

# 天线波束内多星测控技术探讨

丁伟强

(上海科学仪器厂·上海·201800)

**摘要** 提出了对处于同一天线波束内的多个卫星或飞行器的六种测控方法，对每一种方式都作了较详细的介绍，并进行了比较。

**关键词** 多星测控；分包遥控；码分多址；频分多址

## 1 引言

随着航天技术的发展，一箭多星、小卫星星座及编队组网、空间交会对接、多个深空探测飞行器的协同飞行均要求同一套测控系统能对多个目标进行测控。亦即要求能对同一个地面跟踪天线波束内的多个目标进行测控，利用常规的测控体制已经很难达到同时测控的要求。本文提出了几种方案设想并对它们进行了探讨和相互比较。

## 2 同一天线波束内多星测控的几种方式

用单站对多个飞行器进行控制，可以有多种不同的方法。从对目前地面站作适应性修改的程度大小来排列，提出了以下六种方案设想，其中前面几种改动较小而后面几种改动较大。

### (1) 方式 1

上行：CCSDS 分包遥控 (CCSDSPT);

下行：副载波频分多址 (SFDMA)

### (2) 方式 2

上行：CCSDS 分包遥控 (CCSDSPT) 及副载波频分复用 (SFDM) 方式；

下行：副载波频分复用 (SFDMA)

### (3) 方式 3

上行：CCSDS 分包遥控 (CCSDSPT);

下行：载波频分多址 (CFDMA) 及可变转发频率比

### (4) 方式 4

上行：CCSDS 分包遥控 (CCSDSPT);

下行：利用伪码的码分多址 (CDMA)

### (5) 方式 5

上行：利用 Walsh-Hadamard 函数的码分多址 (CDMA) 方式；

下行：利用伪码的码分多址 (CDMA)

## (6) 方式 6

上行: 利用伪码的码分多址 (CDMA);

下行: 利用伪码的码分多址 (CDMA)。

除了上面提到的几种方式外, 利用同一个地面站的天线发射多个载波也是一种选择, 但这样做容易引起交调和互相之间的干扰, 如果要用的话, 需要考虑功放的功率回退以减轻互相之间的干扰, 也需要考虑信道的设计余量和地面站共用大功率放大器的工作频带, 此种方式可以和以上几种方式混用也可以单独使用, 本文在此不对这种方式作详细讨论。

### 2.1 第一种方式

第一种方式中上行采用 CCSDS 分包遥控的方式, 下行采用副载波频分多址的方式。上行方式中, 针对各个飞行器的遥控指令采用 CCSDS 分包遥控的格式编排, 编排后的遥控数据包对副载波进行 BPSK 调制, 然后再对载波进行相位调制, 这就是目前最常用的 PCM/PSK/PM 的上行调制方式。用数学表达式可表示为:

$$S_u(t) = \sqrt{2P_u} \sin(2\pi f_u t + m_u d_u(t) \sin(2\pi f_{sc} t))$$

其中  $P_u$  为上行功率;  $m_u$  为上行指令调制指数;  $f_u$  为上行载波功率;  $d_u(t)$  为遥控数据 (码型: NRZ);  $f_{sc}$  为遥控副载波频率。

当天线波束内的飞行器收到此上行信号后, 首先由各飞行器内的载波跟踪环捕获上行载波, 再通过指令检测单元 (CDU) 解调 BPSK 副载波, CDU 是一个用于解调 NRZ 数据的相干解调器, 用于解调 8kHz 或 16kHz 的副载波。在指令数据被解调后, CCSDS 分包遥控数据被解包, 只有那些与各飞行器身份号 (ID) 相应的指令才会被接受。

对于下行信道, 各个飞行器的遥测信号对不同的副载波方波进行 PSK 调制, 然后再对射频载波进行相位调制。这种方式与 CCSDS 建议的方式相同, 即方波调制的 PCM/PSK/PM 方式。用数学公式可表示为:

$$S_{d_i}(t) = \sqrt{2P_{d_i}} \sin(2\pi f_d t + m_{d_i} d_i(t) \operatorname{Sq}(2\pi f_{sc_i} t))$$

其中  $f_d$  为下行载波频率;  $m_{d_i}$  为对应各个飞行器的下行遥测调制指数;  $P_{d_i}$  为每个飞行器的下行功率;  $f_{sc_i}$  为每个飞行器的遥测副载波频率。

#### 2.1.1 上行载波捕获的考虑

目前 S 波段统一测控系统均实行地面载波扫描的方式, 在对多个飞行器实施上行扫描捕获时, 应以最低跟踪速率的应答机特性为确定扫描速率的依据。如果有一个突然失锁, 地面站需重新扫描捕获。也可以采用卫星应答机扫描的方式, 但这要求对目前的应答机作改动, 这样可以做到万一有一个飞行器上的应答机失锁, 可以不影响已经建立的其他飞行器的锁定状态。

