

文献编号:1000-582X(2003)03-0046-03

TDRSS 通信业务和信号设计

刘春平^{1,2}, 龚向东¹, 杨士中²

(1. 深圳大学 工程技术学院, 深圳 518060; 2. 重庆大学 通信测控研究所, 重庆 400044)

摘要: 即将筹建的跟踪及数字中继卫星系统(TDRSS)是国防和载人航天的重要支撑系统。介绍了TDRSS正反向通信链路的信号设计技术,根据K波段单址勤务、S波段单址勤务、S波段多址勤务,在正向链路都选择非对称的QPSK调制方式,I路传送扩频数据,Q路传送测距码;反向链路根据不同的数据组和数据模式,在I路和Q路选择扩频或不扩频,采用对称的QPSK调制。给出了详细的信号表达式及系统设计要点,为工程实践打下基础。

关键词: 跟踪及数字中继卫星系统; K波段单址勤务; S波段单址勤务; S波段多址勤务; 信号设计中图分类号:V249.122 文献标识码:A

跟踪及数字中继卫星系统(TDRSS)对用户航天器提供的服务有3种:K波段单址勤务(KSA)、S波段单址勤务(SSA)、S波段多址勤务(MA)^[1-2]。为K波段单用户提供高数据率服务(KSA),SSA为S波段的单用户提供中等数据率服务,MA为多达20个的S波段用户提供低数据率服务。

TDRSS正反向链路广泛采用扩频码分多址技术^[2],这是因为:可将中继卫星发出的大功率进行频谱扩展,将能量扩散到很宽的频带内,使功率谱密度很小,避免干扰其它地面通信和空间通信;利用伪码进行高精度无模糊测距;在MA勤务中利用扩频实现码分多址;同时扩频能抗干扰、抗截获、抗衰落,适合TDRSS的信道特性和保密需要。

笔者详细介绍了TDRSS正反向通信链路的信号设计,并分别根据正反向链路的各种业务给出对应的信号表达式,介绍了其相应的扩频及调制方法,从而为实际系统的工程实施提供设计基础^[3]。

1 正向链路信号设计

正向链路需传送各种指令、语音、电视(模拟和数字形式)、测距测速信息,KSA、SSA、SMA 3种勤务均使用同一信号形式,采用QPSK体制,在I路传送扩频

指令或其它数据信号,Q路传送用于测距的伪码。正向链路采用的信号表达如式(1):

$$S(t) = \sqrt{2(0.91)P_T} \cdot d(t) \cdot c_i(t) \cdot \cos\omega_0 t + \sqrt{2(0.09)P_T} \cdot c_q(t) \cdot \sin\omega_0 t \quad (1)$$

式中 ω_0 为载频,Hz; P_T 为发射功率,W; $d(t)$ 为遥控指令和数据; $c_i(t)$ 为遥控指令扩频码; $c_q(t)$ 为测距码。

对于正向链路的信号设计说明如下:

1) $c_i(t)$ 是码长为 $2^{10} - 1 = 1023$ 的Gold码; $c_q(t)$ 是码长为 $(2^{10} - 1) \cdot 256 = 261888$ 的截尾m序列。长短码之比为256,以同一时钟(3 MHz)工作,两码起始同步,便于应答机利用短码引导长码的捕获。

2) 由于用户较多(SMA情况下20个用户),因此伪码需要保证良好的互相关特性,而且数量要足够多,所以I路扩频码采用Gold码。

3) 正向调制采用功率不平衡的QPSK体制(UQPSK),I、Q功率比为10:1,I路扩频信号占91%,Q路测距占9%。

4) 伪随机码速率与载波相干,使用户应答机在伪随机码捕获后利用码钟预测载波频率,减小载波捕获时间。为便于应答机对载频和码钟的捕获,地面站发

• 收稿日期:2002-10-12

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60177030)

