

北斗卫星导航系统 空间信号接口控制文件

公开服务信号（2.1 版）



中国卫星导航系统管理办公室

二〇一六年十一月

目 录

1	声明	1
2	文件范畴.....	1
3	北斗系统概述.....	1
3.1	空间星座	1
3.2	坐标系统.....	2
3.3	时间系统.....	2
4	信号规范.....	3
4.1	信号结构.....	3
4.2	信号特性.....	4
4.2.1	载波频率	4
4.2.2	调制方式.....	4
4.2.3	极化方式.....	4
4.2.4	载波相位噪声	5
4.2.5	用户接收信号电平	5
4.2.6	信号复用方式.....	5
4.2.7	卫星信号工作带宽及带外抑制.....	5
4.2.8	杂散.....	6
4.2.9	信号相关性.....	6
4.2.10	星上设备时延差.....	6
4.3	测距码特性.....	6

5	导航电文.....	9
5.1	导航电文概述.....	9
5.1.1	导航电文划分.....	9
5.1.2	导航电文信息类别及播发特点.....	9
5.1.3	导航电文数据码纠错编码方式.....	12
5.2	D1 导航电文.....	15
5.2.1	D1 导航电文上调制的二次编码.....	15
5.2.2	D1 导航电文帧结构.....	16
5.2.3	D1 导航电文详细结构编排.....	17
5.2.4	D1 导航电文内容和算法.....	21
5.3	D2 导航电文.....	40
5.3.1	D2 导航电文帧结构.....	40
5.3.2	D2 导航电文详细结构编排.....	41
5.3.3	D2 导航电文内容和算法.....	64
6	缩略语.....	73

1 声明

北斗卫星导航系统空间信号接口控制文件（以下简称 ICD）由中国卫星导航系统管理办公室发布，中国卫星导航系统管理办公室对本文件保留最终解释权。

2 文件范畴

本 ICD 定义了北斗卫星导航系统空间星座和用户终端之间公开服务信号 B1I 和 B2I 的相关内容。其中，B2I 信号将随着全球系统建设逐步被性能更优的信号取代。

3 北斗系统概述

3.1 空间星座

北斗卫星导航系统简称北斗系统，英文缩写为 BDS，其空间星座由 5 颗地球静止轨道（GEO）卫星、27 颗中圆地球轨道（MEO）卫星和 3 颗倾斜地球同步轨道（IGSO）卫星组成。GEO 卫星轨道高度 35786 千米，分别定点于东经 58.75 度、80 度、110.5 度、140 度和 160 度；MEO 卫星轨道高度 21528 千米，轨道倾角 55 度；IGSO 卫星轨道高度 35786 千米，轨道倾角 55 度。

3.2 坐标系统

北斗系统采用 2000 中国大地坐标系 (CGCS2000)。CGCS2000 大地坐标系的定义如下:

原点位于地球质心;

Z 轴指向国际地球自转服务组织 (IERS) 定义的参考极 (IRP) 方向;

X 轴为 IERS 定义的参考子午面 (IRM) 与通过原点且同 Z 轴正交的赤道面的交线;

Y 轴与 Z、X 轴构成右手直角坐标系。

CGCS2000 原点也用作 CGCS2000 椭球的几何中心, Z 轴用作该旋转椭球的旋转轴。CGCS2000 参考椭球定义的基本常数为:

长半轴: $a = 6378137.0 \text{ m}$

地球 (包含大气层) 引力常数: $\mu = 3.986004418 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$

扁率: $f = 1/298.257222101$

地球自转角速度: $\Psi = 7.2921150 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$

3.3 时间系统

北斗系统的时间基准为北斗时 (BDT)。BDT 采用国际单位制 (SI) 秒为基本单位连续累计, 不闰秒, 起始历元为 2006 年 1 月 1 日协调世界时 (UTC) 00 时 00 分 00 秒, 采用周和周内秒计数。BDT 通过 UTC (NTSC) 与国际 UTC 建立联系, BDT 与 UTC 的偏差保持在 100 纳秒以内 (模 1 秒)。BDT 与 UTC 之间的闰秒信息在导航电文中播报。

4 信号规范

4.1 信号结构

B1、B2 信号由 I、Q 两个支路的“测距码+导航电文”正交调制在载波上构成。

B1、B2 信号表达式分别如下：

$$S_{B1}^j(t) = A_{B1I} C_{B1I}^j(t) D_{B1I}^j(t) \cos(2\pi f_1 t + \phi_{B1I}^j) + A_{B1Q} C_{B1Q}^j(t) D_{B1Q}^j(t) \sin(2\pi f_1 t + \phi_{B1Q}^j)$$

$$S_{B2}^j(t) = A_{B2I} C_{B2I}^j(t) D_{B2I}^j(t) \cos(2\pi f_2 t + \phi_{B2I}^j) + A_{B2Q} C_{B2Q}^j(t) D_{B2Q}^j(t) \sin(2\pi f_2 t + \phi_{B2Q}^j)$$

式中：

上角标 j：表示卫星编号；

A_{B1I} ：表示 B1I 信号振幅；

A_{B2I} ：表示 B2I 信号振幅；

A_{B1Q} ：表示 B1Q 信号振幅；

A_{B2Q} ：表示 B2Q 信号振幅；

C_{B1I} ：表示 B1I 信号测距码；

C_{B2I} ：表示 B2I 信号测距码；

C_{B1Q} ：表示 B1Q 信号测距码；

C_{B2Q} ：表示 B2Q 信号测距码；

D_{B1I} ：表示调制在 B1I 测距码上的数据码；

D_{B2I} ：表示调制在 B2I 测距码上的数据码；

D_{B1Q} ：表示调制在 B1Q 测距码上的数据码；

D_{B2Q} ：表示调制在 B2Q 测距码上的数据码；

f_1 ：表示 B1 信号载波频率；

- f_2 : 表示 B2 信号载波频率;
- φ_{B1I} : 表示 B1I 信号载波初相;
- φ_{B2I} : 表示 B2I 信号载波初相;
- φ_{B1Q} : 表示 B1Q 信号载波初相;
- φ_{B2Q} : 表示 B2Q 信号载波初相。

4.2 信号特性

4.2.1 载波频率

B1I 信号和 B2I 信号的载波频率在卫星上由共同的基准时钟源产生。其中, B1I 信号的标称载波频率为 1561.098MHz, B2I 信号的标称载波频率为 1207.140MHz。

4.2.2 调制方式

卫星发射信号采用正交相移键控 (QPSK) 调制。

4.2.3 极化方式

卫星发射信号为右旋圆极化 (RHCP)。天线轴比如表 4-1 所示。

表 4-1 卫星天线轴比

卫星类型	天线轴比
GEO	天线轴比小于 2.9 dB, 范围: □10°。
MEO	天线轴比小于 2.9 dB, 范围: □15°。
IGSO	天线轴比小于 2.9 dB, 范围: □10°。

4.2.4 载波相位噪声

未调制载波的相位噪声功率谱密度指标（单边带）如下：

-60 dBc/Hz	@ $f_0 \pm 10$ Hz
-75 dBc/Hz	@ $f_0 \pm 100$ Hz
-80 dBc/Hz	@ $f_0 \pm 1$ kHz
-85 dBc/Hz	@ $f_0 \pm 10$ kHz
-95 dBc/Hz	@ $f_0 \pm 100$ kHz

其中， f_0 指 B1I 信号或 B2I 信号的载波频率。

4.2.5 用户接收信号电平

当卫星仰角大于 5 度，在地球表面附近的接收机右旋圆极化天线为 0 dB 增益时，卫星发射的导航信号到达接收机天线输出端的 I 支路最小保证电平为 -163 dBW。

4.2.6 信号复用方式

信号复用方式为码分多址（CDMA）。

4.2.7 卫星信号工作带宽及带外抑制

- (1) 工作带宽（1 dB）：4.092 MHz（以 B1I 信号载波频率为中心）；
20.46 MHz（以 B2I 信号载波频率为中心）。
- 工作带宽（3 dB）：16 MHz（以 B1I 信号载波频率为中心）；
36 MHz（以 B2I 信号载波频率为中心）。