### 2.1.2 分包遥控的机理

分包遥控就是把遥控信源的命令数据打成包之后经上行信道送到航天器，实现对航天器的遥控操作。CCSDS 标准规定了分包遥控系统的七层信息处理结构，提供信道业务、数据路由业务和数据管理三种业务，如图 1 所示。信道业务包含物理层和信道编码层，在星地之间提供一个可靠的数据传输物理信道；数据路由业务包含传送层和分段层，提供多路径传输能力并通过实施 ARQ 等机理确保遥控数据传输的可靠性；数据管理业务面向遥控应用过程，包含分包层、系统管理层和应用过程层，提供数据包装及其管理服务，实现过程与物理系统的接口。

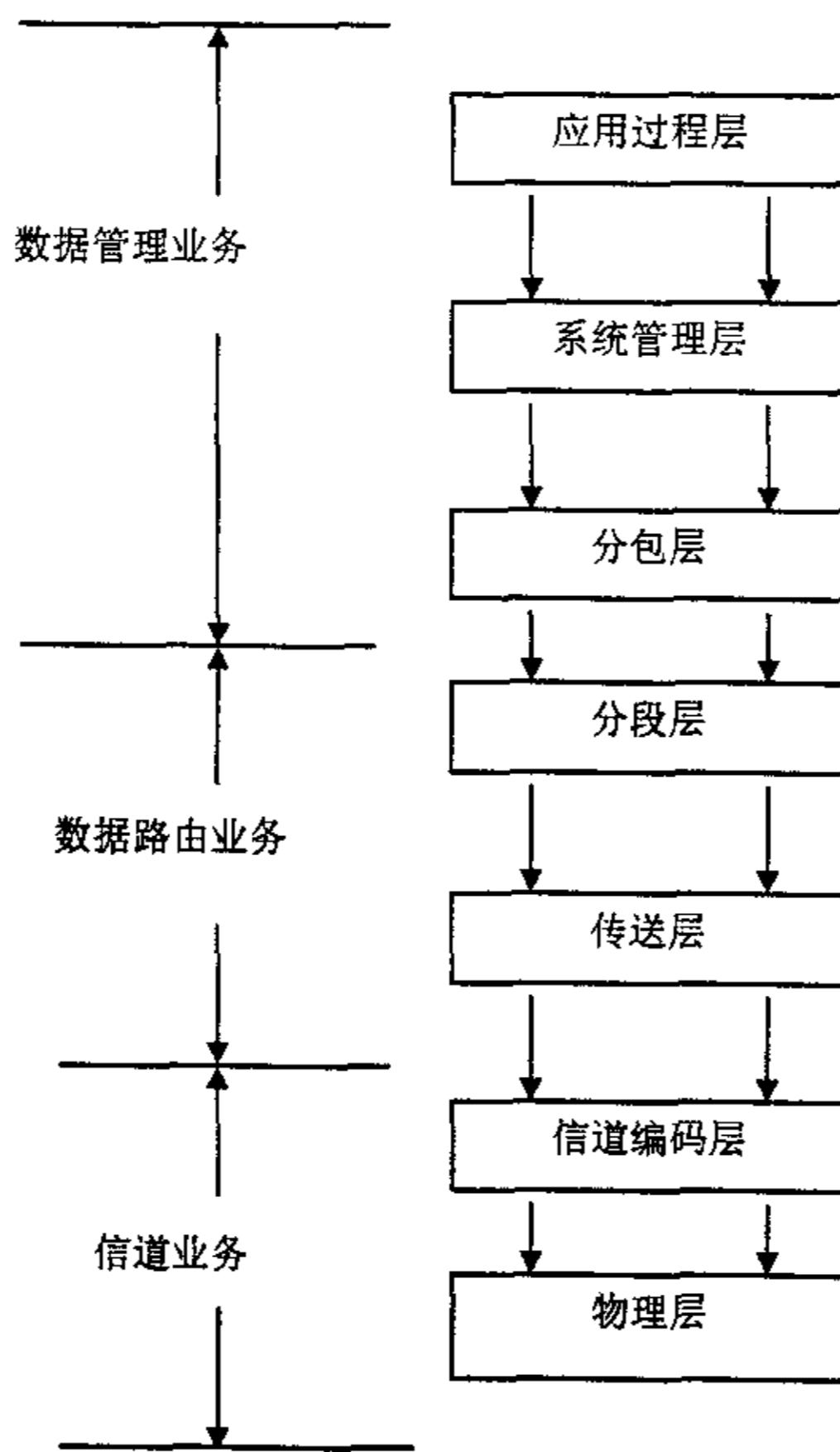


图 1 分包遥控的分层结构

上述各层的数据结构变化过程可以用图 2 表示。

