相关检测及互相关检测波形，为研究 2 信道 DS-CDMA 通信实验做准备。2 信道 DS-CDMA 通信实验可深入观测、了解 DS-CDMA 通信原理，了解时域、频域完全混叠的 DS-CDMA 多用户信号如何被分离，DS-CDMA 系统的多路逻辑信道是如何形成的。

四、实验步骤

(一) 单信道 DS-CDMA 通信

1. 设置综测仪为单信道 DS-CDMA 通信工作方式（按 K1 至 T/CDMA 灯亮，再按 K3 键），打开发射机 TX-BS（K6 置 ON，K7 置 BS，BS 测量面板 TX 灯亮），置内调制（K9 置 INT），综测仪内部组合成图 2-4 所示 DS-CDMA 通信系统，图中收发两端有关信号都已引到收发信机测试面板上，便于用示波器观测。

2. 反复按 K3 键，系统循环步进处于表 2-2 所示三种子工作方式之一。

表 2-2 单信道 DS-CDMA 通信子方式

子方式序号	T/CDMA 灯指示		子工作方式
	闪速	占空比	
1	2Hz	0.1	发 $D_1(C_1)$ ，收 $D_1(C_1)$
2	2Hz	0.5	发 $D_2(C_2)$ ，收 $D_2(C_2)$
3	2Hz	0.9	发 $D_2(C_2)$ ，收 $D_1(C_1)$

在子方式 1、2 中，收端地址码与发端地址码相同，则接收到发端数据；在子方式 3 中，收端地址码与发端不同，则接收不到发端数据。

3. 双踪示波器二个通道都设置为 DC、2V/DIV~5V/DIV；扫描速率 1ms/DIV~5ms/DIV；置外触发方式，外触发输入接至综测仪 MS 测量面板 TRI_A 端。

4. 从发端至收端顺着信号流向，测得三种子方式下系统各点信号波形分别见图 2-5、2-6、2-7(见本实验最后三页)。注意收端相关检测(相乘-积分)输出信号 D_{K2}：子方式 1、2 情况下，D_{K2} 分别为 C₁、C₂ 的自相关运算波形乘以对应的数据 D₁、D₂(+1/-1)，为正/负极性锯齿波；子方式 3 情况下，D_{K2} 为 C₁、C₂ 的互相关运算波形乘以数据 D₂(+1/-1)，在地址码序列周期即一个信码周期内进行相关运算，D_{K2} 开始为 0 电平(+2V)，然后上下起伏，最后时刻的相关运算值(即互相关函数值)仍为 0 电平(+2V)，又参见图 2-3。由此初步分析了解 DS-CDMA 通信原理。

5. 关断 TX-BS (K6 置 OFF, BS 测量面板 TX 灯灭)，再测量收端各点信号。

(二) 2 信道 DS-CDMA 通信

1. 设置综测仪为 2 信道 DS-CDMA 通信工作方式 (按 K1 至 T/CDMA 灯亮，再按 K4 键)，打开发射机 TX-BS (K6 置 ON, K7 置 BS, BS 测量面板 TX 灯亮)，置内调制 (K9 置 INT)，综测仪内部组合成图 2-4 所示 DS-CDMA 通信系统。

2. 反复按 K4 键，系统循环步进处于表 2-3 所示二种子工作方式这一。

表 2-3 2 信道 DS-CDMA 通信子方式

子方式序号	T/CDMA 灯指示		子工作方式
	闪速	占空比	
1	4Hz	0.1	发 D ₁ (C ₁)+D ₂ (C ₂)，收 D ₁ (C ₁)
2	4Hz	0.9	发 D ₁ (C ₁)+ D ₂ (C ₂)，收 D ₂ (C ₂)

二种子方式中，发端都是发送时域、频域混叠在一起的二路 DS-CDMA 数据。子方式 1 中，收端地址码 C_i 为 C₁，经相关检测从混叠的扩频信码中分离出本地地址的信码 D₁；子方式 2 中，收端地址码 C_i 为 C₂，则收到信码 D₂。

3. 双踪示波器的设置同 (一) 3。

4. 顺着信号流向测量并用坐标纸记录二种子方式下系统发端 D₁、C₁、D_{E1}、D₂、C₂、D_{E2}、D_{EX} 至收端 AF₀、D_{K1}、D_{K2}、CLK(上升沿有效)、D_K 各点信号波形，注意比较发端扩频调制(异或门)、收端解扩(相乘器)及相关检测(相乘-积分)输入/输出波形，比较发端及收端数据。特别注意收端相关检测输出信号 D_{K2} 是本实验步骤四 (一) 中 1 个地址码自相关运

算波形(线性上升/下降的锯齿波形)及 2 个地址码互相关运算波形(围绕着参考电平上下起伏的波形)的线性叠加。由于采样时刻互相关函数值为 0, 因而对采样值没有影响, 不存在多址干扰。由 2 信道 DS-CDMA 通信进一步分析了解 DS-CDMA 通信原理。

5. 关断 TX-BS (K6 置 OFF, BS 测量面板 TX 灯灭), 再测量收端各点信号。

五、实验报告内容

1. 整理实验记录, 在坐标纸上画出 2 信道 DS-CDMA 通信系统二种子工作方式下发端 D_1 、 C_1 、 D_{E1} 、 D_2 、 C_2 、 D_{E2} 、 D_{EX} 及收端 AF_0 、 D_{K1} 、 D_{K2} 、CLK(上升沿有效)、 D_K 各点波形, 分析同一载频上的二个 DS-CDMA 逻辑信道是如何形成的, 总结 DS-CDMA 通信工作原理。

2. 比较单信道 DS-CDMA 通信系统及 2 信道 DS-CDMA 通信系统收端相关检测输出波形, 对照式 (2-6) ~ (2-10), 回答 2 信道 DS-CDMA 通信系统收端线性模拟乘法器能用非线性的异和门代替吗?

3. 回答关断发射机后, 收端还能收到信号吗?