(2) 带外抑制：三15 dB， $f_0 \pm 30$ MHz。 f_0 指 B1I 信号或 B2I 信号的载波频率。

4.2.8 杂散

卫星信号工作带宽（1dB）内，带内杂波与未调制载波相比至少抑制 50 dB。

4.2.9 信号相关性

(1) B1、B2 信号 I、Q 支路的 4 路测距码相位差（包含发射通道时延差）随机抖动小于 1 纳秒（ 1σ ）。

(2) B1I、B2I 信号载波与其载波上所调制的测距码间起始相位差随机抖动小于 3° （ 1σ ）（相对于载波）。

(3) I、Q 支路载波相位调制正交性小于 5° （ 1σ ）。

4.2.10 星上设备时延差

星上设备时延指从卫星的时间基准到发射天线相位中心的时延。基准设备时延含在导航电文的钟差参数 a_0 中，不确定度小于 0.5 纳秒（ 1σ ）。B1I、B2I 信号的设备时延与基准设备时延的差值分别由导航电文中的 T_{GD1} 和 T_{GD2} 表示，其不确定度小于 1 纳秒（ 1σ ）。

4.3 测距码特性

B1I 和 B2I 信号测距码（以下简称 C_{B1I} 码和 C_{B2I} 码）的码速率为 2.046 Mcps，码长为 2046。

C_{B1I} 码和 C_{B2I} 码均由两个线性序列 G1 和 G2 模二加产生平衡 Gold 码后截短 1 码片生成。G1 和 G2 序列分别由两个 11 级线性移位寄存器生成，其生成多项式为：

$$G1(X)=1+X+X^7+X^8+X^9+X^{10}+X^{11}$$

$$G2(X)=1+X+X^2+X^3+X^4+X^5 +X^8+X^9+X^{11}$$

G1 和 G2 的初始相位为：

G1 序列初始相位：01010101010

G2 序列初始相位：01010101010

C_{B1I} 码和 C_{B2I} 码发生器如图 4-1 所示。

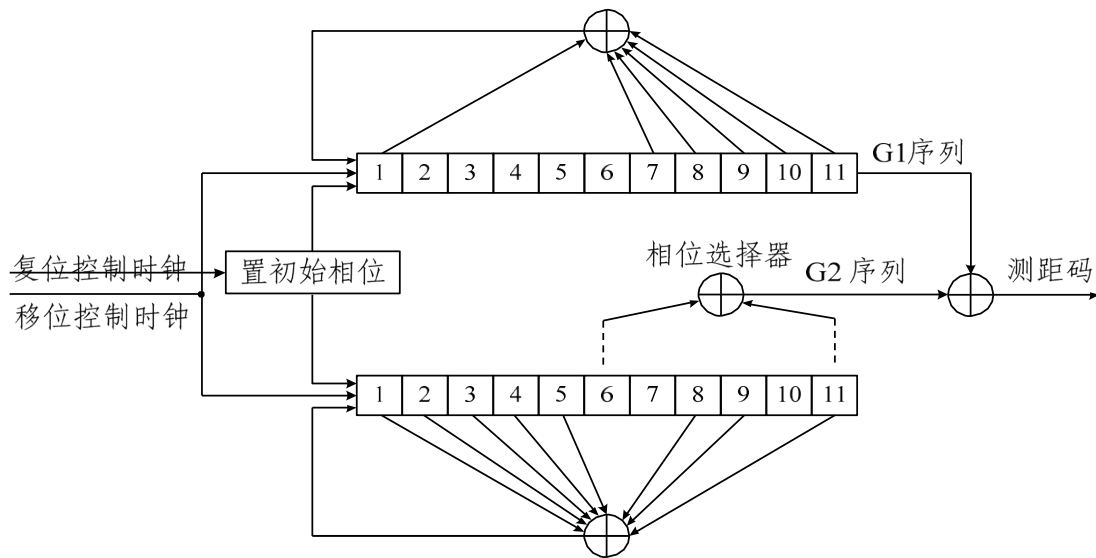


图 4-1 C_{B1I} 码和 C_{B2I} 码发生器示意图

通过对产生 G2 序列的移位寄存器不同抽头的模二加可以实现 G2 序列相位的不同偏移，与 G1 序列模二加后可生成不同卫星的测距码。G2 序列相位分配如表 4-2 所示。

表 4-2 G2 序列相位分配

编号	卫星类型	测距码编号	G2 序列相位分配
1	GEO 卫星	1	1EB3
2	GEO 卫星	2	1EB4
3	GEO 卫星	3	1EB5
4	GEO 卫星	4	1EB6
5	GEO 卫星	5	1EB8
6	MEO/IGSO 卫星	6	1EB9
7	MEO/IGSO 卫星	7	1EB10
8	MEO/IGSO 卫星	8	1EB11
9	MEO/IGSO 卫星	9	2EB7
10	MEO/IGSO 卫星	10	3EB4
11	MEO/IGSO 卫星	11	3EB5
12	MEO/IGSO 卫星	12	3EB6
13	MEO/IGSO 卫星	13	3EB8
14	MEO/IGSO 卫星	14	3EB9
15	MEO/IGSO 卫星	15	3EB10
16	MEO/IGSO 卫星	16	3EB11
17	MEO/IGSO 卫星	17	4EB5
18	MEO/IGSO 卫星	18	4EB6
19	MEO/IGSO 卫星	19	4EB8
20	MEO/IGSO 卫星	20	4EB9
21	MEO/IGSO 卫星	21	4EB10
22	MEO/IGSO 卫星	22	4EB11
23	MEO/IGSO 卫星	23	5EB6
24	MEO/IGSO 卫星	24	5EB8
25	MEO/IGSO 卫星	25	5EB9
26	MEO/IGSO 卫星	26	5EB10
27	MEO/IGSO 卫星	27	5EB11
28	MEO/IGSO 卫星	28	6EB8
29	MEO/IGSO 卫星	29	6EB9
30	MEO/IGSO 卫星	30	6EB10

续表 4-2 G2 序列相位分配

编号	卫星类型	测距码编号	G2 序列相位分配
31	MEO/IGSO 卫星	31	6EB11
32	MEO/IGSO 卫星	32	8EB9
33	MEO/IGSO 卫星	33	8EB10
34	MEO/IGSO 卫星	34	8EB11
35	MEO/IGSO 卫星	35	9EB10
36	MEO/IGSO 卫星	36	9EB11
37	MEO/IGSO 卫星	37	10EB11

5 导航电文

5.1 导航电文概述

5.1.1 导航电文划分

根据速率和结构不同,导航电文分为 D1 导航电文和 D2 导航电文。D1 导航电文速率为 50 bps,并调制有速率为 1 kbps 的二次编码,内容包含基本导航信息(本卫星基本导航信息、全部卫星历书信息、与其它系统时间同步信息);D2 导航电文速率为 500 bps,内容包含基本导航信息和增强服务信息(北斗系统的差分及完好性信息和格网点电离层信息)。

MEO/IGSO 卫星的 B1I 和 B2I 信号播发 D1 导航电文,GEO 卫星的 B1I 和 B2I 信号播发 D2 导航电文。

5.1.2 导航电文信息类别及播发特点

导航电文中基本导航信息和增强服务信息的类别及播发特点见表 5-1,其中电文的具体格式编排、详细内容及算法说明见后续章节内容。

表 5-1 D1、D2 导航电文信息类别及播发特点

电文信息类别		比特数	播发特点	
帧同步码 (Pre)		11	每子帧重复一次。	基本导航信息，所有卫星都播发
子帧计数 (FraID)		3		
周内秒计数 (SOW)		20		
本 卫 星 基 本 星 息	整周计数 (WN)	13	D1:在子帧 1、2、3 中播发，30 秒重复周期。 D2:在子帧 1 页面 1~10 的前 5 个字中播发，30 秒重复周期。 更新周期:1 小时。	
	用户距离精度指数 (URAI)	4		
	卫星自主健康标识 (SatH1)	1		
	星上设备时延差 (T _{GDI} , T _{GD2})	20		
	时钟数据龄期 (AODC)	5		
	钟差参数 (t _{oc} , a ₀ , a ₁ , a ₂)	74		
	星历数据龄期 (AODE)	5		
	星历参数 (t _{oe} , \sqrt{A} , e, w, tin, M ₀ , n ₀ , Ψ , i ₀ , IDOT, C _{uc} , C _{us} , C _{rc} , C _{rs} , C _{ic} , C _{is})	371		
电离层模型参数 (α _n , n, n=0~3)	64			
页面编号 (Pnum)		7	D1:在第 4 和第 5 子帧中播发。 D2:在第 5 子帧中播发。	
历 书 信 息	历书参数 (t _{oa} , \sqrt{A} , e, w, M ₀ , n ₀ , Ψ , i, a ₀ , a ₁)	176	D1:在子帧 4 页面 1~24、子帧 5 页面 1~6 中播发，12 分钟重复周期。 D2:在子帧 5 页面 37~60、95~100 中播发，6 分钟重复周期。 更新周期:小于 7 天。	
	历书周计数 (WN _a)	8	D1:在子帧 5 页面 7~8 中播发，12 分钟重复周期。	
	卫星健康信息 (Hea _i , i=1~30)	9×30	D2:在子帧 5 页面 35~36 中播发，6 分钟重复周期。 更新周期:小于 7 天。	