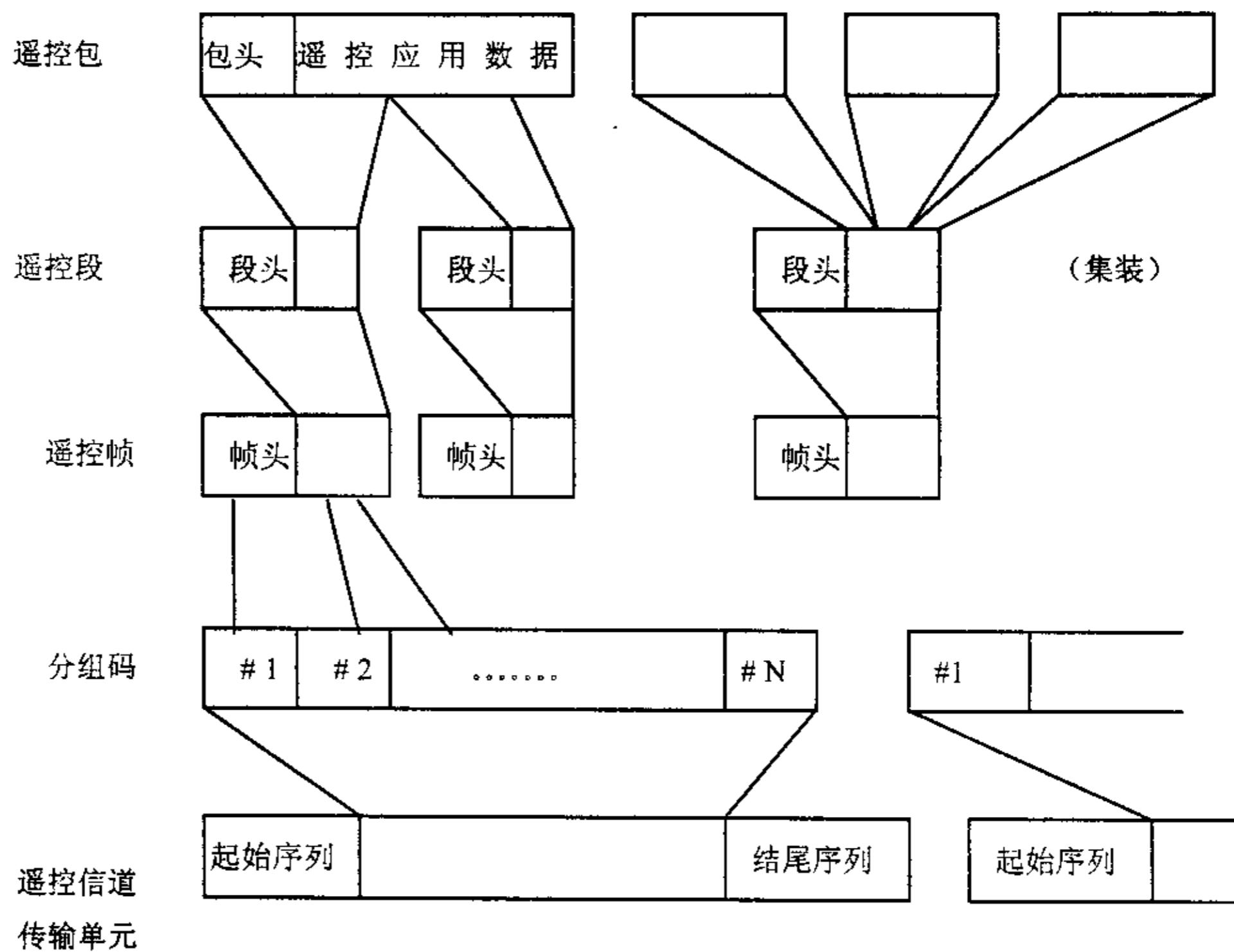


图 2 遥控数据结构演变

分包遥控系统的每一层都可以向外开放，这种开放的基础是多层次的标准包装。在地面站发射的遥控数据流中可以混合编进多个航天器、多个飞行任务或多个控制过程的数据包，实现有序传送、有序组合和分离，最终到达各自的目的端点。遥控包头、段头、或传送帧头都含有识别到达飞行器和标志本包在所属序列中位置的信息，这些信息既保证数据的流向正确，又保证信息的完整性。每个遥控信道传输单元由 16 比特的起始序列开始，结尾序列则表明一个传输单元的结束。起始序列亦用于解决数据的相位模糊问题，有极好的自相关特性。在接收端，只有当起始序列被正确识别后指令数据解码才正式开始。因而通过给每个飞行器指定一个特殊的起始序列，它亦可被用来区分各个飞行器。为了防止误判，起始序列的互相关特性亦要求很好。