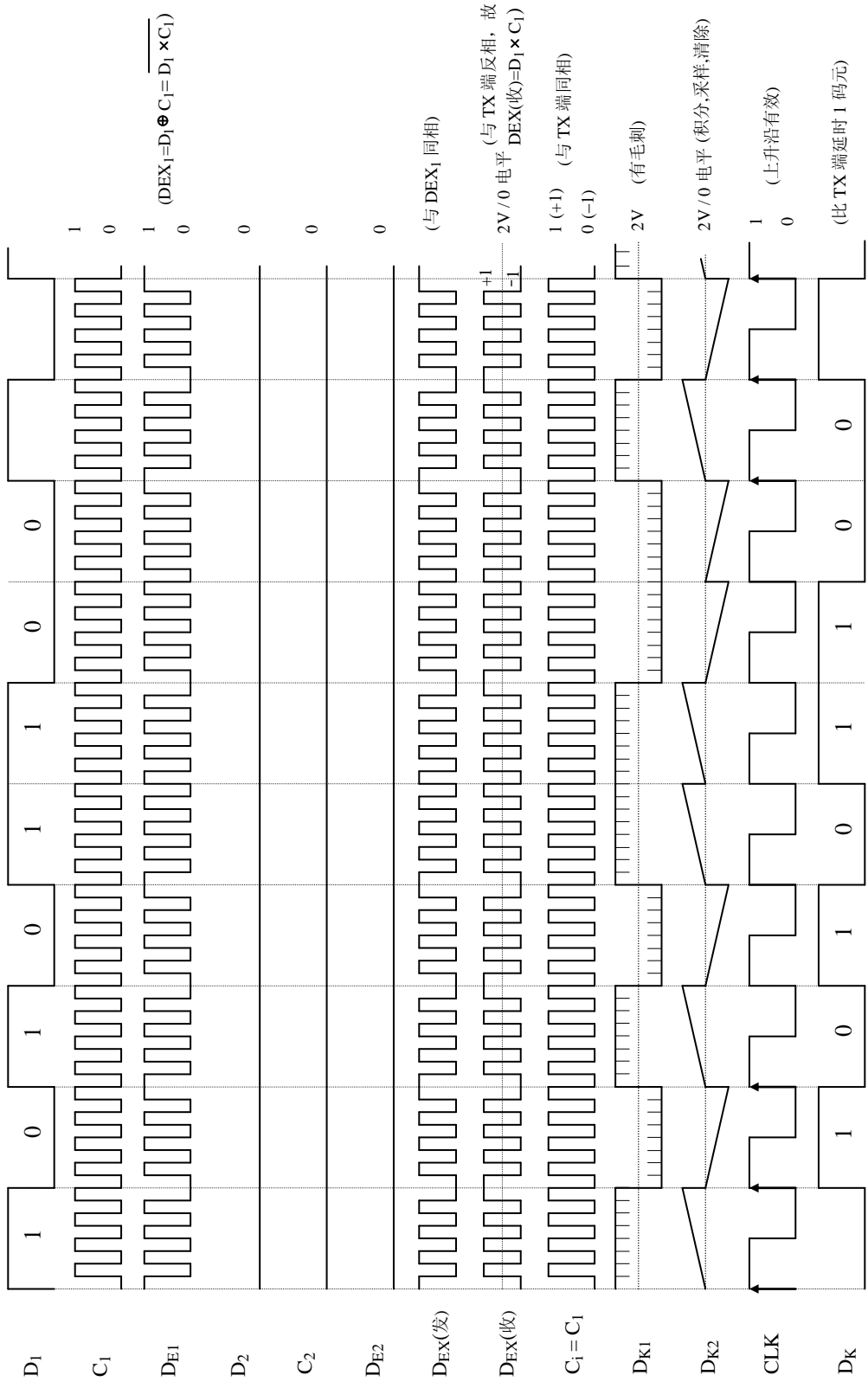


图 2-5 单信道 DS-SS-CDMA 通信号子方式 1 各点波形

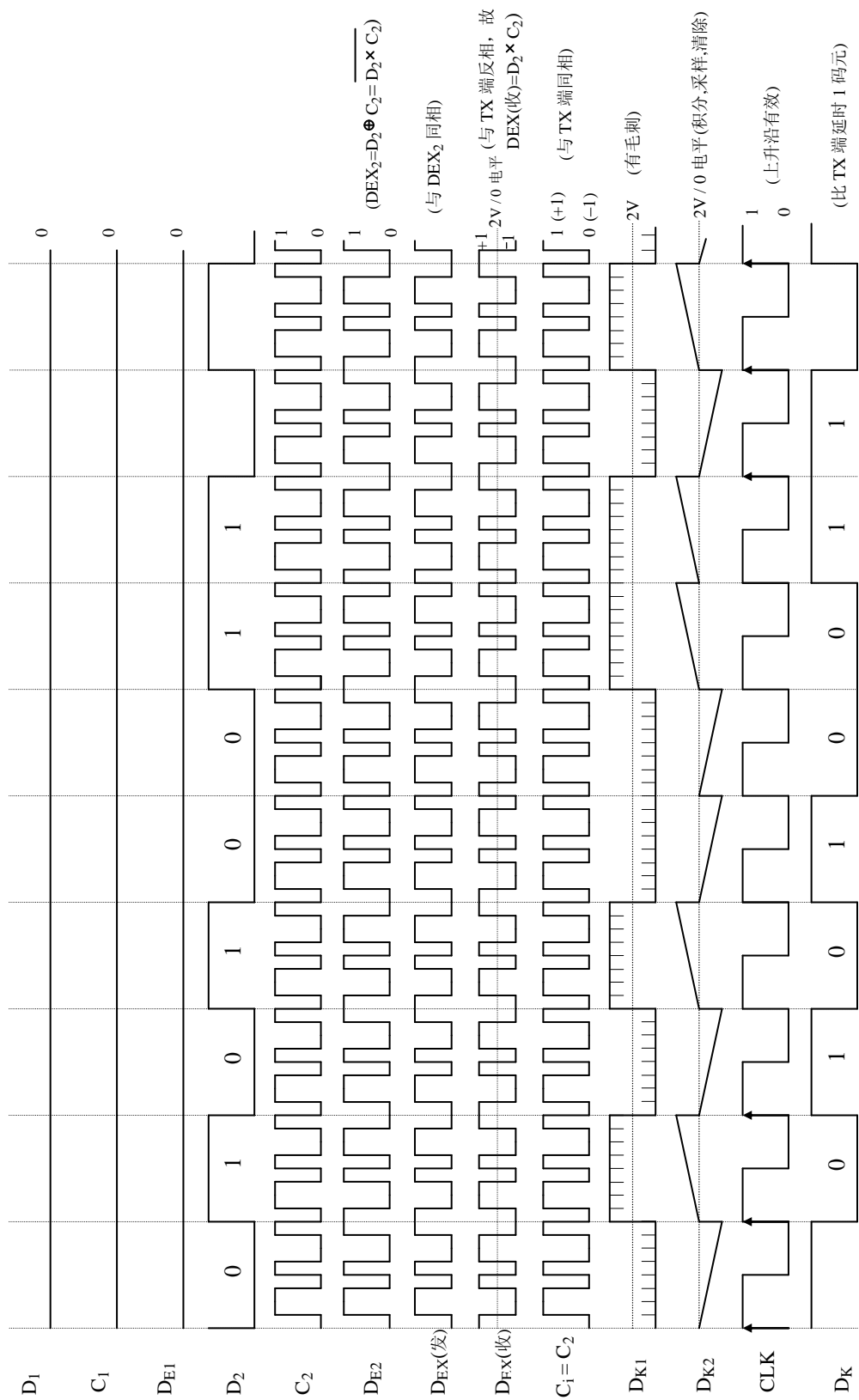


图 2-6 单信道 DS-SS-CDMA 通信子方式 2 各点波形

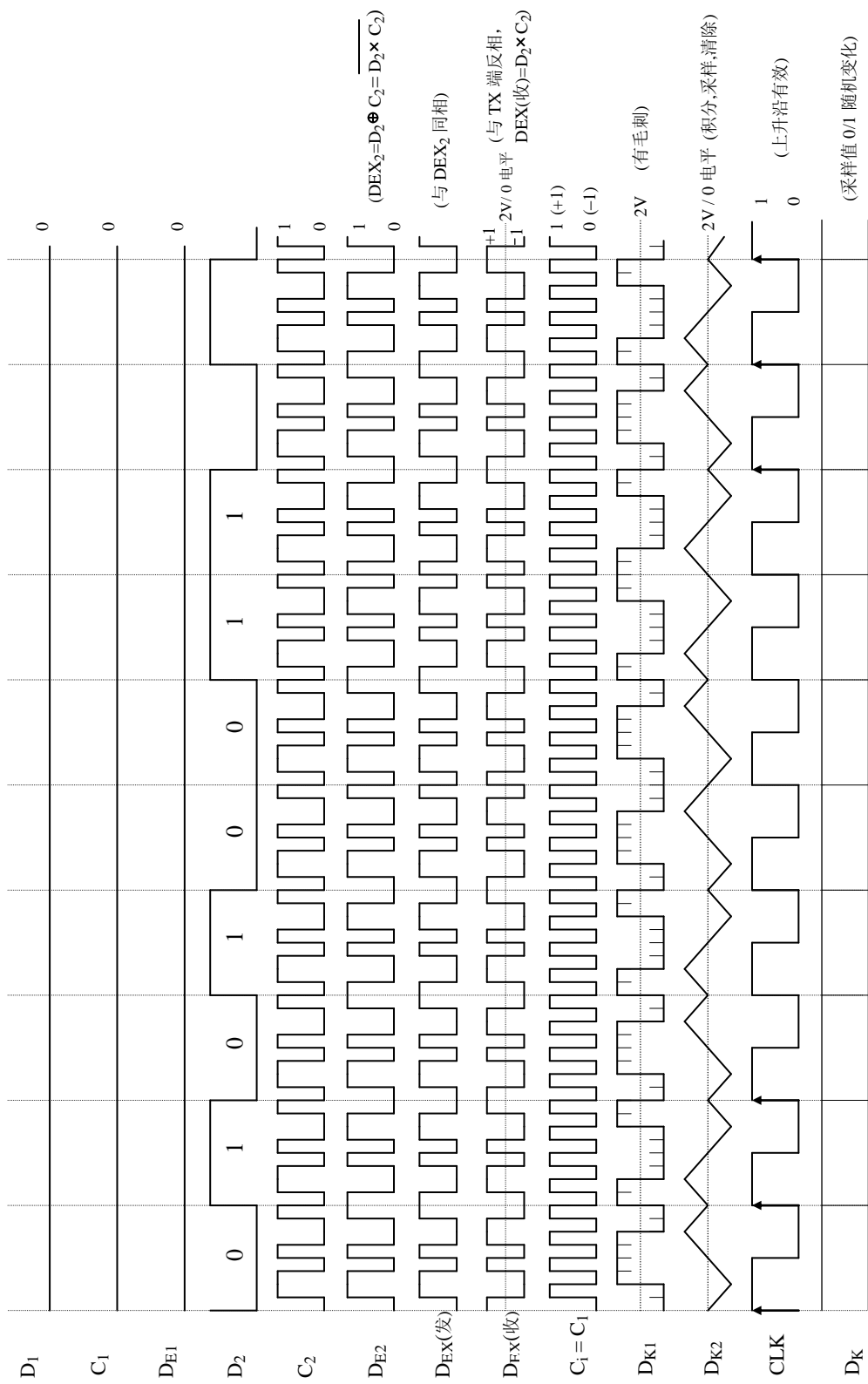


图 2-7 单信道 DS-SS-CDMA 通信号子方式 3 各点波形

实验三 DS/FH（直扩加跳频）混合多址技术

一、实验目的

了解 DS/FH（直扩加跳频）混合多址移动通信原理。

二、实验内容

测量 DS/FH 混合多址移动通信实验系统各点信号波形及数据，分析、了解 DS/FH 混合多址通信工作原理。

三、基本原理

DS/FH（直扩加跳频）混合多址通信系统采用一组 N 个正交地址码序列，在一对双工载频上可形成 N 个 DS-CDMA 逻辑信道，而载频又按 FH-CDMA 方式采用一组 M 个正交跳频序列中的某一序列随机跳频，共形成 $N \times M$ 个逻辑信道，按需要动态分配给用户使用。

DS/FH 混合多址综合了 DS-CDMA 及 FH-CDMA 的特点，具有极强的抗干扰及抗多径衰落能力，所付出的代价是同步电路较复杂。

图 3-1 是 DS/FH 混合多址移动通信实验系统框图。TX-BS 为系统基站 BS 的发射机，

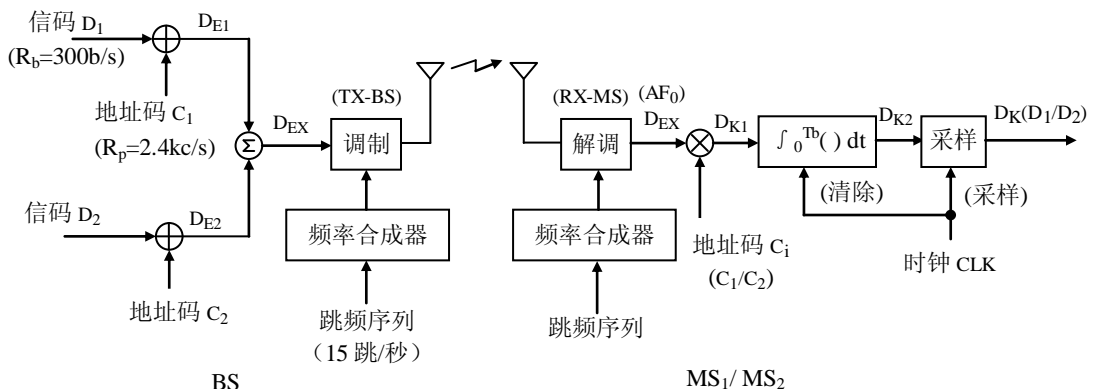


图 3-1 DS/FH 混合多址移动通信实验系统

收端 RX-MS 通过切换本地地址码 C_i 为 C_1/C_2 模拟二个移动台 MS_1/MS_2 接收机。信码 D_1 、 D_2 及地址码 C_1 、 C_2 的设置同实验六，即 $D_1=10101100\dots$ （周期循环）， $D_2=01010011\dots$ （周期循环）， $C_1=W_1^8=01010101$ ， $C_2=W_7^8=01101001$ 。跳频序列的设置同实验五。

当收发两端按同一 PN 序列同步跳频时（同地址同步 FH-CDMA 方式），收端就能收到两路直扩数据中的某一路 D_1 或 D_2 ($c_i=c_1$ 或 c_2)；当收发两端按不同 PN 序列跳频时（不同地

址 FH-CDMA 方式), 收端收不到发端数据。

四、实验步骤

1. 设置综测仪为 DS/FH 混合多址工作方式 (按 K1 至 HYMA 灯亮, 再按 K4 键), 打开发射机 TX-BS (K6 置 ON, K7 置 BS, BS 测量面板 TX 灯亮), 置内调制 (K9 置 INT), 综测仪内部组合成图 3-1 所示 DS/FH 混合多址通信系统。

2. 反复按 K4 键, 系统循环步进处于表 3-1 所示三种子工作方式之一。

表 3-1 DS/FH 混合多址通信子方式

子方式序号	HYMA 灯指示		子工作方式