续表 5-1 D1、D2 导航电文信息类别及播发特点

电文信息类别		比特数	播发特点	
与其它系统时间同步信息	与 UTC 时间同步参数 (A_{0UTC} , A_{1UTC} , tit_{LS} , tit_{LSF} , WN_{LSF} , DN)	88	D1:在子帧 5 页面 9~10 中播发, 12 分钟重复周期。 D2:在子帧 5 页面 101~102 中播 发, 6 分钟重复周期。 更新周期:小于 7 天。	基本导航信息' 所有卫星都播发
	与 GPS 时间同步参数 (A_{0GPS} , A_{1GPS})	30		
	与 Galileo 时间同步参数 (A_{0Gal} , A_{1Gal})	30		
	与 GLONASS 时间同步参数 (A_{0GLO} , A_{1GLO})	30		
基本导航信息页面编号 ($Pnum1$)		4	D2:在子帧 1 全部 10 个页面中 播发。	完好性、差分信息、格网点电离层信息只由 GEO
完好性及差分信息页面编号 ($Pnum2$)		4	D2:在子帧 2 全部 6 个页面中播 发。	
完好性及差分自主健康信息 ($SatH2$)		2	D2:在子帧 2 全部 6 个页面中播 发。更新周期:3 秒。	
北斗完好性及差分信息卫星标识 ($BDID_i$, $i=1\sim 30$)		1×30	D2:在子帧 2 全部 6 个页面中播 发。更新周期:3 秒。	
北斗卫星完好性及差分信息	用户差分距离误差指数 ($UDREI_i$, $i=1\sim 18$)	4×18	D2:在子帧 2 中播发。 更新周期:3 秒。	
	区域用户距离精度指数 ($RURAI_i$, $i=1\sim 18$)	4×18	D2:在子帧 2、3 中播发。 更新周期:18 秒。	
	等效钟差改正数 (tit_i , $i=1\sim 18$)	13×18		
格网点电离层信息	电离层格网点垂直延迟 ($d\tau$)	9×320	D2:在子帧 5 页面 1~13, 61~73 中播发。 更新周期:6 分钟。	
	电离层格网点垂直延迟误差 指数 ($GIVEI$)	4×320		

5.1.3 导航电文数据码纠错编码方式

导航电文采取 BCH(15,11,1)码加交织方式进行纠错。BCH 码长为 15 比特，信息位为 11 比特，纠错能力为 1 比特，其生成多项式为 $g(X)=X^4+X+1$ 。

导航电文数据码按每 11 比特顺序分组，对需要交织的数据码先进行串/并变换，然后进行 BCH(15,11,1)纠错编码，每两组 BCH 码，按 1 比特顺序进行并/串变换，组成 30 比特码长的交织码，其生成方式见图 5-1。

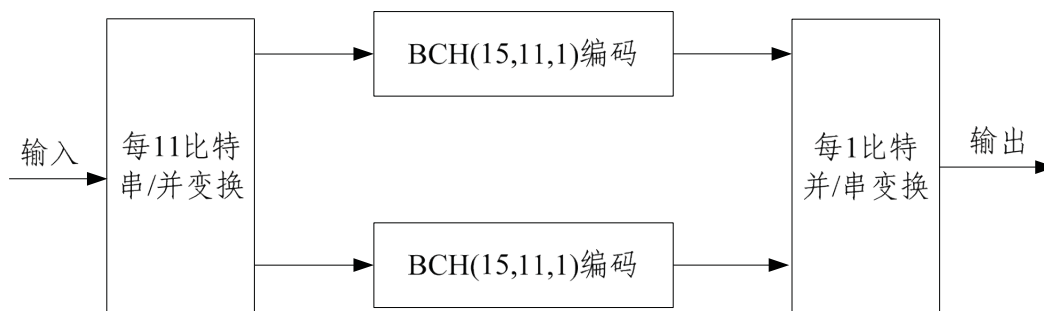


图 5-1 导航电文纠错编码示意图

BCH(15,11,1)编码框图如图 5-2 所示。其中，4 级移位寄存器的初始状态为全 0，门 1 开，门 2 关，输入 11 比特信息组 X，然后开始移位，信息组一路经或门输出，另一路进入 $g(X)$ 除法电路，经 11 次移位后 11 比特信息组全部送入电路，此时移位寄存器内保留的即为校验位，最后门 1 关，门 2 开，再经过 4 次移位，将移位寄存器的校验位全部输出，与原先的 11 比特信息组成一个长为 15 比特 BCH 码。门 1 开，门 2 关，送入下一个信息组重复上述过程。

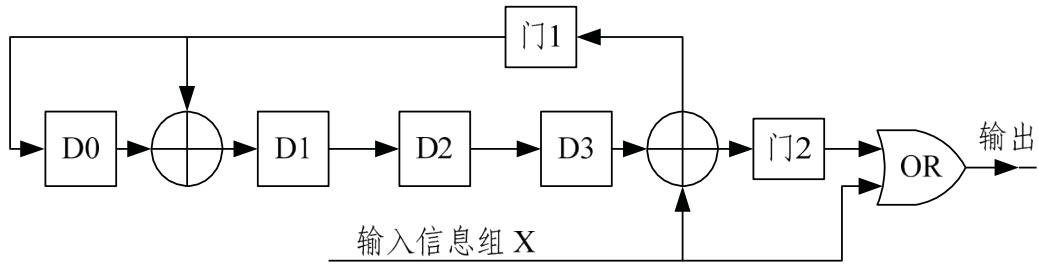


图 5-2 BCH(15,11,1)编码框图

接收机接收到数据码信息后按每 1 比特顺序进行串/并变换，进行 BCH(15,11,1)纠错译码，对交织部分按 11 比特顺序进行并/串变换，组成 22 比特信息码，其生成方式见下图 5-3。

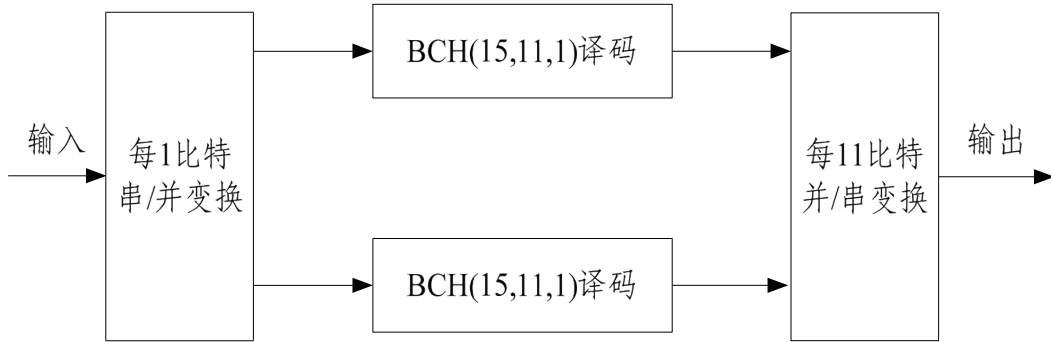


图 5-3 导航电文纠错译码示意图

BCH(15,11,1)译码框图见图 5-4，其中，初始时移位寄存器清零，BCH 码组逐位输入到除法电路和 15 级纠错缓存器中，当 BCH 码的 15 位全部输入后，纠错信号 ROM 表利用除法电路的 4 级移位寄存器的状态 D3、D2、D1、D0 查表，得到 15 位纠错信号与 15 级纠错缓存器里的值模二加，最后输出纠错后的信息码组。纠错信号的 ROM 表见表 5-2。