分组码作为编码层结构中的最小数据单元，具有固定长度的数据比特流，一个分组码由 56（或 32, 40, 48）比特的信息码（BCH 码）、7 比特校验码和填充码组成。分组码的结构如图 3 所示。而一个帧，则由多个分组码单元组成。一个遥控信道传输单元可以由一个或多个帧结构组成。对每一个飞行器，建议一个遥控信道传输单元仅由一个帧组成，这样就保证了仅含一个特定的起始序列。图 4 中推荐了一种帧结构，在帧头中含有用于识别飞行器身份 10 比特 ID 号和 2 比特的空闲比特（亦可被用于身份识别）。在帧头中使用唯一的身份识别号可以增加数据传输层的各飞行器之间的隔离度，确保遥控数据的正确传递。

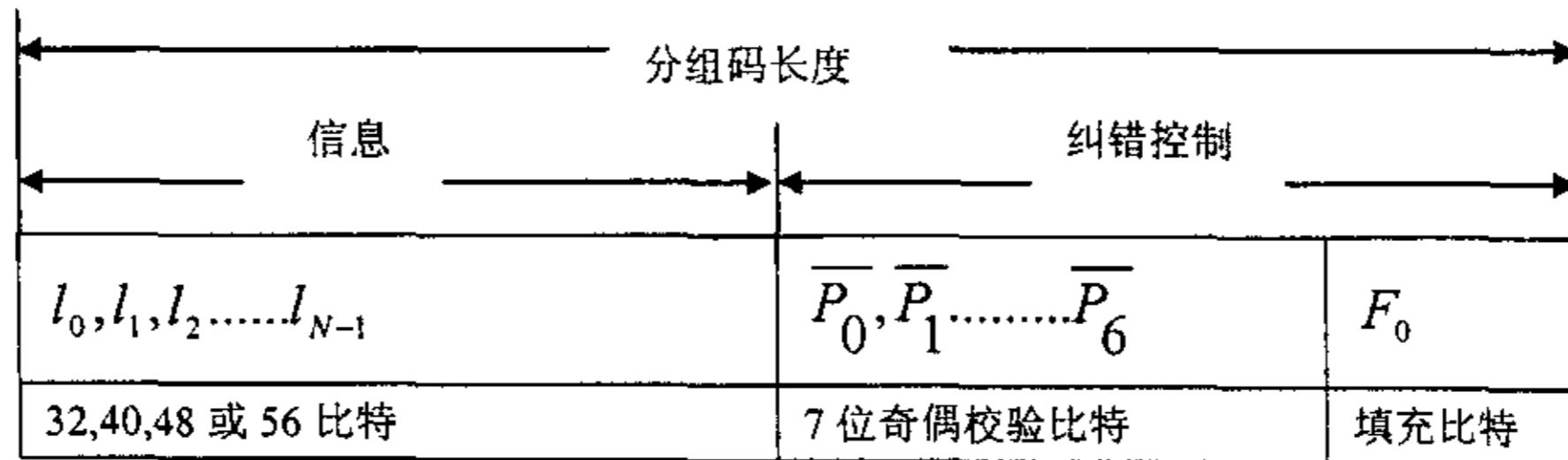


图 3 分组码结构

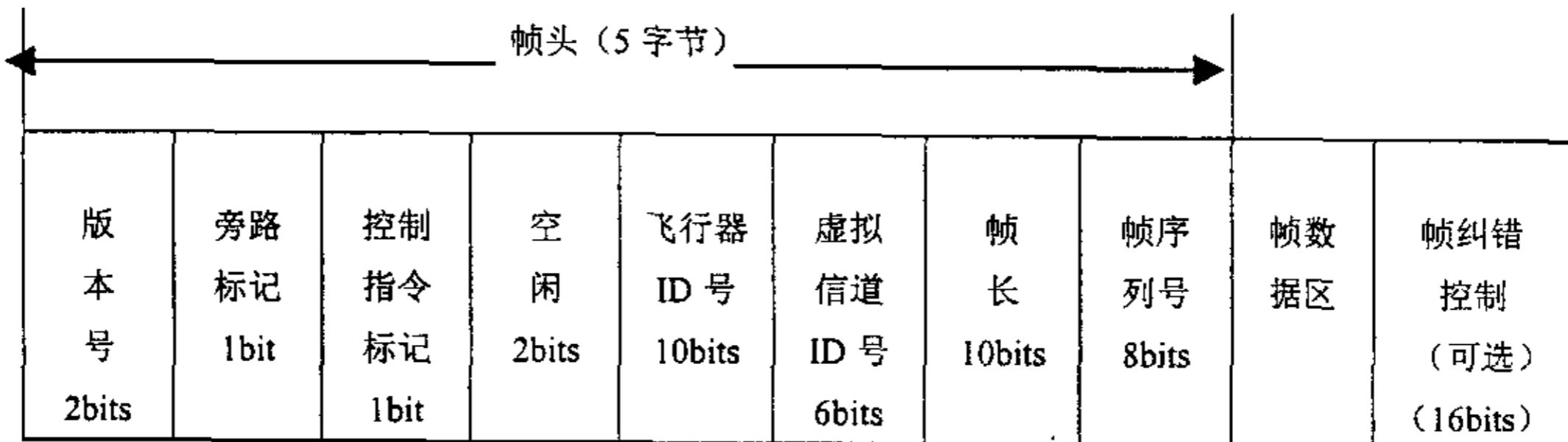


图 4 传输帧结构

### 2.1.3 CCSDSPT 支持的用户数

分包遥控，借助多路接收指针（MAP）和虚拟信道（VC）两种手段可实现按需分配式的动态资源管理。在分段层可按多达 64 个接收指针组织遥控段，并可分别赋予优先级，多接受目标指针（MAP）存在于分段层的段头，占 6 比特，因此可以把遥控信息分送到 64 个不同地址的目标。在传送层中按虚拟信道组织传送帧。在分包遥控中，虚拟信道是一种可以保持独立星地操作的多路复用信道的机制。在传送帧帧头中虚拟信道标志段占 6 比特，因此可以定义 64 个虚拟信道。这些多达 64 个不同的虚拟信道不但可以具有不同的优先级，还可以独立完成传送操作，例如打开、关闭、重传和设置各种控制状态的操作过程，就如同 64 个独立信道一样。它们分时占用同一物理信道，但不是预先分配的，而是由系统根据待传送信息的数量和优先级动态地调度的，从而能在一定信道资源条件下最大程度地满足不同用户的需求，实现系统优化。从原理上讲，具体用户数的多少取决于帧拒收概率和帧误传概率的大小。如果每个应用过程作为一个用户，同时又与一个多接受目标指针（MAP）相联系，那么分包遥控最多可支持  $64 \times 64 = 4096$  个用户。

## 2.2 第二种方式

第二种方式中上行采用副载波频分复用（SFDM）及 CCSDS 分包遥控（CCSDSPT）的组合方式，下行采用副载波频分多址方式（SFDMA）。上节中已介绍了 SFDMA，本节主要介绍上行 SFDM 和 CCSDSPT 的组合方式。