	闪速	占空比	
1	4Hz	0.1	发 $D_1(C_1)+D_2(C_2)$, 同地址同步 FH, 收 $D_1(C_1)$
2	4Hz	0.5	发 $D_1(C_1)+D_2(C_2)$, 同地址同步 FH, 收 $D_2(C_2)$
3	4Hz	0.9	发 $D_1(C_1)+D_2(C_2)$, 不同地址 FH, 收 $D_1(C_1)$

3. 双踪示波器二个通道都设置为 DC、2V/DIV~5V/DIV; 扫描速率 2ms/DIV~5ms/DIV; 外触发方式, 外触发输入接至综测仪 MS 测量面板 TRI_A 端。

4. 顺着信号流向测量并用座标纸记录三种子方式下系统发端 D_1 、 C_1 、 D_{E1} 、 D_2 、 C_2 、 D_{E2} 、 D_{EX} 及收端 AF_0 、 C_i 、 D_{K1} 、 D_{K2} 、CLK(上升沿有效)、 D_K 波形, 分析、了解 DS/FH 混合多址通信原理。

5. 关断 TX-BS (K6 置 OFF, BS 测量面板 TX 灯灭), 再测量收端各点信号。

五、实验报告内容

整理实验记录, 分别画出系统在三种工作方式下发端 D_1 、 C_1 、 D_{E1} 、 D_2 、 C_2 、 D_{E2} 、 D_{EX} 及收端 AF_0 、 C_i 、 D_{K1} 、 D_{K2} 、CLK(上升沿有效)、 D_K 波形, 分析、总结 DS/FH 混合多址移动通信工作原理。

实验四 TD/FH（时分加跳频）混合多址技术

一、实验目的

了解 TDMA 多址技术和 TD/FH（时分加跳频）混合多址移动通信原理。

二、实验内容

测量 TD/FH 混合多址移动通信实验系统收发两端各点信号波形及数据，分析、了解 TD/FH 混合多址移动通信工作原理。

三、基本原理

1. 时分多址 TDMA 技术的基本原理

时分多址 TDMA (Time Division Multiple Access) 是把时间分割成周期性的帧，每一帧再分割成若干个时隙，1 个时隙就是一个 TDMA 信道，按需要动态分配给用户使用。在频分双工 (FDD) 方式中，上行链路 (MS→BS) 和下行链路 (BS→MS) 的帧分别占用具有足够间隔 (双工频率间隔) 的不同频率。在时分双工 (TDD) 方式中，上下行帧交错排列在相同载频上。

为保证在不同传播时延情况下，各移动台到达基站的信号不重叠，采取了以下二个措施：

(1) 移动台受基站控制，动态调整所占用的上行时隙发送时刻的提前量，补偿电磁波从移动台至基站的传播时延。

(2) 移动台上行时隙起始和结束位置留有保护间隔，在该间隔内不传送信号。

下行时隙由基站统一安排，不会重叠。

图 3-1 为两信道 (两个时隙 TS_1 、 TS_2) TDMA 移动通信实验系统框图。发端 TX-BS 为系统基站 BS 的发射机，两个时隙 TS_1 及 TS_2 的数据 d_1 及 d_2 复接成帧数据 D_1 ， $d_1=1010\dots$

