

北斗卫星导航系统

空间信号接口控制文件

精密单点定位服务信号PPP-B2b（1.0版）



中国卫星导航系统管理办公室

二〇二〇年七月

目 录

1	声明	1
2	文件范畴	2
3	北斗系统概述	3
3.1	空间星座	3
3.2	坐标系统	3
3.3	时间系统	4
4	信号特性	5
4.1	信号结构	5
4.2	信号调制	5
4.3	逻辑电平	6
4.4	极化方式	6
4.5	载波相位噪声	6
4.6	杂散	6
4.7	相关损耗	6
4.8	数据/码一致性	6
4.9	信号一致性	6
4.10	地面接收功率电平	6
5	测距码特性	7
6	导航电文结构	9
6.1	信息格式	9
6.1.1	基本描述	9
6.1.2	CRC 校验	9
6.1.3	编码方案和编码参数	10
6.2	信息内容	12
6.2.1	信息类型概述	12
6.2.2	信息类型 1（卫星掩码）	13
6.2.3	信息类型 2（轨道改正数及用户测距精度指数）	15

6.2.4	信息类型 3 (码间偏差改正数)	17
6.2.5	信息类型 4 (钟差改正数)	19
6.2.6	信息类型 5 (用户测距精度指数)	21
6.2.7	信息类型 6 (钟差改正与轨道改正-组合 1)	23
6.2.8	信息类型 7 (钟差改正与轨道改正-组合 2)	25
6.2.9	信息类型 63	27
6.3	信息有效期	27
7	用户算法	28
7.1	PPP-B2b 信息增强对象	28
7.2	时间空间坐标系	28
7.3	卫星码间偏差修正	28
7.4	卫星轨道改正	29
7.5	卫星钟差改正	29
7.6	用户测距精度指数	30
7.7	系统时间解算	30
8	缩略语	31
附录	多进制 LDPC 编译码方法及示例	33

图目录

图 5-1	PPP-B2b 信号 I 支路测距码发生器	7
图 6-1	PPP-B2b 信号 I 支路电文数据基本帧结构	9
图 6-2	$H_{81,162}$ 读取流程图	11
图 6-3	信息类型 1 格式编排	13
图 6-4	信息类型 2 格式编排	15
图 6-5	信息类型 3 格式编排	17
图 6-6	信息类型 4 格式编排	19
图 6-7	信息类型 5 格式编排	22
图 6-8	信息类型 6 格式编排	23
图 6-9	信息类型 7 格式编排	25

表目录

表 3-1	BDCS 参考椭球的基本常数	3
表 4-1	PPP-B2b 信号结构	5
表 4-2	逻辑电平与信号电平之间的映射关系	6
表 5-1	PPP-B2b 信号 I 支路测距码参数	7
表 6-1	信息类型定义	12
表 6-2	信息类型 1 参数描述	13
表 6-3	信息类型 2 参数描述	15
表 6-4	信息类型 3 参数描述	17
表 6-5	信号与跟踪模式标识定义	18
表 6-6	信息类型 4 参数描述	19
表 6-7	信息类型 4 中子类型与卫星的对应关系	20
表 6-8	信息类型 5 参数描述	22
表 6-9	信息类型 5 中子类型与卫星的对应关系	23

表 6-10	信息类型 6 参数描述	24
表 6-11	信息类型 7 参数描述	26
表 6-12	信息标称有效期	27

1 声明

中国卫星导航系统管理办公室负责北斗卫星导航系统空间信号接口控制文件（以下简称 ICD）的编制、修订、发布和维护等工作，并保留本文件的最终解释权。

2 文件范畴

北斗卫星导航系统简称北斗系统（BDS），分为北斗一号、北斗二号和北斗三号三个建设发展阶段。

本文件定义了北斗系统精密单点定位（PPP）服务空间信号 PPP-B2b 的相关内容。PPP-B2b 信号作为数据播发通道，通过北斗三号地球静止轨道（GEO）卫星播发北斗三号系统和其它全球卫星导航系统（GNSS）精密轨道和钟差等改正参数，为我国及周边地区用户提供服务。