与第一种 CCSDSPT 方式相比，上行的容量将增加一倍（当使用两个副载波时）。此时的上行信号表达式为：

$$S_u(t) = \sqrt{2P_u} \sin(2\pi f_u t + m_{u1} d_{u1}(t) \sin(2\pi f_{sc1} t) + m_{u2} d_{u2}(t) \sin(2\pi f_{sc2} t))$$

其中  $P_u$  为上行功率;  $f_u$  为上行载波频率;  $m_{ui}, d_{ui}(t), f_{sci}$  ( $i=1,2$ ) 分别代表指令的调制指数, NRZ 码指令数据, 遥控副载波频率。

在这种方式下, 每一个飞行器应能解调其中的一个副载波, 系统设计时应考虑各个副载波之间可能产生的干扰和交调问题。

性能分析: 在发射与第一种方式相同的上行功率的情况下, 上行的误符号率会比第一种情况恶化 3 分贝, 因为上行功率被两条指令数据流所在的副载波所平分, 但带来的好处是上行的遥控数据率可以提高一倍。

### 2.3 第三种方式

这种方式中上行采用 CCSDSPT 的方式, 下行采用载波频分多址 (CFDMA) 的方式, 而且下行的转发频率比是可变的。上行的方式已经在前面详细介绍过了, 这里仅对可变的转发频率比作一个描述。

在这种情况下, 下行的载波采用不同的射频频率, 由于上行的频率只有一个, 所以可通过改变转发频率的比值来实现。下行信号可表示为:

$$S_{d_i}(t) = \sqrt{2P_{d_i}} \sin(2\pi R_i f_u t + m_{d_i} d_i(t) Sq(2\pi f_{sc_i} t))$$

其中  $P_{d_i}$  为下行功率;  $m_{d_i}$  为下行第  $i$  个副载波的调制指数 (小于  $\pi/2$  弧度);  $R_i$  为第  $i$  个相干转发频率比;  $d_i(t)$  为 NRZ 码遥测数据;  $Sq(\bullet)$  为方波遥测副载波;  $f_{sc_i}$  为第  $i$  个遥测副载波频率 (可以相同)。

性能分析: 下行信号调制在不同的载波频率上, 相应的误符号率是最低的, 这种情况就如同几个应答机和地面站在同时工作而互不影响。然而实现不同的载波转发比对应答机来说是比较麻烦的一件事, 但也不是不可实现的, 譬如可采用直接数字频率合成技术 (DDS) 等。地面站若要适应这种方式, 信道接收单元需要作改动, 需要有不同的下变频单元和多个解调单元才能保证同时监控各个飞行器的状态。