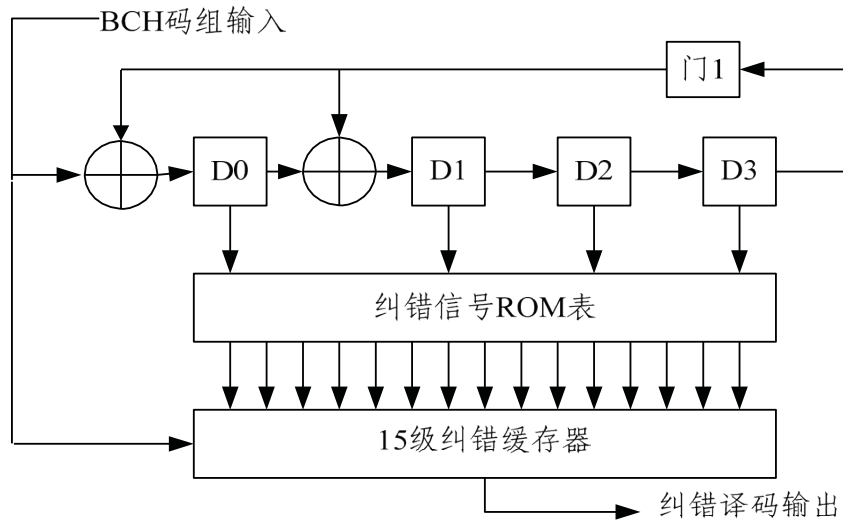


图 5-4 BCH(15,11,1)译码框图

表 5-2 纠错信号的 ROM 表

D ₃ D ₂ D ₁ D ₀	15 位纠错信号
0000	000000000000000
0001	000000000000001
0010	000000000000010
0011	000000000010000
0100	000000000000100
0101	000000100000000
0110	000000000100000
0111	000010000000000
1000	000000000001000
1001	100000000000000
1010	000001000000000
1011	000000010000000
1100	000000001000000
1101	010000000000000
1110	000100000000000
1111	001000000000000

每两组 BCH(15,11,1)码按比特交错方式组成 30 比特码长的交织码，30 比特码长的交织码编码结构为：

X_1^1	X_2^1	X_1^2	X_2^2		X_1^{11}	X_2^{11}	P_1^1	P_2^1	P_2^2	P_2^2	P_3^3	P_2^3	P_4^4	P_2^4
---------	---------	---------	---------	--	------------	------------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------	---------

其中： X_i^j 为信息位， i 表示第 i 组 BCH 码，其值为 1 或 2； j 表示第 i 组 BCH 码中的第 j 个信息位，其值为 1~11； P_i^m 为校验位， i 表示第 i 组 BCH 码，其值为 1 或 2； m 表示第 i 组 BCH 码中的第 m 个校验位，其值为 1~4。

5.2 D1 导航电文

5.2.1 D1 导航电文上调制的二次编码

D1 导航电文上调制的二次编码是指在速率为 50 bps 的 D1 导航电文上调制一个 Neumann-Hoffman 码（以下简称 NH 码）。该 NH 码周期为 1 个导航信息位的宽度，NH 码 1 比特宽度则与扩频码周期相同。如图 5-5 所示，D1 导航电文中一个信息位宽度为 20 毫秒，扩频码周期为 1 毫秒，因此采用 20 比特的 NH 码（0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0），码速率为 1 kbps，码宽为 1 毫秒，以模二加形式与扩频码和导航信息码同步调制。

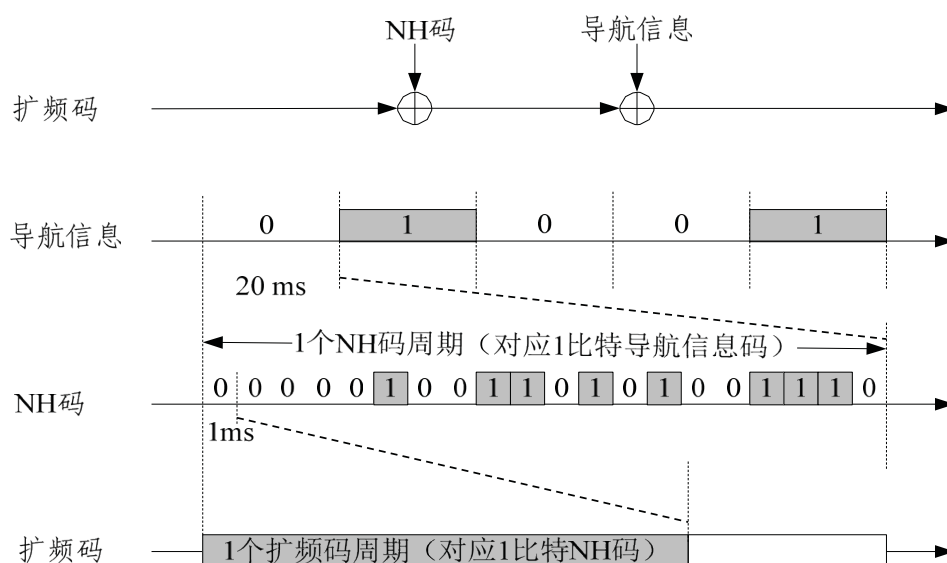


图 5-5 二次编码示意图

5.2.2 D1 导航电文帧结构

D1 导航电文由超帧、主帧和子帧组成。每个超帧为 36000 比特，历时 12 分钟，每个超帧由 24 个主帧组成（24 个页面）；每个主帧为 1500 比特，历时 30 秒，每个主帧由 5 个子帧组成；每个子帧为 300 比特，历时 6 秒，每个子帧由 10 个字组成；每个字为 30 比特，历时 0.6 秒。

每个字由导航电文数据及校验码两部分组成。每个子帧第 1 个字的前 15 比特信息不进行纠错编码，后 11 比特信息采用 BCH(15,11,1) 方式进行纠错，信息位共有 26 比特；其它 9 个字均采用 BCH(15,11,1) 加交织方式进行纠错编码，信息位共有 22 比特（可参考 5.1.3）。

D1 导航电文帧结构如图 5-6 所示。

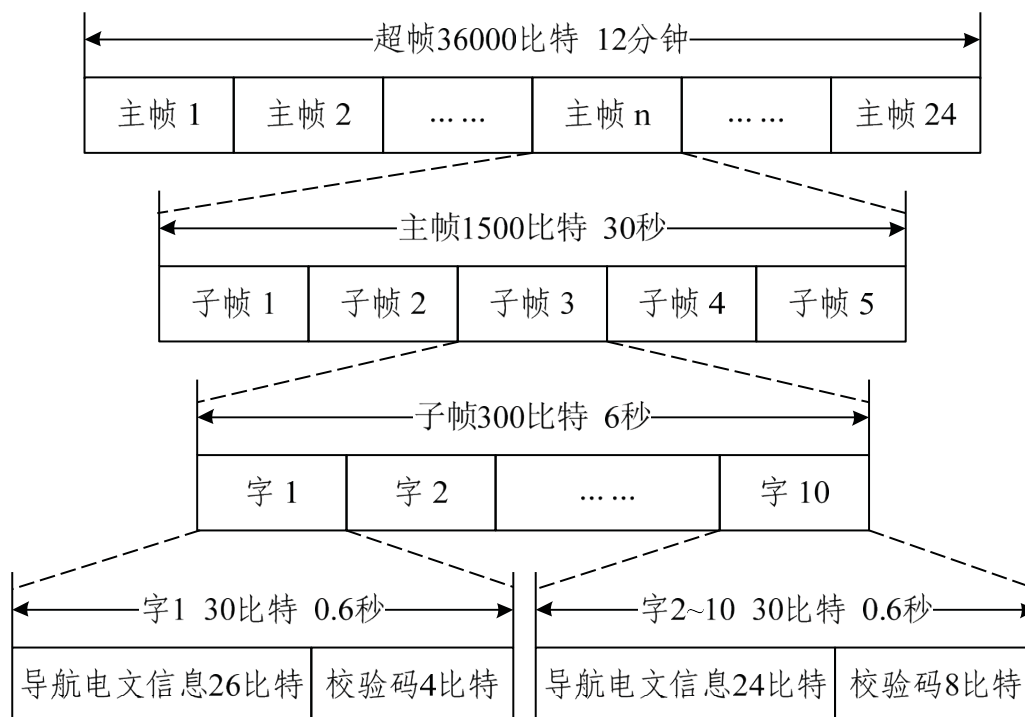


图 5-6 D1 导航电文帧结构

5.2.3 D1 导航电文详细结构编排

D1 导航电文包含有基本导航信息，包括：本卫星基本导航信息（包括周内秒计数、整周计数、用户距离精度指数、卫星自主健康标识、电离层延迟模型改正参数、卫星星历参数及数据龄期、卫星钟差参数及数据龄期、星上设备时延差）、全部卫星历书及与其它系统时间同步信息（UTC、其它卫星导航系统）。整个 D1 导航电文传送完毕需要 12 分钟。