3 北斗系统概述

3.1 空间星座

北斗三号标称空间星座由 3 颗 GEO 卫星、3 颗倾斜地球同步轨道（IGSO）卫星和 24 颗中圆地球轨道（MEO）卫星组成，并视情部署在轨备份卫星。GEO 卫星轨道高度 35786 千米，分别定点于东经 80 度、110.5 度和 140 度；IGSO 卫星轨道高度 35786 千米，轨道倾角 55 度；MEO 卫星轨道高度 21528 千米，轨道倾角 55 度。

3.2 坐标系统

北斗系统采用北斗坐标系（BDCS）。北斗坐标系的定义符合国际地球自转服务组织（IERS）规范，与 2000 中国大地坐标系（CGCS2000）定义一致（具有完全相同的参考椭球参数），具体定义如下：

（1）原点、轴向及尺度定义

原点位于地球质心；

Z 轴指向 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；

长度单位是国际单位制（SI）米。

（2）参考椭球定义

BDCS 参考椭球的几何中心与地球质心重合，参考椭球的旋转轴与 Z 轴重合。

BDCS 参考椭球定义的基本常数见表 3-1。

表 3-1 BDCS 参考椭球的基本常数

序号	参数	定义
1	长半轴	$a=6378137.0 \text{ m}$
2	地心引力常数（包含大气层）	$\mu=3.986004418 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$
3	扁率	$f=1/298.257222101$
4	地球自转角速度	$\dot{\Omega}_e=7.2921150 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$

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。BDT 通过 UTC (NTSC) 与国际 UTC 建立联系, BDT 与国际 UTC 的偏差保持在 50 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 信号特性

本章所描述的信号特性，是针对以载波频率 1207.14 MHz 为中心的 20.46MHz 带宽内的 PPP-B2b 信号。

4.1 信号结构

北斗系统 PPP 服务信息在 PPP-B2b 信号中播发，PPP-B2b 信号的载波频率、调制方式及符号速率见表 4-1。PPP-B2b 信号包括 I 支路和 Q 支路分量，北斗三号前三颗 GEO 卫星仅播发 I 支路分量，本文件仅描述 I 支路相关内容。

表 4-1 PPP-B2b 信号结构

信号	支路	载波频率 (MHz)	调制方式	符号速率 (sps)	前 3 颗 GEO 卫星	后续 GEO 卫星
PPP-B2b	I	1207.14	BPSK (10)	1000	具备	具备
	Q	1207.14	TBD	TBD	--	具备

4.2 信号调制

PPP-B2b 信号 I 支路分量 $s_{B2b_I}(t)$ 由导航电文数据 $D_{B2b_I}(t)$ 和测距码 $C_{B2b_I}(t)$ 调制产生， $s_{B2b_I}(t)$ 的数学表达式如下：

$$s_{B2b_I}(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} D_{B2b_I}(t) \cdot C_{B2b_I}(t) \quad (4-1)$$

式中， $D_{B2b_I}(t)$ 的数学表达式如下：

$$D_{B2b_I}(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_{B2b_I}[k] p_{T_{B2b_I}}(t - kT_{B2b_I}) \quad (4-2)$$

其中， d_{B2b_I} 为 PPP-B2b 信号的导航电文数据码； T_{B2b_I} 为相应的数据码片宽度； $p_{T_{B2b_I}}(t)$ 是宽度为 T_{B2b_I} 的矩形脉冲。

c_{B2b_I} 测距码的数学表达式如下：

$$C_{B2b_I}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{k=0}^{N_{B2b_I}-1} c_{B2b_I}[k] p_{T_{c_B2b_I}}(t - (N_{B2b_I}n + k)T_{c_B2b_I}) \quad (4-3)$$

其中， c_{B2b_I} 为 I 支路分量的测距码序列（取值为±1）； N_{B2b_I} 为对应分量的测距码码长，其值为 10230； $T_{c_B2b_I}=1/R_{c_B2b_I}$ 为 PPP-B2b 信号 I 支路的测距码码片宽度， $R_{c_B2b_I}=10.23$ Mbps 为 PPP-B2b 信号 I 支路的测距码速率； $p_{T_{c_B2b_I}}(t)$ 是宽度为 $T_{c_B2b_I}$ 的矩形脉冲。