### 2.4 第四种方式

这种方式上行采用 CCSDSPT, 下行采用码分多址 (CDMA) 技术。上行的方式已在前面介绍过了, 这里只介绍下行。

为了分离下行信道, 分配给每个飞行器一个伪随机码调制在遥测数据上, 然后再对同一个下行载波进行相位调制。下行信号可以表示为:

$$S_d(t) = \sum_{i=1}^N \sqrt{2P_{d_i}} \cos(2\pi f_d t + 2\pi f_{d_i} t + m_{d_i} c_i(t - \tau_i) d_i(t - \tau_i) + \theta_i)$$

其中  $N$  为飞行器数目;  $f_d$  为下行载波频率;  $f_{d_i}$  为载波多普勒频移;  $P_{d_i}, c_i(t), d_i(t)$  分

别代表载波功率，伪随机码，遥测数据； $\tau_i$  为时间延迟； $\theta_i$  为随机相位； $m_{d_i}$  为调制指数。

接收到的下行信号被馈送给一簇接收机，每个接收机装载不同的伪随机码发生器。通过合理的设计可使不同的伪随机码序列之间的互相关性最小，从而使下行的各信道得以有效分离。采用自相关性能很好的伪码还可以被用来测距。由于接收到的信号信噪比很低，地面接收机一般采用非相关延迟锁定环和通用的载波环联合来恢复载波。解扩后的信号再通过窄带滤波器恢复出遥测信号。

这种体制飞行器和地面站的硬件设施均需要改造，飞行器上的应答机需要有伪码产生器和伪码调制器，地面站中需要有相应的伪码解调器。在设计这种下行方式时，以下因素和限制条件值得考虑：①PN 码的合理设计，使信道间的干扰最小，同时确保可靠的跟踪和距离测量；②带宽效率的考虑；③各个飞行器下行 EIRP 的限制；④多普勒频率和多普勒频率变化率对伪码捕获和跟踪的影响等。

## 2.5 第五种方式

第五种方式中上行采用 Walsh-Hadamard 码的码分多址方式，下行采用码分多址方式（CDMA）。下行 CDMA 方式已在上节中描述过了，本节中仅描述上行的 CDMA 方式。W-H 码具有优良的互相关特性，如果同步能维持的话，W-H 码可以为各个飞行器提供互不影响的正交信道。由于发给每个飞行器的码地面站可以做到同步发送，所以在上行信道中选择了 W-H 码。而在下行信道中，由于各个飞行器发送数据的起始时刻是随机的，因此就不能应用 W-H 码。因为在同步状态不能保持的情况下，W-H 码的互相关性比 m 序列差得多。

Walsh 码是一种二进制正交序列，可采用 Hadamard 矩阵来产生。使用递归方式通过较低阶数的矩阵来产生更高阶数的矩阵，也就是：

$$H_{2N} = \begin{bmatrix} H_N & H_N \\ H_N & \overline{H}_N \end{bmatrix}$$

其中  $\overline{H}_N$  是包含了与  $H_N$  有相同阶数但对矩阵元取了反的矩阵，种子矩阵为：

$$H_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

相比较而言，在上行方式中，CDMA 方式比 CCSDSPT 方式在两个方面具有优越性。首先，在采用 W-H 码的 CDMA 方式中，发送给各个飞行器的指令数据是同时的，而 CCSDSPT 的指令数据，在时间上是不同步的，是按顺序发送的。如果发送的指令数据在时间上有限制的话，CDMA 方式就显得比 CCSDSPT 方式优越。其次，CDMA 方式支持不同的数据率，可以适应不同数据率用户的要求。

设想的一种方案如图 5 所示。

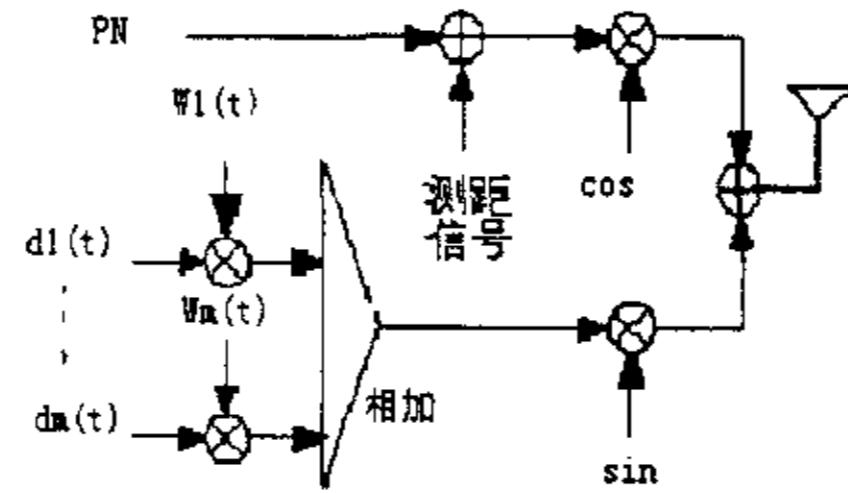


图 5 使用 W-H 码的 CDMA 上行方式

采用正交复用的方法把数据和同步用的 PN 码分别放在 I 信道和 Q 信道上。在 I 信道，指令数据和 W-H 码相加后对同相载波进行幅度调制；在 Q 信道上，用作 W-H 码同步的 PN 码对正交信道进行相位调制。I 信道载波和 Q 信道载波相加后再发射。最终发射出去的信号是 QAM 信号，可以用公式表示为：