D1 导航电文主帧结构及信息内容如图 5-7 所示。子帧 1 至子帧 3 播发基本导航信息；子帧 4 和子帧 5 的信息内容由 24 个页面分时发送，其中子帧 4 的页面 1~24 和子帧 5 的页面 1~10 播发全部卫星历书信息及与其它系统时间同步信息；子帧 5 的页面 11~24 为预留页面。

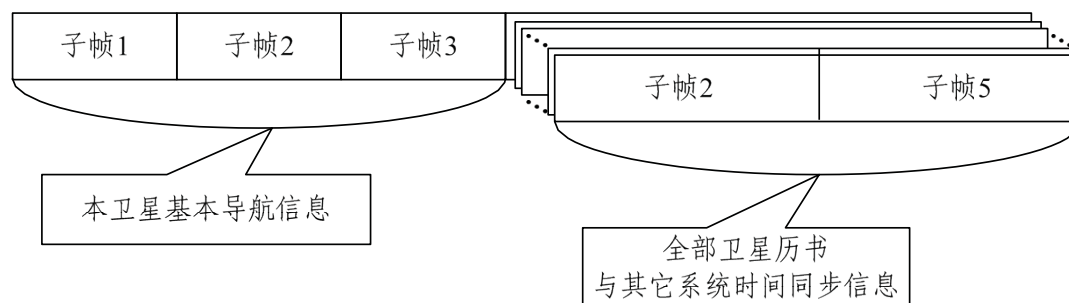


图 5-7 D1 导航电文主帧结构与信息内容

D1 导航电文各子帧格式的编排见图 5-8~5-11。

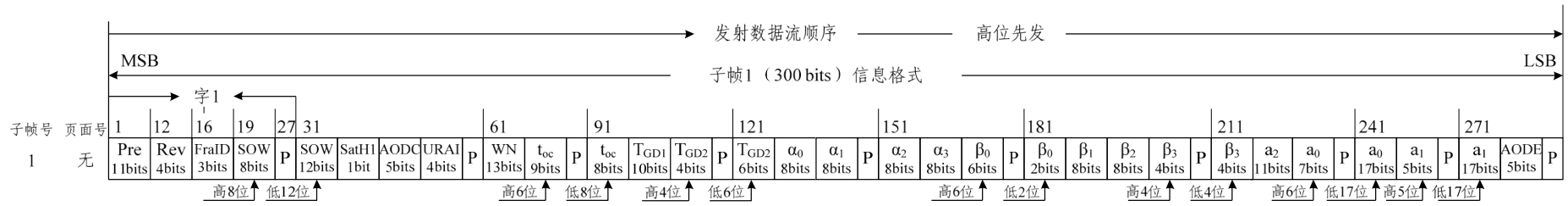


图 5-8 D1 导航电文子帧 1 信息格式编排

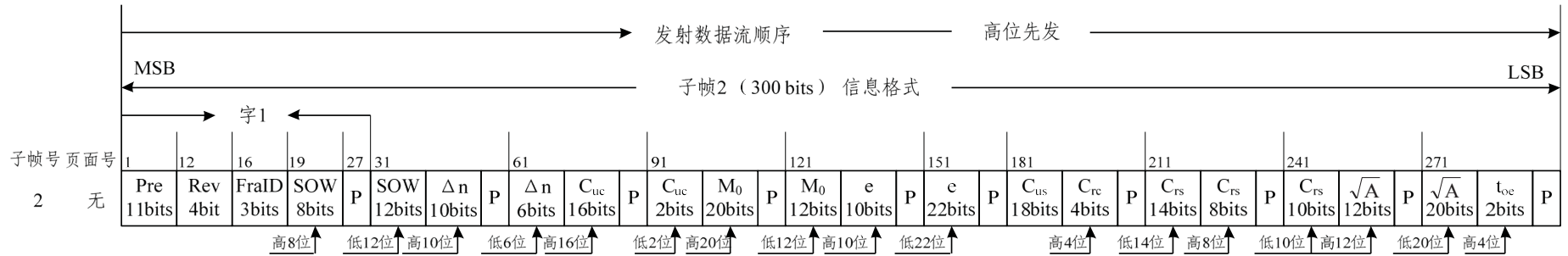


图 5-9 D1 导航电文子帧 2 信息格式编排

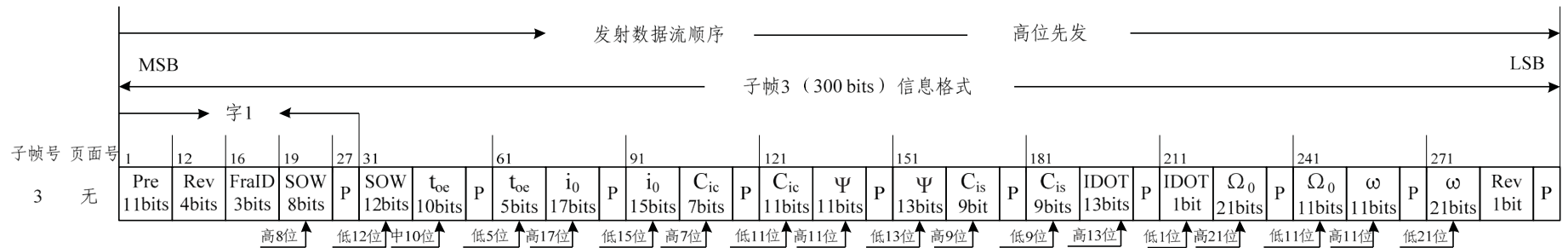


图 5-10 D1 导航电文子帧 3 信息格式编排

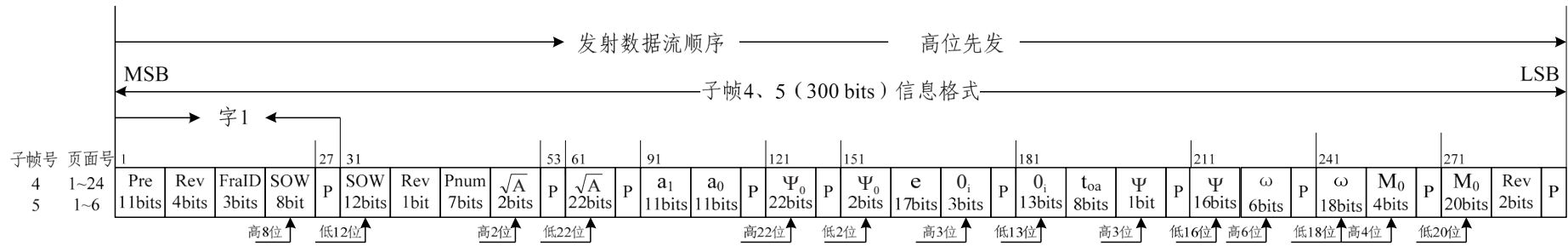


图 5-11-1 D1 导航电文子帧 4 页面 1~24 和子帧 5 页面 1~6 信息格式编排

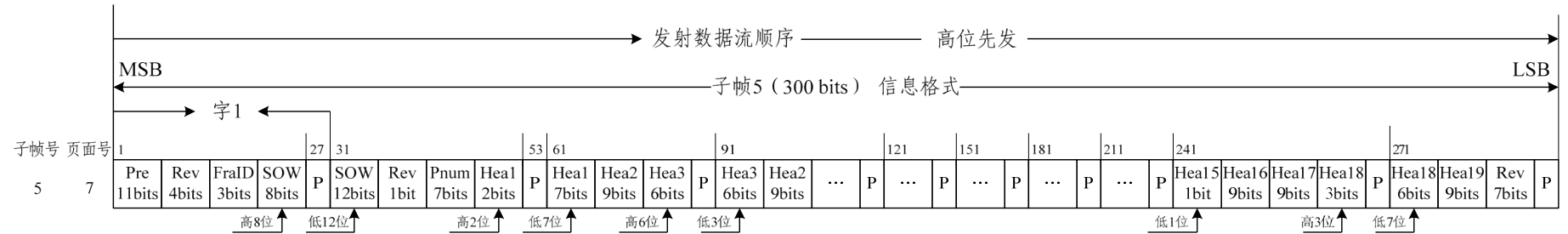


图 5-11-2 D1 导航电文子帧 5 页面 7 信息格式编排

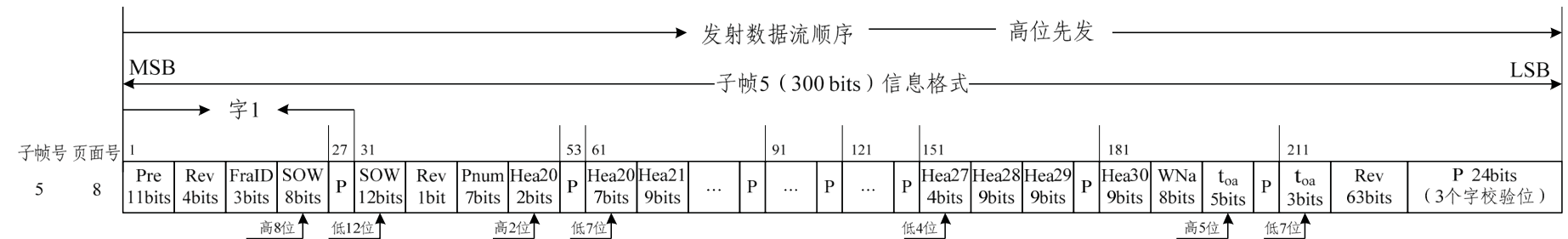


图 5-11-3 D1 导航电文子帧 5 页面 8 信息格式编排

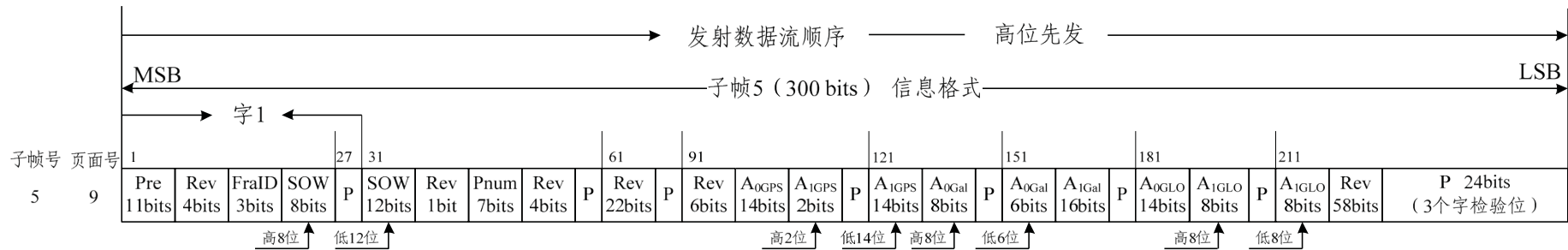


图 5-11-4 D1 导航电文子帧 5 页面 9 信息格式编排