4.3 逻辑电平

用于调制信号的逻辑电平与信号电平之间的对应关系见表 4-2。

表 4-2 逻辑电平与信号电平之间的映射关系

逻辑电平	信号电平
1	-1.0
0	+1.0

4.4 极化方式

卫星发射信号为右旋圆极化（RHCP）。

4.5 载波相位噪声

未调制载波的相位噪声谱密度应满足单边噪声带宽为 10Hz 的三阶锁相环的载波跟踪精度达到 0.1 弧度（RMS）。

4.6 杂散

卫星发射的杂散信号不超过 -50dBc。

4.7 相关损耗

由卫星发射信号失真导致的相关损耗不超过 0.6dB。

4.8 数据/码一致性

每个数据符号的边沿与码片的边沿对齐，周期性的测距码第一个码片的起始时刻与数据符号位起始时刻对齐。

4.9 信号一致性

任意信号分量间伪码相位互差不超过 10 纳秒。

4.10 地面接收功率电平

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 0dBi 增益（或线性极化天线为 3 dBi 增益）时，卫星发射的 PPP-B2b 信号 I 支路到达接收机天线输出端的最小功率电平为 -160dBW。

PPP-B2b 信号 I 支路具有以下特性：波束轴向相对于地球边缘滚降不超过 2dB。

5 测距码特性

PPP-B2b 信号 I 支路测距码的码速率为 10.23Mcps，码长为 10230，由两个 13 级线性反馈移位寄存器通过移位及模二和生成的 Gold 码扩展得到。PPP-B2b 信号 I 支路测距码生成多项式见公式 (5-1)：

$$\begin{aligned} g_1(x) &= 1 + x + x^9 + x^{10} + x^{13} \\ g_2(x) &= 1 + x^3 + x^4 + x^6 + x^9 + x^{12} + x^{13} \end{aligned} \quad (5-1)$$

具体实现如图 5-1 所示。

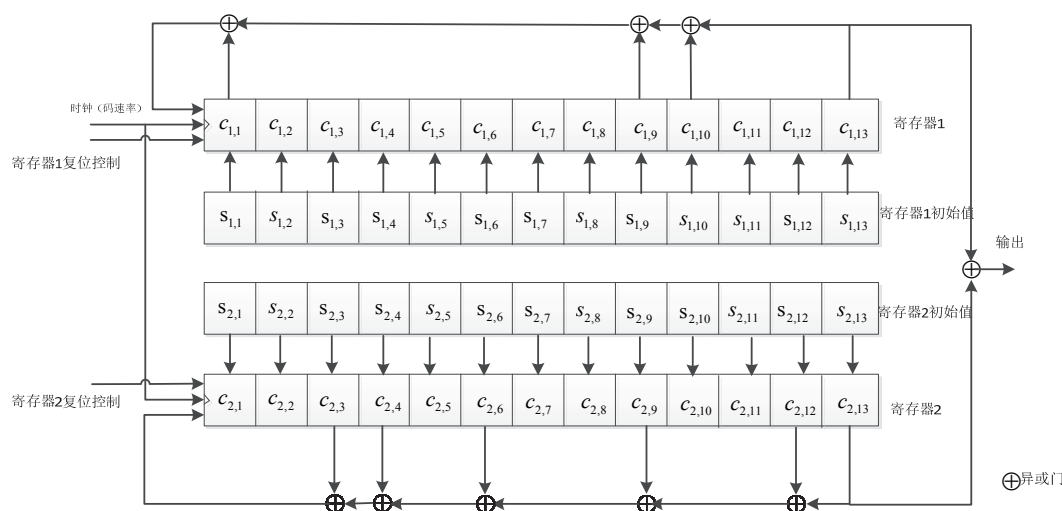


图 5-1 PPP-B2b 信号 I 支路测距码发生器

其中，寄存器 1 的初始值均为全 1，寄存器 2 的初始值在表 5-1 中给出，排列方式为 $[s_{2,1}, s_{2,2}, s_{2,3}, \dots, s_{2,13}]$ 。在测距码周期起始时刻，寄存器 1 和寄存器 2 同步复位；测距码周期中，第 8190 码片的结束时刻，寄存器 1 需复位。重复以上过程，得到长度为 10230 的测距码。