$$S_u(t) = \sqrt{2\alpha P_u} \sin(2\pi f_u t + c(t)) + \sqrt{2(1-\alpha) P_u} \cos(2\pi f_u t) \bar{Z}(t)$$

其中  $\alpha$  为分配给导频信道的功率百分比； $c(t)$  代表导频信号； $\bar{Z}(t)$  为  $Z(t)$  的归一化形式，

$$\text{且 } Z(t) = \sum_{i=1}^M d_i(t) W_i(t)$$

由于用作 W-H 码同步的导频序列在单独的信道上发送，因此容易被捕获和跟踪。QAM 信号发送需要地面站发射机工作在线性区域，功放输入需要回退。但由于导频信号占了相当的比重，对功放的输入回退没有对单独发射 1 支路信号要求那么严格。相位模糊的问题可以通过使用 OQPSK 的方式来解决，这种方式下地面站接收机可以判定哪一路含有 PN 序列，哪一路含有数据。

## 2.6 第六种方式

第六种方式中，上行采用了伪随机码的 CDMA 方式，下行亦采用 CDMA 方式。上行方式中不是采用 W-H 码，而是采用 Gold 码，这种码在非同步码中的综合性能最优，多被推荐用于多址通信中，可以非同步发送。

上行 CDMA 方式采用直接序列扩频技术，用具有和白噪声相类似的统计特性的 PN 码（如 Gold 码）对指令数据进行扩频调制后送入信道再对载波进行相位调制，指令数据被短码加扰后对 I 信道进行 BPSK 调制，测距伪码（长码）对 Q 信道进行 BPSK 调制。用公式可表示如下：

$$S(t) = \sqrt{2S_c} d(t) C_c(t) \cos \omega_0 t - \sqrt{2S_r} C_r(t) \sin \omega_0 t$$

式中 角标 c 和 r 分别代表指令信道和测距信道，指令信道和测距信道的功率电平一般不相等，最终的调制方式为 UQPSK 方式。扩频码  $C_c(t)$  选用自相关和互相关性能均优良的

GOLD 码, 扩频码  $C_r(t)$  可选用截短的 m 序列码, 截短后可保证短的 Gold 码与 m 序列周期协调。如美国跟踪与数据中继系统 TDRSS 中由中继卫星 TDRS 到用户星的指令信道就选用了 1023 比特的 Gold 码, 而测距信道选用周期为  $1023 \times 256$  的截短 18 段 m 序列。在用户星的接收机建立 Gold 码同步之后, 载波恢复。建立载波跟踪状态后, 测距码被捕获。测距码不影响指令信道码跟踪或载波跟踪。但这种方式相对上一种采用 W-H 码的 CDMA 方式而言同时性要差, 但支持的用户数和可扩充能力较强。

地面站对收到的信号解调, 用短 PN 码 (地址码) 识别出是哪一个飞行器传来的数据, 从长 PN 码测出该飞行器的距离, 从恢复出的载波中提取多普勒频率完成测速功能。推荐的扩频上 / 下行链路的一些主要参数列于表 1 中。

表 1 扩频上 / 下行链路的一些主要参数

参数	遥控上行模式	相干遥测下行模式	非相干遥测下行模式
符号率	$4000/2^n$ ( $n=0, 1 \dots 9$ )	$2^n$ ( $n=6 \dots 14$ )	$2^n$ ( $n=6 \dots 14$ )
I 信道的符号率 (sym/s)	= 符号率	= 符号率 (I、Q 信道同)	= 符号率 (I、Q 信道同)
Q 信道的符号率 (sym/s)	仅有 PN 码	= I 信道符号率	= I 信道符号率
数据格式	NRZ-L; NRZ-M	NRZ-L; NRZ-M	NRZ-L; NRZ-M
I 信道 PN 码家族	Gold 码	截短 m 序列	Gold 码
I 信道初相的参考	无	接收到的 Q 信道码	无
I 信道 PN 码长	$2E10-1$	$(2E10-1) \times 256$	$2E11-1$
Q 信道 PN 码家族	截短的 m 序列	截短的 m 序列	Gold 码
Q 信道 PN 码长	$(2E10-1) \times 256$	$(2E10-1) \times 256$	$2E11-1$
Q 信道码初相参考	I 信道码	$(x+1/2) \text{ chips}$ 延迟 ( $x > 20000$ )	比 I 信道延迟 $1/2 \text{ chip}$
扩频码速率 (Mc/s)	1Mchip 或 3 Mchip/s	与接收的码速率相同	1Mchip/s 或 3 Mchip/s
调制方式	SRRC-UQPSK	SRRC-OQPSK	SRRC-OQPSK
I/Q 功率比	10: 1	1: 1	1: 1
测距功能	有	有	无