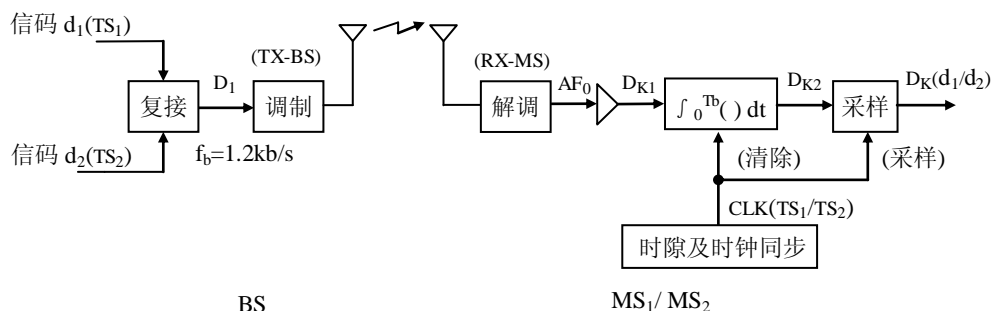


图 3-1 TDMA 移动通信实验系统

(每时隙 4bit, 周期循环), $d_2=1100\dots$ (每时隙 4bit, 周期循环), 则 $D_1=10101100\dots$ (每帧 8bit, 2 个时隙, 周期循环), 码速率 $f_b=1.2\text{kb/s}$ 。 D_1 经 FSK 载波调制后发送给移动台。收端 RX-MS 载波 FSK 解调后的基带信号经整形、积分/采样, 以最低误码率恢复发端数据。时隙及时钟同步电路送出某个时隙的同步时钟 CLK, 取出本移动台给定时隙的数据。通过切换本地时钟的时隙为 TS_1 或 TS_2 , 模拟二个 TDMA 移动台 MS_1/MS_2 的接收机, 分别接收 TS_1 的数据 d_1 或 TS_2 的数据 d_2 。

2. TD/FH 混合多址技术的基本原理

TDMA 系统收发信机按 FH-CDMA 方式随机跳频就构成 TD/FH 混合多址通信系统。

TD/FH 混合多址移动通信实验系统如图 3-2 所示。系统 TDMA 方式包含二个时隙 TS_1 及 TS_2 (二个 TDMA 信道); 跳频序列的设置同实验一。TX-BS 为系统基站 BS 的发射机, 收端 RX-MS 通过切换时钟 CLK 为 TS_1/TS_2 时钟, 分别接收 TS_1/TS_2 信息数据 d_1/d_2 , 模拟二个移动台 MS_1/MS_2 的接收机。其中, $d_1=1010\dots$ (每时隙 4bit, 周期循环), $d_2=1100\dots$ (每时隙 4bit, 周期循环), $D_1=10101100\dots$ (每帧 8bit, 2 个时隙, 周期循环)。

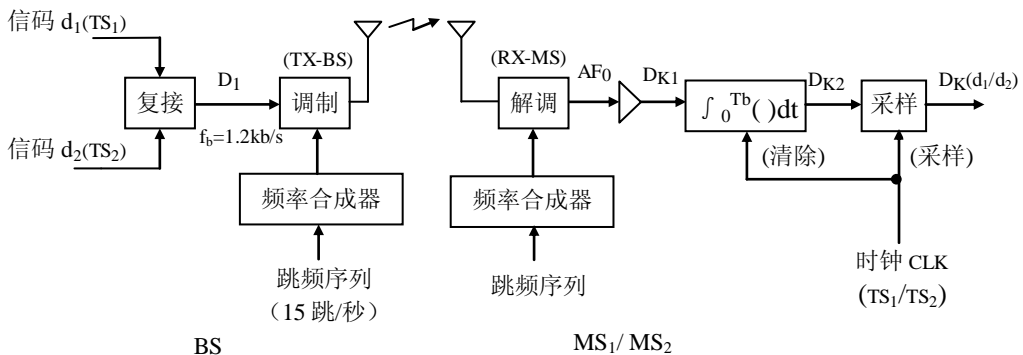


图 3-2 TD/FH 混合多址移动通信实验系统

四、实验步骤

1. 设置综测仪为 TD/FH 混合多址工作方式 (按 K1 至 HYMA 灯亮, 再按 K3 键), 打开发射机 TX-BS (K6 置 ON, K7 置 BS, BS 测量面板 TX 灯亮), 置内调制 (K9 置 INT), 综测仪内部组合成图 3-2 所示 TD/FH 混合多址移动通信系统。

2. 反复按 K3 键, 系统循环步进处于表 3-2 所示三种子工作方式之一。

表 3-2 TD/FH 混合多址移动通信子方式

子方式序号	HYMA 灯指示		子工作方式
	闪速	占空比	
1	2Hz	0.1	发 D_1 , 同地址同步 FH, 收 D_1 的 $TS_1(d_1)$
2	2Hz	0.5	发 D_1 , 同地址同步 FH, 收 D_1 的 $TS_2(d_2)$
3	2Hz	0.9	发 D_1 , 不同地址 FH, 收 D_1 的 $TS_1(d_1)$

3. 双踪示波器二个通道都设置为 DC、2V/DIV~5V/DIV; 扫描速率 1ms/DIV~5ms/DIV; 外触发方式, 外触发输入接至综测仪 MS 测量面板 TRI_A 端。

4. 顺着信号流向测量并用坐标纸记录三种子方式下系统发端 D_1 及收端 AF_0 、 D_{K1} 、 D_{K2} 、CLK、 D_K 波形及数据(其中收端某时隙的数据 D_K 要对比本地时钟 CLK (上升沿有效) 来读取), 分析、了解 TD/FH 混合多址移动通信原理。

5. 关断 TX-BS (K6 置 OFF, BS 测量面板 TX 灯灭), 再测量收端各点信号。

五、实验报告内容

1. 整理实验记录, 分别画出三种子方式下系统发端 D_1 及收端 AF_0 、 D_{K1} 、 D_{K2} 、CLK (上升沿有效)、 D_K 波形, 分析、总结 TD/FH 混合多址移动通信工作原理。

2. 试回答, 若 TD/FH 混合多址移动通信系统中, TDMA 方式每帧包含 N 个时隙, FH-CDMA 方式包含 M 个正交跳频序列, 系统总共包含多少个信道。

附录 1 无绳电话标准、原理及手机使用方法

1. 中国 CT1 无绳电话技术标准

我国信息产业部制定的 CT1 无绳电话技术标准如附录 1 表 1 所示。

附录 1 表 1 中国 CT1 无绳电话技术标准

频率范围	45.000~45.475MHz 48.000~48.475MHz
频道数	20 个双工频道, 见附录 1 表 2
频道间隔	25KHz
发射功率	小于 20mW
最大频偏	5KHz
发射的必要带宽	16KHz
频率容限	不大于 1.8KHz
通带衰耗	在离中心频率±12.5KHz 应大于 40dB
杂散发射功率	不大于 25μW

附录 1 表 2 中国 CT1 无绳电话频率表

频道(CH)	座机发射(手机接收)频率(MHz)	座机接收(手机发射)频率(MHz)
1	45.000	48.000
2	45.025	48.025
3	45.050	48.050
4	45.075	48.075
5	45.100	48.100
6	45.125	48.125
7	45.150	48.150
8	45.175	48.175
9	45.200	48.200
10	45.225	48.225
11	45.250	48.250
12	45.275	48.275
13	45.300	48.300
14	45.325	48.325
15	45.350	48.350
16	45.375	48.375
17	45.400	48.400
18	45.425	48.425
19	45.500	48.450
20	45.475	48.475