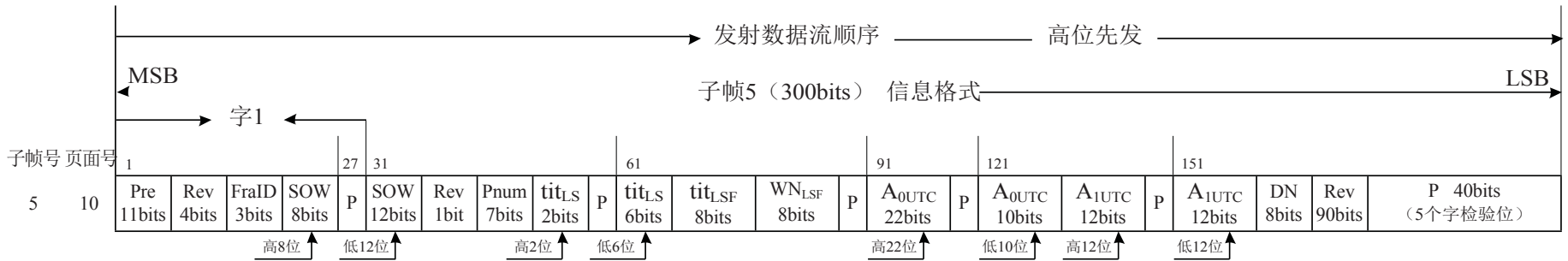


图 5-11-5 D1 导航电文子帧 5 页面 10 信息格式编排

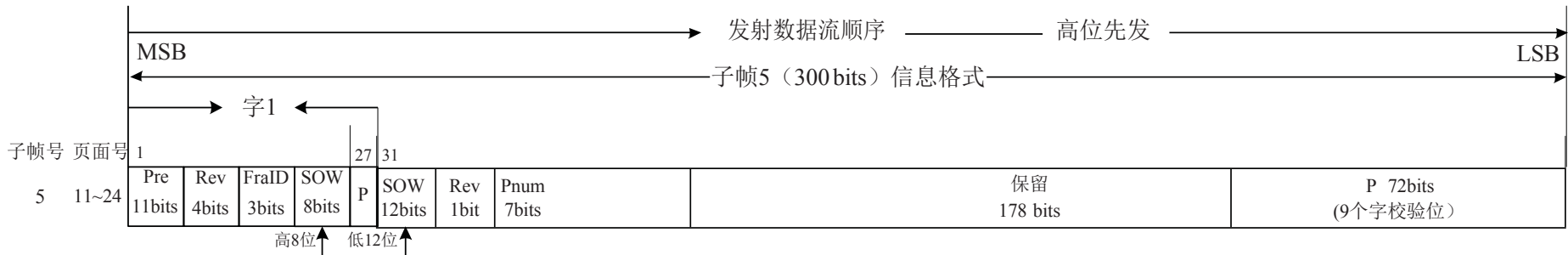


图 5-11-6 D1 导航电文子帧 5 预留页面 11~24 信息格式编排

5.2.4 D1 导航电文内容和算法

5.2.4.1 帧同步码 (Pre)

每一子帧的第 1~11 比特为帧同步码 (Pre)，由 11 比特修改巴克码组成，其值为“11100010010”，第 1 比特上升沿为秒前沿，用于时标同步。

5.2.4.2 子帧计数 (FraID)

每一子帧的第 16~18 比特为子帧计数 (FraID)，共 3 比特，具体定义如表 5-3 所示：

表 5-3 子帧计数编码定义

编 码	001	010	011	100	101	110	111
子帧序列号	1	2	3	4	5	保留	保留

5.2.4.3 周内秒计数 (SOW)

每一子帧的第 19~26 比特和第 31~42 比特为周内秒计数 (SOW)，共 20 比特，每周日北斗时 0 点 0 分 0 秒从零开始计数。周内秒计数所对应的秒时刻是指本子帧同步头的第一个脉冲上升沿所对应的时刻。

5.2.4.4 整周计数 (WN)

整周计数(WN)共 13 比特，为北斗时的整周计数，其值范围为 0~8191，以北斗时 2006 年 1 月 1 日 0 点 0 分 0 秒为起点，从零开始计数。

5.2.4.5 用户距离精度指数 (URAI)

用户距离精度 (URA) 用来描述卫星空间信号精度，单位是米，以用户距离精度指数 (URAI) 表征，URAI 为 4 比特，范围从 0 到 15，与 URA 之间的关系见表 5-4。