注: SRRC——均方根升余弦

下行线路均采用 SRRC-OQPSK 调制方式, 理由是虽然这种调制方式和 BPSK/QPSK 方式占用的带宽相同, 然而由于 I 和 Q 信道在时间上错开了半个码位, 在带宽受到限制的条件下, 包络波动较小, 由于功放非线性引起的频谱展宽现象不明显。

### 3 结论与意见

本文对目前地面站如何跟踪天线波束内的多目标卫星提出了一些设想, 并作了分析和解释。上行方式可以采用分包遥控、多个副载波的分包遥控、W-H 码 CDMA、PN 码 CDMA 等方式进行; 下行方式可采用副载波频分多址 (SFDMA)、载波频分多址 (CFDMA)、CDMA 等方式进行。上行方式中, 如果希望 CCSDSPT 方式达到 CDMA 一样的数据吞吐量, 发送

给每个飞行器的数据率必须提升，且和用户数成正比。相比较而言，CCSDSPT 方式比较简单，而且不用作大的改动就能适合目前的地面站使用。下行的 SFDMA, CDMA, CFDMA 等各种方式比较的准则是在一定的带宽条件下可支持的用户数的多少。通常情况下，CDMA 支持的用户数最多，CFDMA 的次之，而 SFDMA 的为最少。本文对上下行的六种组合方式进行了粗浅的讨论。每种设想的方案对目前地面站改造的程度和改造后达到的效果也不尽相同。为适应每种设想对地面站软件和硬件设施要作相应的改动，改动情况列于表 2 中，同时也给出了每种方式的主要优缺点。

表 2 各种方式的改动情况

序号	系统状况	需要作修改的软件和硬件		主要优缺点	
		飞行器应答机	地面站	主要优点	主要缺点
1	上行：CCSDSPT 下行：SFDMA	调制器	载波跟踪环	符合 CCSDS 标准； 上行带宽不展宽	要求较大的下行带宽；通道间可能会有干扰
2	上行： CCSDSPT+SFDMA 下行：SFDMA	副载波跟踪环	载波跟踪环	符合 CCSDS 标准； 数据吞吐量增加	上行误符号率比(1)中差 3dB； 其余同上
3	上行：CCSDSPT 下行：CFDMA	应答机适应不同的转发比	接收通道数增加	符合 CCSDS 标准	硬件要改造
4	上行：CCSDSPT 下行：CDMA	增加扩频 调制器	扩频解调器， 伪码测距	上行符合 CCSDS 标准； 支持高速率下行	硬件要作较大改造
5	上行：CDMA(W-H code) 下行：CDMA	QAM 调制器	QAM 解调器 伪码测距	支持不同速率同步上行； 支持高速率下行和较多的用户数	硬件要作较大改造
6	上行：CDMA (PN code) 下行：CDMA	扩频调制器	扩频解调器 伪码测距	支持不同速率非同步上行； 支持高速率下行； 支持较多用户数	硬件要作较大改造

### 参考文献

- 1 CCSDS200.0-G-6. telecommand Summary of Concept and Rationale Green Book. Issue 6. January 1987
- 2 CCSDS201.0-B-3. telecommand Part1—Channel Service. Blue Book. Issue3. June 2000
- 3 CCSDS202.0-B-3. telecommand Part2—Data Routing Service. Blue Book. Issue3. June 2001
- 4 CCSDS202.1-B-2. telecommand Part2.1—Command Operation Procedures. Blue Book. Issue2. June 2001
- 5 CCSDS203.0-B-2. telecommand Part3—Data Management Service. Blue Book. Issue2. June 2001
- 6 R.C.Dixon. Spread spectrum systems. John Wiley&Sons, Inc,1982
- 7 谭维炽, 赵和平, 周傲松. 对分包遥控的机理和实施途径的研讨. 中国空间科学技术, 1997 (1)
- 8 H.Tsou, S. Million, S. M. Hinedi, T. M. Nguyen, M. K. Simon, and W. V. Moore, Description of Communication System Options for Single-Aperture Multiple-Link Mission Support, TDA Progress Report, November, 1996
9. 刘蕴才, 姚奇松, 房鸿瑞. 遥测遥控系统(下册). 北京: 国防工业出版社, 2000 年 4 月

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养;后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com)),现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地,成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程,广受客户好评;并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书,帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司,以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年, 10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养, 更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果, 又能免除您舟车劳顿的辛苦, 学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲, 结合实际工程案例, 直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>