作者简介:刘春平(1968-),男,重庆人,深圳大学讲师,重庆大学博士后,主要从事码分多址小卫星通信、数字波束形成、软件无线电技术等方面的研究。

出的信号频率中加有对用户运动的多普勒补偿。

2 反向链路信号

2.1 反向链路业务说明

按照所需传送的数据速率,可将用户航天器分为 3 类^[4-5]:低速率用户(正向 100 ~ 1 000 b/s, 反向 100 ~ 1 000 b/s)、中速率用户(正向 2 ~ 54 kb/s, 反向 10 kb/s ~ 1 Mb/s)、高速率用户(正向 2 kb/s ~ 50 Mb/s, 反向 1 ~ 100 Mb/s)。用户航天器通过中继卫星向地面发送星体遥测数据、语音、图像、星载设备探测数据、测距测速信息等,因此反向链路需传送的信号种类较多,速率也涵盖了低、中、高各种速率。反向链路业务分成 2 个数据组,数据组 1 和数据组 2。数据组 1 又分成 3 种数据模式:M1, M2, M3。详细介绍如下:

1) M1 用于双向多普勒测量和距离测量。用户应答机以相干转发方式工作,返回链路伪随机码的长度与正向伪随机码相同,并与正向同步。

2) M2 用于地面站捕获用户信号时用户应答机为非相干转发的情况,应答机不用捕获正向信号,这时应答机发出的伪随机码码长较短,地面站容易捕获^[6]。

3) M3 用于同时进行双向测距和多普勒测量并伴随着高速率的遥测数据的场合。伪随机码的捕获与 M1 相同。M3 中 Q 通道包含数据,不扩频。I 通道用于测距,同时也可传输数据(扩频)。

数据组 1 传送的数据率较低,数据组 2 数据率较高。数据组 2 不使用扩频,不能进行测距。数据组 2 的反向载波与正向载波可以相干也可不相干,相干可以测速。详细介绍见表 1。

表 1 反向链路业务说明

| 业务种类 | 数据组 | 模式 | 数据率 | 是否扩频 | 测距功能 | |
|----------|----------|-------|-------|--|--|----|
| S 波段单址勤务 | 数据组 1 | M1 | I 或 Q | 0.1 bs ⁻¹ ~ 150 kbs ⁻¹ | 是 | 测距 |
| | | M2 | I 或 Q | 0.1 bs ⁻¹ ~ 150 kbs ⁻¹ | 是 | |
| | | M3 | I | 0.1 bs ⁻¹ ~ 150 kbs ⁻¹ | 是 | 测距 |
| | 数据组 2 | M1 | I 或 Q | 1 kbs ⁻¹ ~ 3 Mbs ⁻¹ | 不 | |
| | | M2 | I 或 Q | 1 kbs ⁻¹ ~ 3 Mbs ⁻¹ | 不 | |
| | K 波段单址勤务 | 数据组 1 | M1 | I 或 Q | 0.1 bs ⁻¹ ~ 150 kbs ⁻¹ | 是 |
| M2 | | | I 或 Q | 0.1 bs ⁻¹ ~ 150 kbs ⁻¹ | 是 | |
| M3 | | | I 或 Q | 0.1 bs ⁻¹ ~ 150 kbs ⁻¹ | 是 | 测距 |
| 数据组 2 | | | Q | 1 kbs ⁻¹ ~ 3 Mbs ⁻¹ | 不 | |
| | | M1 | I 或 Q | 1 kbs ⁻¹ ~ 150 Mbs ⁻¹ | 不 | |
| | | M2 | I 或 Q | 1 kbs ⁻¹ ~ 150 Mbs ⁻¹ | 不 | |
| S 波段多址勤务 | 数据组 1 | M1 | I 或 Q | 0.1 bs ⁻¹ ~ 50 kbs ⁻¹ | 是 | 测距 |
| | | M2 | I 或 Q | 0.1 bs ⁻¹ ~ 50 kbs ⁻¹ | 是 | |

2.2 反向链路信号设计

1) 数据组 1 中 M1 和 M2 的信号形式

对于数据组 1 的 M1 和 M2,反向链路信号的一般形式为

$$S(t) = \sqrt{2P_I} \cdot d_I(t) \cdot c_I(t) \cdot \cos\omega_0 t + \sqrt{2P_Q} \cdot d_Q(t - T_c/2) \cdot c_Q(t - T_c/2) \cdot \sin\omega_0 t \quad (2)$$

式中: ω_0 为载频, Hz; P_I 为 I 通道发射功率, W; P_Q 为 Q 通道发射功率, W; $d_I(t)$ 、 $d_Q(t)$ 为数据码; $c_I(t)$ 、 $c_Q(t)$ 为 I、Q 通路伪随机码; T_c 为伪随机码码片长度。