表 5-4 URAI 值与 URA 范围对应关系

编 码	URAI 值	URA 范围 $C_m, 1\sigma$
0000	0	$0.00 < URA < 2.40$
0001	1	$2.40 < URA < 3.40$
0010	2	$3.40 < URA < 4.85$
0011	3	$4.85 < URA < 6.85$
0100	4	$6.85 < URA < 9.65$
0101	5	$9.65 < URA < 13.65$
0110	6	$13.65 < URA < 24.00$
0111	7	$24.00 < URA < 48.00$
1000	8	$48.00 < URA < 96.00$
1001	9	$96.00 < URA < 192.00$
1010	10	$192.00 < URA < 384.00$
1011	11	$384.00 < URA < 768.00$
1100	12	$768.00 < URA < 1536.00$
1101	13	$1536.00 < URA < 3072.00$
1110	14	$3072.00 < URA < 6144.00$
1111	15	$URA > 6144.00$

用户收到任意一个 URAI (用 N 表示), 可根据公式计算出相应的 URA 值 (用 X 表示), 其计算式如下:

当 $0 < N < 6$ 时, $X = 2^{N/2+1}$;

当 $6 < N < 15$ 时, $X = 2^{N-2}$;

当 $N = 15$ 时, 表示卫星轨道机动或者没有精度预报。

如 $N=1、3、5$ 时, X 经四舍五入后分别为 2.8、5.7、11.3。

5.2.4.6 卫星自主健康标识 (SatH1)

卫星自主健康标识 (SatH1) 共 1 比特, 其中“0”表示卫星可用, “1”表示卫星不可用。

5.2.4.7 电离层延迟改正模型参数 ($\alpha_n, (J_n)$)

电离层延迟改正预报模型包括 8 个参数，共 64 比特，8 个参数都是 2 进制丰码。见表 5-5。

表 5-5 电离层延迟改正模型参数

参数	比特数	比例因子(CLSB)	单位
α_0	8*	2^{-30}	s
α_1	8*	2^{-27}	s/ π
α_2	8*	2^{-24}	s/ π^2
α_3	8*	2^{-24}	s/ π^3
0	8*	2^{11}	s
1	8*	2^{14}	s/ π
2	8*	2^{16}	s/ π^2
3	8*	2^{16}	s/ π^3

* 为 2 进制丰码，最高有效位 (MSB) 是符号位 (+ 或 -)。

用户利用 8 参数和 Klobuchar 模型可计算 B1I 信号的电离层垂直延迟改正 $I_z(t)$ ，单位为秒，具体如下：

$$I_z(t) \approx \lambda \left[5 \times 10^9 \left(A_2 \cos \left[\frac{2\pi (t - 50400)}{A_4} \right] + A_0 + A_1 \left(\frac{t - 50400}{A_4} \right) + A_2 \left(\frac{t - 50400}{A_4} \right)^2 + A_3 \left(\frac{t - 50400}{A_4} \right)^3 \right) \right]$$

式中：

t 是接收机至卫星连线与电离层交点（穿刺点 M）处的地方时（取值范围为 0~86400），单位为秒。其计算公式为：

$$t \approx (t_E + A_M \times 43200/\pi) \text{ [模 } 86400 \text{]}$$

其中， t_E 是用户测量时刻的 BDT，取周内秒计数部分。 A_M 是电离层穿刺点的地理经度，单位为弧度。

A_2 为白天电离层延迟余弦曲线的幅度，用 α_n 系数求得：

$$A_2 = \sum_{n=0}^3 \alpha_n \left| \cos \frac{M}{\pi} \right|^n$$

A_4 为余弦曲线的周期，单位为秒，用 β_n 系数求得：

$$A_4 = \sum_{n=0}^3 \beta_n \left| \cos \frac{M}{\pi} \right|^n, \quad A_4 = 172800$$

上述两式中的 β_M 是电离层穿刺点的地理纬度，单位为弧度。

电离层穿刺点的地理纬度 β_M 、地理经度 A_M 计算公式为：

$$\beta_M = \arcsin(\sin \beta_u \cdot \cos \varpi + \sin \beta_u \cdot \sin \varpi \cdot \cos A)$$

$$A_M = A_u + \arcsin \left[\frac{\cos \beta_u \cdot \sin A}{\cos \beta_M} \right]$$

上述式中， β_u 为用户地理纬度， λ_u 为用户地理经度，单位均为弧度； A 为卫星方位角，单位为弧度； ϖ 为用户和穿刺点的地心张角，单位为弧度，其计算公式为：

$$\varpi = \frac{\pi}{2} - E + \arcsin \left[\frac{R}{R+h} \cdot \cos E \right]$$

其中， R 为地球半径，取值 6378 千米； E 为卫星高度角，单位为弧度； h 为电离层单层高度，取值 375 千米。

通过公式 $I_{B1I}(t) = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{R}{R+h} \cdot \cos E \right)^2}} \cdot I_z(t)$ ，可将 $I_z(t)$ 转化为 B1I 信号

传播路径上的电离层延迟 $I_{B1I}(t)$ ，单位为秒。

对于 B2I 信号，其传播路径上的电离层延迟 $I_{B2I}(t)$ 需在 $I_{B1I}(t)$ 的基础上

乘以一个与频率有关的因子 $k(f)$ ，其值为：

$$k(f) = \frac{f_1^2}{f_2^2} \left(\frac{1561.098}{1207.140} \right)^2$$

其中， f_1 表示 B1I 信号的标称载波频率， f_2 表示 B2I 信号的标称载波频率，单位为 MHz。

注：位于南半球的用户使用电离层延迟改正预报模型，电离层延迟改正精度比位于北半球的用户略有降低。

对于 B1I 和 B2I 双频用户，采用 B1I/B2I 双频消电离层组合伪距公式来修正电离层效应引起的群延迟，具体计算方法如下：

$$PR = \frac{PR_{B2I} - k(f) \cdot PR_{B1I}}{1 - k(f)} - \frac{C \cdot (T_{GD2} - k(f) \cdot T_{GD1})}{1 - k(f)}$$

式中：

PR：经过电离层修正后的伪距；

PR_{B1I} ：B1I 信号的观测伪距（经卫星钟差修正但未经 T_{GD1} 修正）；

PR_{B2I} ：B2I 信号的观测伪距（经卫星钟差修正但未经 T_{GD2} 修正）；

T_{GD1} ：B1I 信号的星上设备时延差；

T_{GD2} ：B2I 信号的星上设备时延差；

C：光速，值为 2.99792458×10^8 m/s。

5.2.4.8 星上设备时延差 (T_{GD1}, T_{GD2})

星上设备时延差 (T_{GD1}, T_{GD2}) 各 10 比特，为 2 进制丰码，最高位为符号位，“0”表示为正、“1”表示为负，比例因子 0.1，单位为纳秒，其具体算法见 5.2.4.10 节。

5.2.4.9 时钟数据龄期 (AODC)

时钟数据龄期 (AODC) 共 5 比特, 是钟差参数的外推时间间隔, 即本时段钟差参数参考时刻与计算钟差参数所作测量的最后观测时刻之差, 在 BDT 整点更新, 具体定义如下。

表 5-6 时钟数据龄期值定义

AODC 值	定义
< 25	单位为 1 小时, 其值为卫星钟差参数数据龄期的小时数
25	表示卫星钟差参数数据龄期为 2 天
26	表示卫星钟差参数数据龄期为 3 天
27	表示卫星钟差参数数据龄期为 4 天
28	表示卫星钟差参数数据龄期为 5 天
29	表示卫星钟差参数数据龄期为 6 天
30	表示卫星钟差参数数据龄期为 7 天
31	表示卫星钟差参数数据龄期大于 7 天

5.2.4.10 钟差参数 (t_{oc} , a_0 , a_1 , a_2)

钟差参数包括 t_{oc} , a_0 , a_1 和 a_2 , 共占用 74 比特。 t_{oc} 是本时段钟差参数参考时间, 单位为秒, 有效范围是 0~604792。其它 3 个参数为 2 进制丰码。

正常情况下, 钟差参数的更新周期为 1 小时, 且在 BDT 整点更新, t_{oc} 值取整点时刻。 t_{oc} 值在周内单调递增, 当任意一钟差参数变化时, t_{oc} 也将变化。