注: CH1~CH10 于 1998 年增补

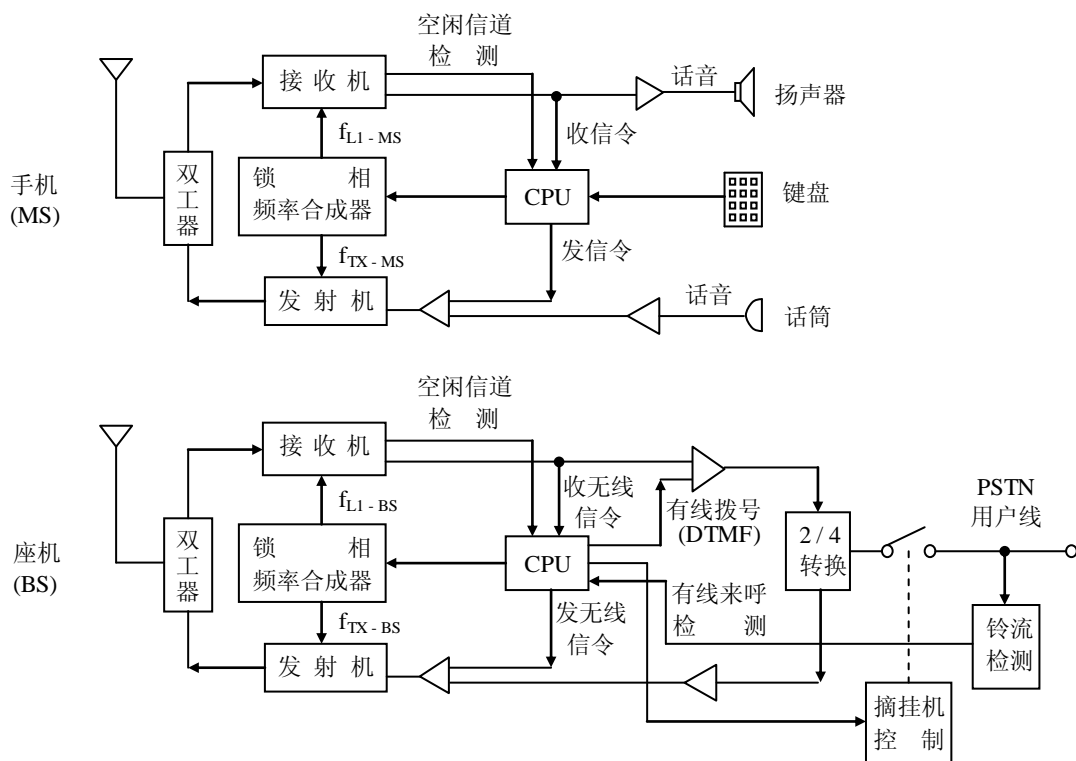
2.无绳电话工作原理

无绳电话是模拟调频移动通信系统，有单信道系统和多信道系统两类。早期的单信道系统固定工作于某一频道，没采用微处理器及锁相频率合成技术，很容易发生相邻无绳电话之间窜扰或盗打。多信道系统采用微处理器及锁相频率合成技术，共用 20 个频道，自动选取空闲信道通话；无线信令为数字信令，其中包含 16 位以上识别码（ID 码），各无绳电话各不相同，只有 ID 码相同的座机与手机才能建立无线信道。以上两项技术可有效消除单信道系统的窜扰及盗打问题。目前，单信道无绳电话已退出市场，10 信道无绳电话已不再生产，20 信道多功能无绳电话成为市场主流产品。

附录 1 图 1 为多信道共用无绳电话系统原理方框图，其详细电路及原理见各实验。

无绳电话限制了发射功率（见附录 1 表 1），即限制了覆盖范围。在覆盖范围外频率可再用，有效增大了用户容量，这与蜂窝网的频率再用原理相同。

移动通信系统常用的多信道共用、空闲信道选取方式有以下四种：①、专用控制信道方式（专用呼叫信道方式）；②、循环定位方式；③、循环不定位方式；④、循环分散定位方式。无绳电话的多信道是一个小区（所研究的无绳电话发射信号覆盖范围所自然形成的小区域）内所有无绳电话共用。然而，与其它移动通信系统不同，CT1 无绳电话小区内无统一的基站，采用循环定位方式及循环分散定位方式时，已挂机的无绳电话也要占用一个信道发示闲音，一个小区最多只能容纳 20 部无绳电话，容量太小，不能采用。实际能采用的



附录 1 图 1 多信道共用无绳电话系统

只有上述①、③两种方式。专用控制信道方式虽然呼叫接续可靠性（不受干扰）不及循环不定位方式，但由于它接续速度快，所以在无绳电话系统中应用更多一些。

专用控制信道方式无绳电话系统在挂机状态下座机及手机都守候在自己的专用控制信道上，座机还时分扫描其它 19 个通话信道，检测并记录其中的空闲信道。当手机主呼或被呼时，座机通过控制信道给手机指定一个空闲通话信道，然后座机和手机由控制信道转移到该通话信道。在后续的拨号（手机主呼时）及通话过程中一直占用该通话信道，直至挂机返回控制信道守候。

3. 无绳电话手机使用方法（要点）

（1）摘机

手机已挂机时按“通话”键即摘机。若是主呼摘机，则可听见拨号音；若是被呼摘机，则可与对方通话。

（2）挂机

手机通话时按“通话”键或将手机放回充电器即挂机。

（3）拨号

①. 常规拨号：与一般有线电话一样，手机在摘机后，按数字键拨号。

②. 预拨号：与蜂窝网手机一样，手机在摘机前按数字键拨完全部号码，然后再按“通话”键摘机，手机自动检测到拨号音后将全部号码发出。

（4）闪断

打完一次电话后想继续打第二个电话，不必按“通话”键挂机，再按“通话”摘机。可按“闪断”键由手机自动完成以上操作，用户听见拨号音后再拨号或按“重拨”键重发上次号码。

（5）切换通话频道

在通话状态下，若感觉到频道上有干扰，可按“频道”键启动无绳电话系统自动切换到一新的空闲信道继续通话。

（6）对 ID 码及呼叫信道

详见实验四。

4. 无绳电话手机使用注意事项

无绳电话手机使用镉镍可充电电池供电，镉镍电池的使用寿命与其工作方式关系极大，使用中要切切注意以下几点：

（1）镉镍电池的一次过放电就会造成永久损坏，不能再使用。故做完实验后一定要拔下电池，待下次做实验时再插上电池。

（2）手机插上电池后，每次通话完毕都要将手机放回充电器充电，充电器红灯亮。

（3）手机第一次使用或长期未用时再使用，应首先连续充电 16 小时以上。

附录 2 双路无线综合测试仪原理及使用方法

图 A-1 为双路无线综合测试仪（以下简称综测仪）电路方框图，它包括以下几大部分：

- (1) BS（基站）测量收发信机 TRX-BS。
- (2) MS（移动台）测量收发信机 TRX-MS。
- (3) CPU 控制及收发信机工作频道及接收频率显示。
- (4) 数字信令存贮显示模块。
- (5) 1KHz/600Hz 音频信号发生器。

为测量及操作方便，将各部分电路的输入及输出信号、控制开关及控制键串联保护电阻后集中引出到各自的面板上。如图 A-2 综测仪电路板布局图所示，各面板详细内容见图 A-3 至图 A-8。