说明:

a. S 波段多址勤务 $c_Q(t)$ 相对于 $c_I(t)$ 滞后 $T_c/2$, 形成 SQPSK 调制。M1 时伪随机码长 $(2^{10} - 1) \cdot 2^8$, 码型为截尾 18 级移位寄存器序列。M2 时的伪随机码长 $2^{11} - 1$, 码型为 Gold 码。

b. 数据组 1 的 M1 和 M2 使用四相伪随机码(SQ 伪随机)调制,使饱和功率放大器的输出谱特性保持带限输入信号的谱特性,具有较小的带外辐射。

c. 对于 M1, I、Q 通道伪随机码由一个移位寄存器产生,但时间至少错开 20 000 位。两路伪随机码码型和长度都相同,有利于接收端伪随机码的捕获和跟踪,两路伪随机码错开 20 000 位有利于接收端识别两路数据。

d. 此时如果只有一路遥测数据, $d_i(t) = d_q(t)$, 即 I、Q 通道采用相同数据信号。如果需传送两路独立数据, 则分别通过 I、Q 路各自传送, 两路功率分配的最大比值为 1: 4。

2) 数据组 1 中 M3 的信号形式

M3 的信号数学表达式为

$$S(t) = \sqrt{2P_I} \cdot d_i(t) \cdot c_i(t) \cdot \cos\omega_0 t + \sqrt{2P_Q} \cdot d_q(t) \cdot \sin\omega_0 t \quad (3)$$

各变量的解释与前同, 只是 Q 通道未使用伪随机码, 而 $c_i(t)$ 码长 $(2^{10} - 1) \cdot 2^8$ 。

3) 数据组 2 的信号形式

数据组 2 中 M1 和 M2 均采用以下的信号表达式

$$S(t) = \sqrt{2P_I} \cdot d_i(t) \cdot \cos\omega_0 t + \sqrt{2P_Q} \cdot d_q(t) \cdot \sin\omega_0 t \quad (4)$$

式(4)表明传送数据组 2 既可使用 QPSK 调制方式, 又可采用 BPSK 方式, 两路均不扩频。QPSK 调制时 $P_I/P_Q = 1: 4$, BPSK 方式时 P_I 或 P_Q 为零。

数据组 2 反向链路可以有单一遥测数据或有两路独立数据, 功率分配可以是 1: 1 或 1: 4。SMA 勤务使用卷积编码。

3 结束语

对于 KSA、SSA、MA 3 种勤务, 正向链路采用统一的信号形式, 有利于地面站、TDRS 卫星、用户航天器相应部分系统的设计。但由于反向链路业务相对复杂, 数据速率变化较大, 将其分为两个数据组, 每个数据组又分为不同的模式, 因此在用户航天器、TDRS 卫星、地面站的反向通信链路的系统设计中必须分别考虑。

参考文献

- [1] 杨士中. 跟踪及数字中继卫星系统的正反向通信链路[J]. 电讯技术, 1997(3): 56-61.
- [2] 刘春平. 基于 TDRSS 通信链路的并行 MSK 扩频系统的研制[D]. 重庆: 重庆大学, 2000.
- [3] 杨士中. 飞行器的测控及遥感图像传输体制与系统[J]. 电子学报, 1998(4): 35-31.
- [4] 杨士中. 无源非线性延迟锁定保护电路的分析[J]. 电子学报, 1996(4): 67-71.
- [5] YANG SHIZHONG. A Study on the Large Step Delay Locked Loop [J]. Chinese Journal of Electronics, 1997, 6(4): 35-40.
- [6] 冯文江. GPS/INS 组合系统自适应滤波算法[J]. 重庆大学学报, 2002, 25(3): 26-29.

TDRSS Communication Services And Signal Schemes

LIU Chun-ping^{1,2}, GONG Xiang-dong¹, YANG Shi-zhong²

(1. Science and Technology Institute, Shenzhen University, Shenzhen 518060, China;

2. Institute of Communication and Survey Control, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: Tracking and Data Relay Satellite System studying and constructing is an important sustaining system in China. The signal designing of TDRSS is systematically introduced in this paper. According to various services, KSA, SSA, MA, UQPSK are selected in the up link, data spreaded spectrum is transferred in I section and ranging code is transferred in Q section. According to the different data groups and modes, spreading spectrum or not is selected and QPSK is used. The signal equations and system designing notes are presented in detail.

Key Words: TDRSS; KSA; SSA; MA; signal scheme

(责任编辑 张 革)