PPP-B2b 信号 I 支路共有 10 个测距码，具体参数见表 5-1。其中，头 24 个码片和末尾 24 个码片用八进制表示，高位（MSB）先传。

表 5-1 PPP-B2b 信号 I 支路测距码参数

PRN 号	寄存器 2 初始值 (二进制)	头 24 个码片 (八进制)	末尾 24 个码片 (八 进制)
1	1 0 0 0 0 0 0 1 0 0 1 0 1	26773275	01362377
2	1 0 0 0 0 0 0 1 1 0 1 0 0	64773151	54270774
3	1 0 0 0 0 1 0 1 0 1 1 0 1	22571523	41305112
4	1 0 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1 1	03270234	26377564

PRN 号	寄存器 2 初始值 (二进制)	头 24 个码片 (八进制)	末尾 24 个码片 (八 进制)
5	1 0 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1	25271603	71754171
59	1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1	00100015	65447760
60	1 1 1 1 1 1 0 1 1 0 1 0 1	24402044	14703362
61	1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1	20402615	26526364
62	0 1 0 1 1 1 0 0 0 0 1 0 1	27426631	23410705
63	0 1 0 1 1 0 0 1 1 1 0 1 1	10625632	34572376

6 导航电文结构

6.1 信息格式

6.1.1 基本描述

PPP-B2b 信号 I 支路导航电文基本帧结构定义如图 6-1 所示。

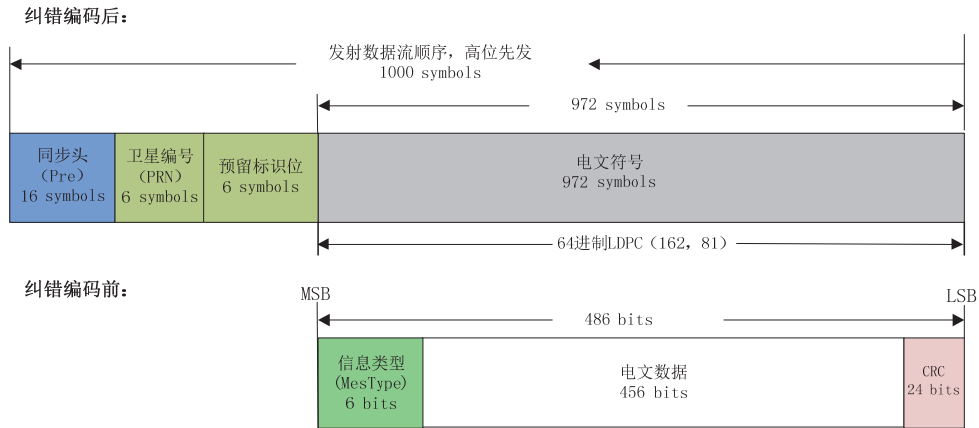


图 6-1 PPP-B2b 信号 I 支路电文数据基本帧结构

每个电文数据帧由 486 比特构成。其中，最高 6 比特表示信息类型（MesTypeID），最低 24 比特为循环冗余校验位（CRC），其余 456 比特为数据域，其具体内容由不同信息类型决定。

电文数据帧经过 64 进制 LDPC 信道编码后为 972 个符号，与长度为 16 个符号的同步头、6 个符号的本星 PRN 号、6 个符号的预留标识位共同构成 1000 个符号。每帧第一个符号（即同步头第一个符号）的前沿与卫星时间的整秒沿对齐，每帧播发时间为 1 秒。其中：