下面对照图 A-1 至图 A-8 介绍综测仪原理及使用方法。

1. 综测仪工作原理

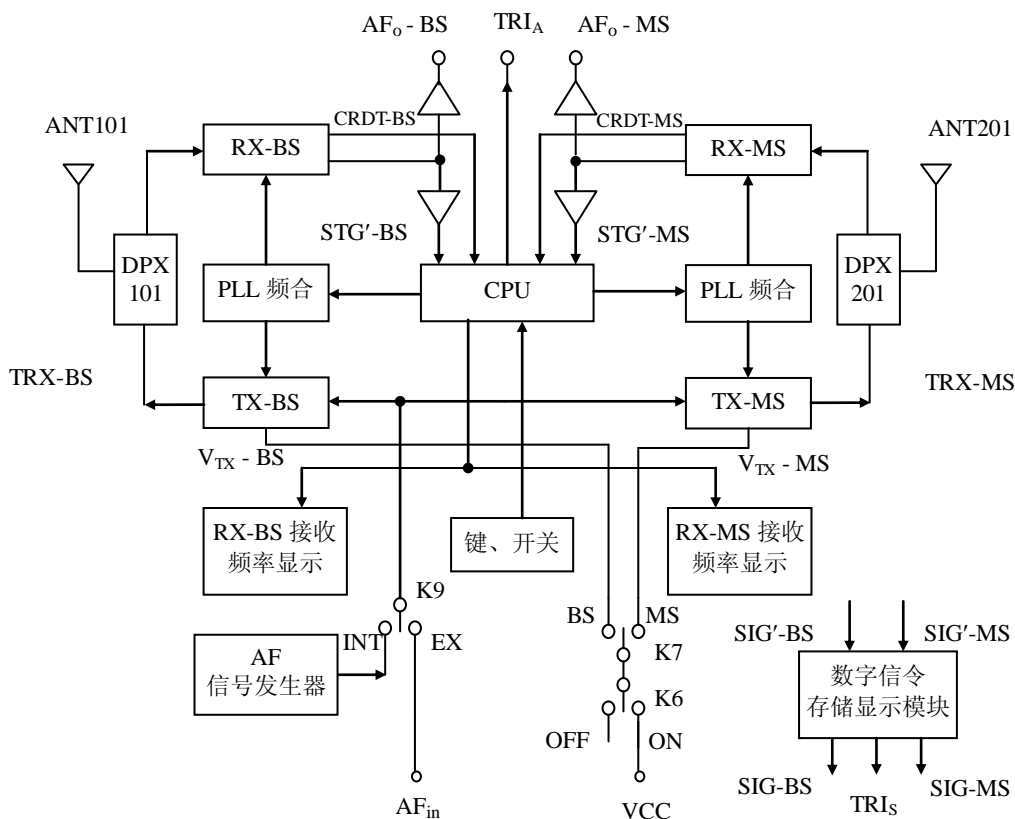
BS 测量收发信机 TRX-BS 对无绳电话座机 BS 的收发信机进行测量，两者的收、发频率互补，即 BS 测量收发信机工作在无绳电话手机 MS 的收发频率上（见附录 1 表 2）。同理，MS 测量收发信机 TRX-MS 工作在无绳电话座机 BS 的收发频率上（见附录 1 表 2）。

BS 测量接收机 RX-BS 及 MS 测量接收机 RX-MS 分别接收无绳电话座机 BS 及无绳电话手机 MS 发射在空中的高频信号，经解调及 CPU 处理后输出音频信号 AF₀。（包括语音及 FSK 一次调制数字信令），显示无绳电话工作频道及发射频率。AF₀ 中经整形后的信令 SIG' 送给 CPU，由 CPU 检测信令数据、分析信令内容，据此控制测量收发信机与处于呼叫接续过程中的无绳电话同步转移信道，跟踪测量无绳电话信令、工作频道及发射频率，了解无线数字信令及多信道共用方式等移动通信系统的重要技术。

数字信令是单次的突发数据串，为非周期信号。在接收机解调直接输出 AF₀ 端，必须用数字存贮示波器才能观测到稳定的数字信令波形，分析出每位数据。为了方便大家用普通示波器观测，将数字存贮示波器的数字存贮显示功能模块做在了综测仪中。该电路模块将信令存贮后，再周期循环送出，就可以用普通示波器进行观测。

测量发射机的音频调制信号可来自外部音频信号发生器，也可来自内部音频信号发生器。内部音频信号幅度由电位器 AMP 调整。二台测量接收机的鉴频灵敏度一致性及线性较好，在输入射频信号的调制频率为 1KHz、调制频偏为 3KHz 时，鉴频输出 1KHz 音频信号幅度为 3V_{p-p}（在 AF₀ 端测量），因此可作为频偏仪使用。测量发射机的测量功能详见各实验。

综测仪除了作为测量仪器外，又可作为被测试对象，可设置成 FH-CDMA、DS-CDMA、TDMA 及各种混合多址移动通信系统，测量和了解这些多址方式工作原理。又可对其测量收发信机的各部件进行测量，了解移动通信设备中的接收机、发时机、双工器及锁相频率合成器的电路、功能及主要性能指标。



电路缩写:

TRX-BS : BS 测量收发信机
 RX-BS : BS 测量接收机
 TX-BS : BS 测量发射机
 DPX : 双工器
 ANT : 天线
 TRX-MS : MS 测量收发信机
 RX-MS : MS 测量接收机
 TX-MS : MS 测量发射机
 PLL 频合 : 锁相频率合成器

其它缩写:

AF₀ : 输出音频
 AF_{in} : 输入音频
 SIG : 接收信令
 V_{TX} : 发射机电源
 CRDT : 接收载波检测
 TRI_A : AF₀ 中信令及其它数字信号显示触发信号
 TRI_S : 存储信令显示触发信号