因异常原因发生新的导航电文注入时, 钟差参数可能在非整点时刻更新, 此时 t_{oc} 值会发生变化而不再取整点时刻。

当 t_{oc} 值已经不是整点时刻 (即最近有过一次非整点更新) 时, 如果钟差参数再次发生非整点更新, 那么 t_{oc} 值也会再次发生变化, 确保 t_{oc} 值与更新之前的播发值不同。

无论是正常更新还是非整点更新，钟差参数的更新始终从某一超帧的起始时刻开始。

钟差参数的定义见表 5-7。

表 5-7 钟差参数说明

参数	比特数	比例因子(CLSB)	有效范围	单位
t_{oc}	17	2^3	604792	s
a_0	24^*	2^{-33}	—	s
a_1	22^*	2^{-50}	—	s/s
a_2	11^*	2^{-66}	—	s/s^2

* 为 2 进制补码，最高有效位 (MSB) 是符号位 (+ 或 -)。

用户可通过下式计算出信号发射时刻的北斗时：

$$t = t_{sv} - \text{tit}_{sv}$$

式中：

t 为信号发射时刻的北斗时，单位为秒；

t_{sv} 为信号发射时刻的卫星测距码相位时间，单位为秒；

tit_{sv} 为卫星测距码相位时间偏移，单位为秒，由下式给出：

$$\text{tit}_{sv} = a_0 + a_1(t - t_{oc}) + a_2(t - t_{oc})^2 + \text{tit}_r$$

式中， t 可忽略精度，用 t_{sv} 替代。

tit_r 是相对论校正项，单位为秒，其值为：

$$\text{tit}_r = F \cdot e \cdot \sqrt{A} \cdot \sin E_k$$

其中，

e 为卫星轨道偏心率，由本卫星星历参数得到；

\sqrt{A} 为卫星轨道长半轴的开方，由本卫星星历参数得到；

E_k 为卫星轨道偏近点角，由本卫星星历参数计算得到；

$$F = -2\mu^{1/2}/C^2;$$

$\mu = 3.986004418 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$ 为地球引力常数；

$C = 2.99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$ 为光速。

对使用 B1I 信号的单频用户，需使用下式进行 T_{GD1} 修正：

$$(tit_{sv})_{B1I} = tit_{sv} - T_{GD1}$$

对使用 B2I 信号的单频用户，需使用下式进行 T_{GD2} 修正：

$$(tit_{sv})_{B2I} = tit_{sv} - T_{GD2}$$

5.2.4.11 星历数据龄期 (AODE)

星历数据龄期 (AODE) 共 5 比特，是星历参数的外推时间间隔，即本时段星历参数参考时刻与计算星历参数所作测量的最后观测时刻之差，在 BDT 整点更新，具体定义如下。

表 5-8 星历数据龄期值定义

AODE 值	定义
< 25	单位为 1 小时，其值为星历数据龄期的小时数
25	表示星历数据龄期为 2 天
26	表示星历数据龄期为 3 天
27	表示星历数据龄期为 4 天
28	表示星历数据龄期为 5 天
29	表示星历数据龄期为 6 天
30	表示星历数据龄期为 7 天
31	表示星历数据龄期大于 7 天

5.2.4.12 星历参数 ($t_{oe}\sqrt{A}$, e , w , Ω , M_0 , θ_0 , ω , i_0 , $IDOT$, C_{uc} ,

C_{us} , C_{rc} , C_{rs} , C_{ic} , C_{is})

星历参数描述了在一定拟合间隔下得出的卫星轨道。它包括 15 个轨道参数、1 个星历参考时间。星历参数更新周期为 1 小时。

正常情况下，星历参数的更新周期为 1 小时，且在 BDT 整点更新， t_{oe} 值取整点时刻。 t_{oe} 值在周内单调递增，当任意一星历参数变化时， t_{oe} 也将变化。若 t_{oe} 变化， t_{oc} 也会变化。

因异常原因发生新的导航电文注入时，星历参数可能在非整点时刻更新，此时 t_{oe} 值会发生变化而不再取整点时刻。当 t_{oe} 值已经不是整点时刻（即最近有过一次非整点更新）时，如果星历参数再次发生非整点更新，那么 t_{oe} 值也会再次发生变化，确保 t_{oe} 值与更新之前的播发值不同。

无论是正常更新还是非整点更新，星历参数的更新始终从某一超帧的起始时刻开始。

星历参数定义见表 5-9。

表 5-9 星历参数定义

参 数	定 义
t_{oe}	星历参考时间
\sqrt{A}	长半轴的平方根
e	偏心率
w	近地点幅角
tin	卫星平均运动速率与计算值之差
M_0	参考时间的平近点角
n_0	按参考时间计算的升交点赤经
Ψ	升交点赤经变化率
i_0	参考时间的轨道倾角
IDOT	轨道倾角变化率
C_{uc}	纬度幅角的余弦调和改正项的振幅
C_{us}	纬度幅角的正弦调和改正项的振幅
C_{rc}	轨道半径的余弦调和改正项的振幅

续表 5-9 星历参数定义

参数	定义
C_{rs}	轨道半径的正弦调和改正项的振幅
C_{ic}	轨道倾角的余弦调和改正项的振幅
C_{is}	轨道倾角的正弦调和改正项的振幅

星历参数说明见表 5-10。

表 5-10 星历参数说明

参数	比特数	比例因子(CLSB)	有效范围	单位
t_{oe}	17	2^3	604792	s
\sqrt{A}	32	2^{-19}	8192	$m^{1/2}$
e	32	2^{-33}	0.5	—
w	32^*	2^{-31}	□1	π
tin	16^*	2^{-43}	□ 3.73×10^{-9}	π/s
M_0	32^*	2^{-31}	□1	π
n_0	32^*	2^{-31}	□1	π
Ψ	24^*	2^{-43}	□ 9.54×10^{-7}	π/s
i_0	32^*	2^{-31}	□1	π
IDOT	14^*	2^{-43}	□ 9.31×10^{-10}	π/s
C_{uc}	18^*	2^{-31}	□ 6.10×10^{-5}	rad
C_{us}	18^*	2^{-31}	□ 6.10×10^{-5}	rad
C_{rc}	18^*	2^{-6}	□2048	m
C_{rs}	18^*	2^{-6}	□2048	m
C_{ic}	18^*	2^{-31}	□ 6.10×10^{-5}	rad
C_{is}	18^*	2^{-31}	□ 6.10×10^{-5}	rad

* 为 2 进制补码，最高有效位 (MSB) 是符号位 (+ 或 -)。

用户机根据接收到的星历参数可以计算卫星在 CGCS2000 坐标系中的坐标。算法见表 5-11。

表 5-11 星历参数用户算法

计算公式	描述
$\mu = 3.986004418 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$	CGCS2000 坐标系下的地球引力常数
$\Psi_e = 7.2921150 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$	CGCS2000 坐标系下的地球旋转速率
$\pi = 3.1415926535898$	圆周率
$A = \sqrt{A^2}$	计算半长轴
$n_0 = \sqrt{\frac{\mu}{A^3}}$	计算卫星平均角速度
$t_k = t_{oe} + \Delta t_k$	计算观测历元到参考历元的时间差
$n = n_0 + \Delta n$	改正平均角速度
$M_k = M_0 + n t_k$	计算平近点角
$M_k = E_k - e \sin E_k$	迭代计算偏近点角
$\sin v_k = \frac{\sqrt{1-e^2} \sin E_k}{1 - e \cos E_k}$ $\lambda = \arctan\left(\frac{\cos E_k - e}{1 - e \cos E_k}\right)$	计算真近点角
$u_k = v_k + \omega$	计算纬度幅角参数
$u_k = C_{us} \sin 2u_k + C_{uc} \cos 2u_k$ $\lambda = C_{rs} \sin 2u_k + C_{rc} \cos 2u_k$ $i_k = C_{is} \sin 2u_k + C_{ic} \cos 2u_k$	纬度幅角改正项 径向改正项 轨道倾角改正项
$u_k = u_k + \Delta u_k$	计算改正后的纬度幅角
$r_k = A(1 - e \cos E_k)$	计算改正后的径向
$i_k = i_0 + \text{IDOT} \cdot t_k + \Delta i_k$	计算改正后的轨道倾角
$x_k = r_k \cos u_k$ $y_k = r_k \sin u_k$	计算卫星在轨道平面内的坐标

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/708066040006006124>