同步头为固定 16 位独特字，值为 0xEB90，播发时高位先发，即 1110 1011 1001 0000。

卫星 PRN 号为本星的 PRN 编号。

预留标识位用于标识 PPP 服务的状态：预留标识位最高位为 1 时表示本星的 PPP 服务不可用，预留标识位最高位为 0 时表示本星 PPP 服务可用；其他符号位含义预留。预留标识位状态极少发生变化，用户可通过多帧信息的叠加降低解调误码。

6.1.2 CRC 校验

CRC 校验按比特位进行，针对 6 比特的信息类型和 456 比特的数据位进行计算。

CRC 的生成多项式为:

$$g(x) = x^{24} + x^{23} + x^{18} + x^{17} + x^{14} + x^{11} + x^{10} + x^7 + x^6 + x^5 + x^4 + x^3 + x + 1 \quad (6-1)$$

6.1.3 编码方案和编码参数

对信息类型（6 比特）、数据位（456 比特）和 CRC（24 比特）共计 486 比特进行信道编码，编码方案采用 64 进制 LDPC（162,81）编码，其每个码字符号由 6 比特构成，定义于本原多项式为 $p(x)=1+x+x^6$ 的有限域 GF（ 2^6 ）。多进制符号与二进制比特的映射采用向量表示法，且高位在前。信息长度 $k=81$ 码字符号，即 486 比特。其校验矩阵是一个 81×162 稀疏矩阵 $\mathbf{H}_{81,162}$ ，定义于本原多项式为 $p(x)=1+x+x^6$ 的有限域 GF（ 2^6 ），前 81×81 部分对应信息符号，后 81×81 部分对应校验符号，其非零元素的位置定义如下：

$$\mathbf{H}_{81,162, \text{index}} = [$$

19	67	109	130	27	71	85	161	31	78	96	122	2	44	83	125
26	71	104	132	30	39	93	154	4	46	85	127	21	62	111	127
13	42	101	146	18	66	108	129	27	72	100	153	29	70	84	160
23	61	113	126	8	50	89	131	34	74	111	157	12	44	100	145
22	60	112	128	0	49	115	151	6	47	106	144	33	53	82	140
3	45	84	126	38	80	109	147	9	60	96	141	1	43	82	124
20	77	88	158	37	54	122	159	3	65	104	149	5	47	86	128
0	42	81	123	32	79	97	120	35	72	112	158	15	57	93	138
22	75	107	143	24	69	102	133	1	50	116	152	24	57	119	135
17	59	95	140	7	45	107	145	34	51	83	138	14	43	99	144
21	77	106	142	16	58	94	139	20	68	110	131	2	48	114	150
10	52	91	133	25	70	103	134	32	41	95	153	14	56	91	137
33	73	113	156	28	73	101	154	4	63	102	147	6	48	87	129
8	46	105	146	30	80	98	121	41	68	119	150	35	52	81	139
16	63	114	124	13	55	90	136	31	40	94	155	10	61	97	142
36	56	121	161	29	74	99	155	5	64	103	148	18	75	89	156
36	78	110	148	19	76	87	157	15	65	116	123	11	53	92	134
25	58	117	136	39	66	117	151	11	62	98	143	9	51	90	132
38	55	120	160	7	49	88	130	17	64	115	125				
28	69	86	159	23	76	105	141	12	54	92	135				
40	67	118	152	37	79	108	149	26	59	118	137				

$$],$$

其中的每个元素为有限域 GF（ 2^6 ）的多进制符号，其元素按向量表示法表示，如下矩阵所示：

$$\mathbf{H}_{81,162, \text{element}} = [$$

46	45	44	15	15	24	50	37	24	50	37	15	15	32	18	61
58	56	60	62	37	53	61	29	46	58	18	6	36	19	3	57