图 A-1 双路无线综合测试仪电路框图

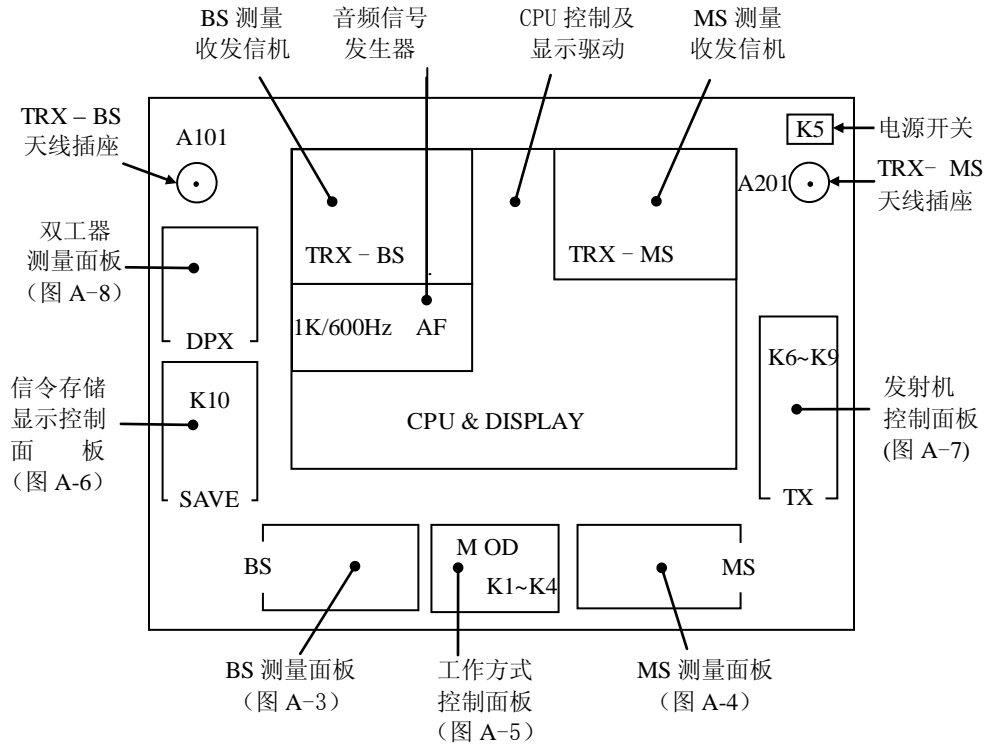


图 A-2 综测仪电路板布局图

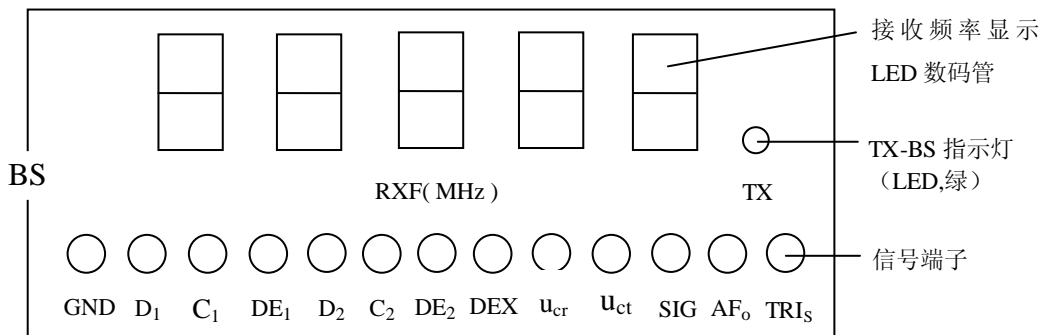


图 A-3 BS 测量面板

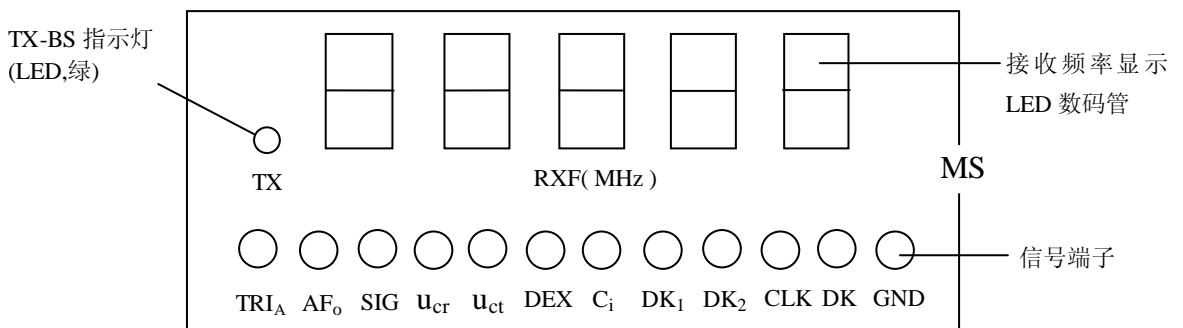


图 A-4 MS 测量面板

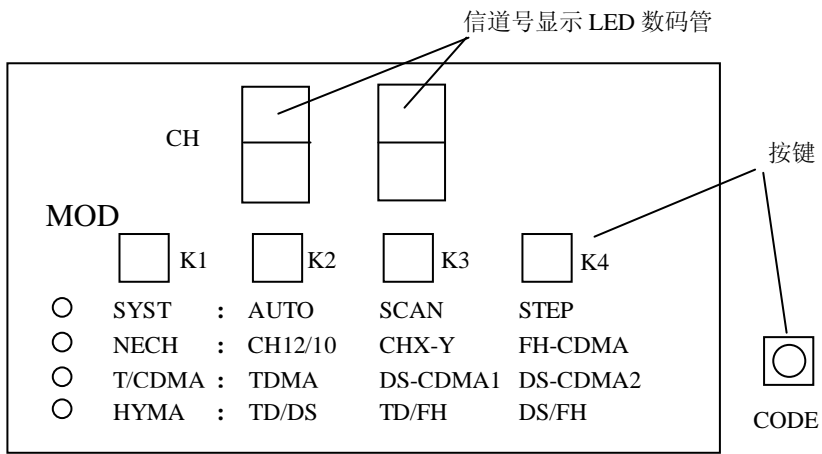


图 A-5 工作方式控制面板

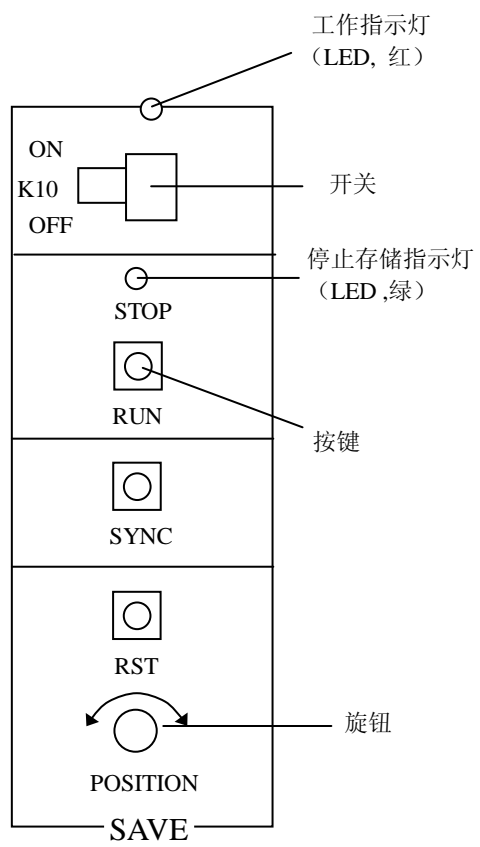


图 A-6 信令存储显示控制面板

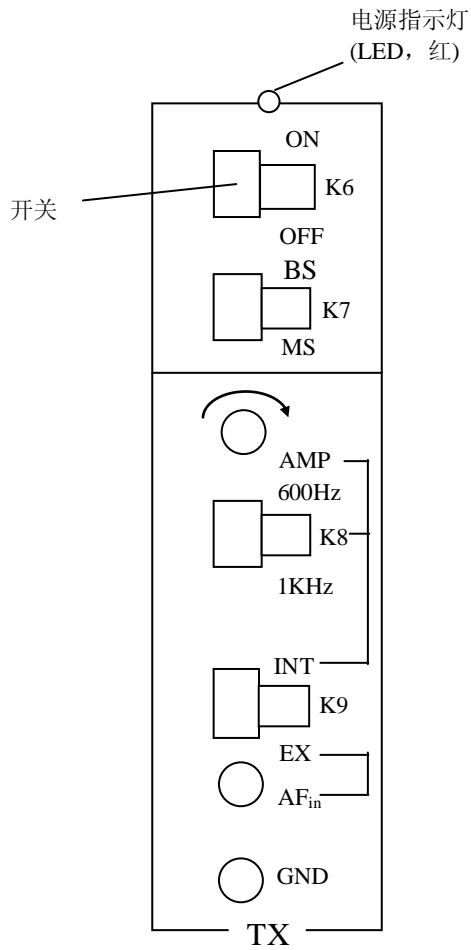


图 A-7 发射机控制面板

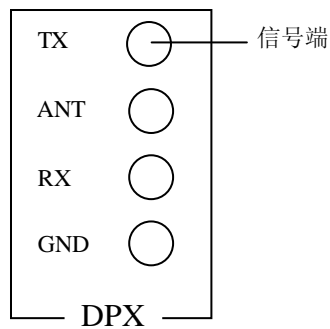


图 A-8 双工器测量面板

二台综测仪联机工作，可测量移动通信系统组网干扰，包括同频干扰、邻道干扰及互调干扰。

总之，双路无线综合测试仪是用于移动通信教学实验系统的多功能测量仪器和被测量设备，是实验系统的核心仪器。由于它自带如下多种设备：

- (1) 稳压电源；
- (2) 音频信号源；
- (3) 高频信号源；
- (4) 数字频率计；
- (5) 数字存贮示波器功能模块，

使完成实验所需测量仪器减少到最低限度，除测量发射机锁相频合调制频率特性需要一台音频信号发生器（或函数信号发生器）外，其它所有实验用一台 20MHz 模拟双踪示波器即可完成。

2. 综测仪各面板功能及使用方法

2.1 K5（图 A-2）：综测仪电源开关

2.2 BS 测量面板（图 A-3）及 MS 测量面板（图 A-4）

这二个测量面板上分别输出 BS 测量收发信机 TRX-BS 及 MS 测量收发信机 TRX-MS 作为测量仪器或被测量对象时得到的信号或信息：

(1) AF_o ：测量接收机解调后直接输出的音频信号，包括语音及 FSK 一次调制数字信令。

(2) TRI_A ：用数字存贮示波器在 AF_o 端观测信令或用普通示波器观测数字通信系统数字信号时，送给示波器的外触发信号（上升沿触发）。

(3) RXF (MHz)：5 位数码管。若测量接收机在当前工作频道上收到射频信号，则显示其额定频率（以 MHz 为单位）；否则无显示。

(4) SIG ：由信令存贮显示模块存贮后，再周期循环送出的信令，便于用普通示波器观测。

(5) TRI_S ：用普通示波器观测存贮信令时，送给示波器的外触发信号（上升沿触发）。

(6) u_{cr} 及 u_{ct} ：锁相频合 VCO 控制电压。 u_{cr} 为测量接收机一本振锁相频合 VCO 控制电压。 u_{ct} 为测量发射机锁相频合 VCO 控制电压。用来测量锁相频合的一些性能。