$$]$$

54	7	38	23	51	59	63	47	9	3	43	29	56	8	46	13
26	22	14	2	63	26	41	12	17	32	58	37	38	23	55	22
35	1	31	44	44	51	35	13	30	1	44	7	27	5	2	62
16	63	20	9	27	56	8	43	1	44	30	24	5	26	27	37
42	47	37	32	38	12	25	51	43	34	48	57	39	9	30	48
63	13	54	10	2	46	56	35	47	20	33	26	62	54	56	60
1	21	25	7	43	58	19	49	28	4	52	44	46	44	14	15
41	48	2	27	49	21	7	35	40	21	44	17	24	23	45	11
46	25	22	48	13	29	53	61	52	17	24	61	29	41	10	16
60	24	4	50	32	49	58	19	43	34	48	57	29	7	10	16
25	11	7	1	32	49	58	19	42	14	24	33	39	56	30	48
13	27	56	8	53	40	61	18	8	43	27	56	18	40	32	61
60	48	2	27	50	54	60	62	58	19	32	49	9	3	63	43
53	35	16	13	23	25	30	16	18	6	61	21	15	1	42	45
20	16	63	9	27	37	5	26	29	7	10	16	11	60	6	49
43	47	18	20	42	14	24	33	43	22	41	20	22	15	12	33
9	41	57	58	5	31	51	30	9	3	63	43				
37	53	61	29	6	45	56	19	33	45	36	34				
19	24	42	14	1	45	15	6	8	43	27	56				

]

以上矩阵自上而下按栏读取，一栏读完后自左向右换下一栏继续读取。一栏中，每行的 4 个数字对应矩阵中一行 4 个非零元素。 $H_{81,162}$ 的读取规则如图 6-2 所示。

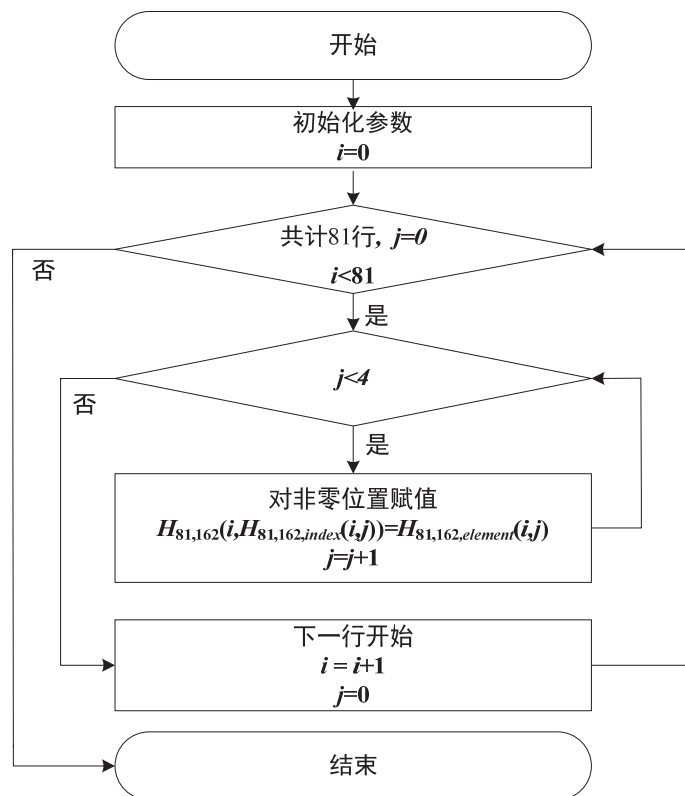


图 6-2 $H_{81,162}$ 读取流程图

编译码方法及示例见附录。

6.2 信息内容

6.2.1 信息类型概述

6.2.1.1 信息类型定义

信息类型用于区分有效数据域播发的信息内容。已有定义的信息类型见表 6-1，其余信息类型为预留。

表 6-1 信息类型定义

信息类型（十进制）	信息内容
1	卫星掩码
2	卫星轨道改正数及用户测距精度指数
3	码间偏差改正数
4	卫星钟差改正数
5	用户测距精度指数
6	钟差改正数与轨道改正数-组合 1
7	钟差改正数与轨道改正数-组合 2
8-62	预留
63	空信息

6.2.1.2 信息类型关联

为了保证不同信息类型所播发信息内容的关联性，采用数据版本号（IOD, Issue Of Data）对信息进行标识。这些版本号包括：

1) IOD SSR：表示状态空间描述（State Space Representation, SSR）数据的版本号，目前已有定义的信息类型中均播发该字段。不同信息类型中的 IOD SSR 相同时，这些数据可匹配使用；IOD SSR 不同时，数据不可匹配使用。IOD SSR 一般在系统端配置发生变化时才会进行更新。

2) IODP：表示卫星掩码的数据版本号。IODP 在信息类型 1、信息类型 4、信息类型 5、信息类型 6 中播发，用户可通过该字段判断上述信息类型中的数据是否匹配。

3) IODN：表示 GNSS 下行信号播发的星钟、星历的数据版本号。其在信息类型 2 中播发，用户可通过 IODN 判断基本导航电文的星历与星钟参数与信息类型 2、6、7 中的轨道改正数是否匹配。信息类型 2、6、7 中同时播发另一个版本号 IOD Corr，用于与信息类型 4、6、7 的钟差改正数关联，用户可通过 IODN、IOD Corr 判断基本导

航电文的钟差参数与信息类型 4、6、7 中的钟差改正数是否匹配。

4) IOD Corr: 表示轨道改正数和钟差改正数的版本号。其在信息类型 2、信息类型 4、信息类型 6 和信息类型 7 中播发。对于同一颗卫星，钟差改正数的 IOD Corr 与轨道改正数的 IOD Corr 相同时，二者可匹配使用。（需要注意，IOD Corr 与参数内容非一一对应，当钟差或轨道改正数发生变化时，IOD Corr 可能不变；多组参数的 IOD Corr 均匹配时，用户应选择其中历元时刻最新的参数使用。）

6.2.2 信息类型 1（卫星掩码）

6.2.2.1 电文编排

信息类型 1 电文格式如图 6-3 所示。

信息类型 1 卫星掩码

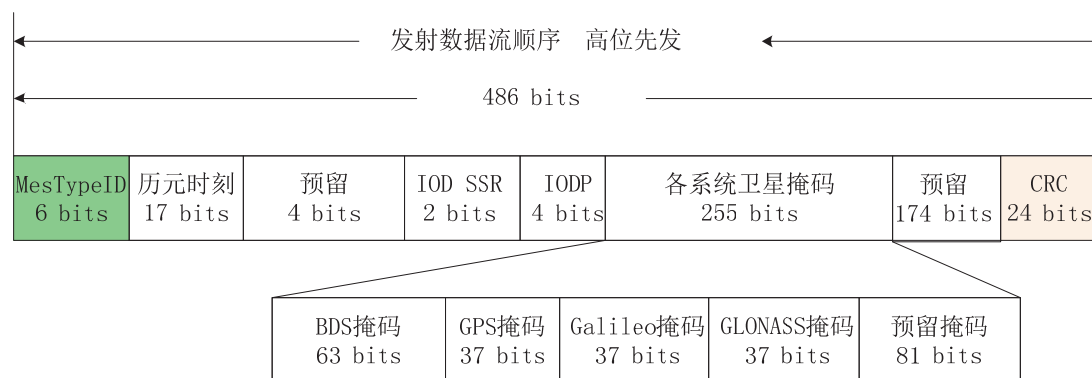


图 6-3 信息类型 1 格式编排

6.2.2.2 内容说明

信息类型 1 为卫星掩码信息，掩码包括 255 个标识位置，每个位置 1 比特。该比特为 1 时，代表播发该颗卫星的差分信息；该比特为 0 时，代表不播发该星差分信息。未被分配（预留掩码）的标识位应被置为 0。255 个标识位对应的卫星分配以及信息类型 1 其他信息内容的说明见表 6-2。

表 6-2 信息类型 1 参数描述

字段	名称	长度 (比特)	比例 因子	范围	单位	基本描述
MesTypeID	信息类型	6	1	0~63	--	见表 6-1
历元时刻	历元时刻	17	1	0~86399	s	北斗时天内秒计数
预留位	预留位	4	1	0~15	--	--
IOD SSR	SSR 版本号	2	1	0~3	--	在系统配置变化时变化
IODP	掩码版本号	4	1	0~15	--	掩码版本号