(7) TX 指示灯（LED，绿）：测量发射机开/关指示灯，发射机开，灯亮；发射机关，灯灭。

(8) D_1 、 D_2 、 C_1 、 C_2 、 D_{EX} 、 C_i 、CLK 等为数字移动通信实验信号测量端，详见实验十~十五。

2.2 综测仪工作方式控制面板（图 A-5）

这是综测仪最重要的控制面板，控制整个综测仪的工作方式，如表 A-1 所示。

表 A-1 综测仪工作方式及其控制

K1 ^[1]	K2~k4	LED 灯指示		工作方式	
		闪速	占空比		
SYST: 系统测量	K2	常亮	1	AUTO:自动跟踪测量无绳电话工作频道	
	K3	1Hz	0.5	SCAN:扫描无绳电话通话频道	
	K4	1Hz	0.5	STEP:手动步进综测仪工作频道	
NECH: 邻频道方式	K2	常亮	1	CH12/10:互调干扰测量方式, TRX-BS 工作于 CH12, TRX-MS 工作于 CH10	
				0.1	CHX-Y 方式 1: CH1-CH11 频道切换
	K3	2Hz	0.9	CHX-Y 方式 2: CH1-CH2 频道切换	
				0.1	FH-CDMA 方式 1: 同地址 FH-CDMA
				0.9	FH-CDMA 方式 2: 不同地址 FH-CDMA
T/CDMA: TDMA 及 DS-CDMA 多 址方式	K2	1Hz	0.1	TDMA 方式 1: 发 D1(TS1+TS2),收 d1(TS1)	
			0.9	TDMA 方式 2: 发 D1(TS1+TS2),收 d2(TS2)	
	K3	2Hz	0.1	DS-CDMA1 方式 1: 发 D1(C1),收 D1(C1)	
			0.5	DS-CDMA1 方式 2: 发 D2(C2),收 D2(C2)	
			0.9	DS-CDMA1 方式 3: 发 D2(C2),收 D1(C1)	
	K4	4Hz	0.1	DS-CDMA2 方式 1: 发 D1(C1)+D2(C2),收 D1(C1)	
			0.9	DS-CDMA2 方式 2: 发 D1(C1)+D2(C2),收 D2(C2)	
			0.1	TD/DS 方式 1: 发 D1(C1)+D2(C2),收 D1(C1)的 TS1(d1)	
HYMA: 混合多址 方式	K2	1Hz	0.3	TD/DS 方式 2: 发 D1(C1)+D2(C2),收 D1(C1)的 TS2(d2)	
			0.6	TD/DS 方式 3: 发 D1(C1)+D2(C2),收 D2(C2)的 TS1(d3)	
			0.9	TD/DS 方式 4: 发 D1(C1)+D2(C2),收 D2(C2)的 TS2(d4)	
			0.1	TD/FH 方式 1: 发 D1,同地址 FH,收 D1 的 TS1(d1)	
	K3	2Hz	0.5	TD/FH 方式 2: 发 D1,同地址 FH,收 D1 的 TS2(d2)	
			0.9	TD/FH 方式 3: 发 D1,不同地址 FH,收 D1 的 TS1(d1)	
			0.1	DS/FH 方式 1: 发 D1(C1)+D2(C2),同地址 FH,收 D1(C1)	
	K4	4Hz	0.5	DS/FH 方式 2: 发 D1(C1)+D2(C2),同地址 FH,收 D2(C2)	
			0.9	DS/FH 方式 3: 发 D1(C1)+D2(C2),不同地址 FH,收 D1(C1)	

注：[1]。25 种工作方式由按键 K1~K4 选择，K1 为主菜单选择键，K2-K4 为子菜单选择键。某按键对应多种工作方式时，反复按该键则工作方式循环步进切换。

[2]。FH-CDMA,DS-CDMA, TDMA 及它们的混合多址方式中，传输的是信息数据，发端为 TX-BS, 收端为 RX-MS。

2.4 发射机控制面板（图 A-7）

测量接收机开机后一直通电工作，而测量发射机是根据测量需要通电或断电（详见各实验），并且同一时刻最多只有一台发射机通电工作，以免造成干扰。

(1) 开关 K6: 发射机电源开关。拨到通电 (ON) 位置, 发射机通电, 控制面板上方电源指示灯 (LED, 红) 亮; 拨到断电 (OFF) 位置, 发射机断电, 指示灯灭。

(2) 开关 K7: BS/MS 测量发射机选择开关。在 K6 接通发射机电源后, K7 置 BS 位置, 则 BS 测量发射机通电工作, BS 测量面板上 TX 灯亮, 与此同时, MS 测量发射机断电, MS 测量面板上 TX 灯灭; K2 拨到 MS 位置, 情况与上面相反。

(3) 开关 K9: 发射机调制音频信号选择开关。K9 置内部 (INT) 位置, 选择内部的音频信号; 拨到外部 (EX) 位置, 选择外部音频信号发生器由 AF_{in} 端送入的音频信号。

(4) 开关 K8: 内部调制音频信号频率选择开关 (1KHz/600Hz)。

2.5 信令存贮显示控制面板 (图 A-6)

(1) 开关 K10: 电路工作控制开关。K10 拨到接通 (ON) 位置, 电路工作, 面板顶部工作指示灯 (LED, 红) 亮; 拨到断开 (OFF) 位置, 电路停止工作, 指示灯灭。

(2) 停止 (STOP) 指示灯及运行 (RUN) 键: STOP 灯 (LED, 绿) 为信令单次触发存贮完成指示灯。单次触发存贮完一次信令传输过程 (最长 1.5 秒) 后, STOP 灯亮, 表示停止存贮。测量面板上 SIG 端可持续观测存贮的信令。要重新存贮下一次信令, 按运行 (RUN) 键, STOP 灯灭, 存贮电路等待下一次信令到来, 重新触发一次信令存贮过程。

(3) 位置 (POSITION) 调节旋钮及复位 (RST) 键: 显示波形位置控制。左右旋转位置 (POSITION) 调节旋钮, 波形以 0.6ms 的步距左右移动。当波形移动到一次信令过程的起点或终点时, 发出短促峰鸣声指示。按复位 (RST) 键, 显示波形回到一次信令过程的起点。

(4) 同步 (SNYC) 键: 显示波形同步调整。存贮信令波形显示的触发同步分二步实现:

①. BS 测量面板上示波器外触发信号 TRI_S 接至示波器外触发输入端, 示波器置上升沿外触发, 水平分度置 2ms/DIV。调整示波器的同步调节旋钮, 使显示波形停止左右滑动, 稳定下来, 但波形可能闪烁、暗淡。

②. 连续按同步 (SYNC) 键, 分五步循环调整显示波形闪烁现象。调整到波形最稳定、明亮为止。只要综测仪不断电, 以后不必再调整。

2.6 双工器测量面板 (图 A-8)

TRX-BS 双工器的四个端子: RX (接收机端口)、TX (发射机端口)、ANT (天线端口) 及 GND (地) 都引出到测量面板上, 以便测量双工器的特性。

附图 1(a) BS 测量收发信机 (TRX-BS)

附图 1(b) MS 测量收发信机 (TRX-MS)

参考文献

1. 郭梯云, 邬国杨等. 移动通信. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2000
2. 邬国杨, 张厥盛. 移动通信原理、系统、应用. 北京: 电子工业出版社, 1995
3. 蒋同泽. 现代移动通信系统. 北京: 电子工业出版社, 1994
4. 王福昌, 鲁昆生. 锁相技术. 武汉: 华中理工大学出版社, 1997
5. 鲁昆生, 王福昌. 电荷泵锁相环设计方法研究. 武汉: 华中理工大学学报, 2000.4
6. 鲁昆生, 程文青等. STORNO 信令集群移动通信网的研究. 石家庄: 无线电工程, 2000.1
7. 孟忠江, 鲁昆生等. 一种适用于农村通信的无线接入网方案. 石家庄: 无线电工程, 2001.1
8. 卢尔瑞等. 移动通信工程. 北京: 人民邮电出版社, 1988
9. 邬国杨等. 蜂窝通信. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002
10. 朱近康. CDMA 通信技术. 人民邮电出版社, 2001
11. 陈德荣, 林家儒. 数字移动通信系统. 北京: 北京邮电大学出版社, 1996
12. 樊昌信等. 通信原理. 北京: 国防工业出版社, 1995
13. 陈德荣. 移动通信原理与应用. 北京: 高等教育出版社, 1998
14. 易兴俊. 移动通信原理与设备. 成都: 电子科技大学出版社, 1999
15. 赵天仁. 爱立信 388/398、768/788 手机原理与维修. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1999
16. 乐正友, 杨为理. 程控数字交换机硬件软件及应用. 北京: 清华大学出版社, 1991