字段	名称	长度 (比特)	比例 因子	范围	单位	基本描述
BDS 掩码	卫星 slot1	1	1	0~1	--	BDS 第 1 颗星播发标识
	至 slot63	1	1	0~1	--	BDS 第 63 颗星播发标识
GPS 掩码	卫星 slot64	1	1	0~1	--	GPS 第 1 颗星播发标识
	至 slot100	1	1	0~1	--	GPS 第 37 颗星播发标识
Galileo 掩码	卫星 slot101	1	1	0~1	--	Galileo 第 1 颗星播发标识
	至 slot137	1	1	0~1	--	Galileo 第 37 颗星播发标识
GLONASS 掩码	卫星 slot138	1	1	0~1	--	GLONASS 第 1 颗星播发标识
	至 slot174	1	1	0~1	--	GLONASS 第 37 颗星播发标识
预留掩码	卫星 slot175	1	1	0~1	--	预留
	至 slot255	1	1	0~1	--	预留
预留位	预留位	174	1	--	--	--
CRC	校验位	24	--	--	--	--

上述信息内容说明如下：

1) 历元时刻

标识计算增强电文所使用的观测数据对应的历元时刻，用北斗时天内秒表示。除非有特殊说明，各类型数据均应选择历元时刻最新的数据使用。

2) IOD SSR

IOD SSR 变化表明数据生成配置的变化。各类型数据首先需要保证各自 IOD SSR 相同，才可匹配使用。

3) IODP

IODP 代表掩码的数据版本号。当掩码内容变化时，IODP 相应的发生变化，按照 0、1、2、3、...、14、15、0 顺序循环。在信息类型 4、5、6 中也包含 IODP，用于标识相应数据和掩码的对应关系，其与信息类型 1 的 IODP 参数一致时，表示是同一组数据。

当信息类型 1 与信息类型 4、5、6 中的 IODP 参数不一致时，用户不能使用信息类型 1，直到各类型的 IODP 统一。

在 IODP 参数发生改变的阶段，用户应该使用旧的掩码，直到其他类型中的 IODP 更新至同样的数值。当用户检测到其他信息类型中的 IODP 先发生改变时，这些信息

类型也不能使用，直到用户接收到新的掩码。

6.2.3 信息类型 2（轨道改正数及用户测距精度指数）

6.2.3.1 电文编排

信息类型 2 的电文格式编排如图 6-4 所示。

信息类型 2 卫星轨道改正数

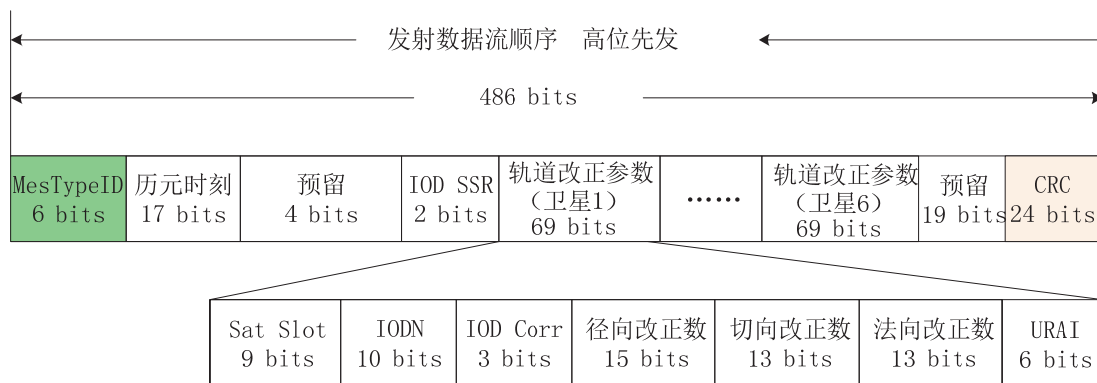


图 6-4 信息类型 2 格式编排

6.2.3.2 内容说明

信息类型 2 播发卫星的轨道改正参数。信息内容描述见表 6-3。

表 6-3 信息类型 2 参数描述

字段	名称	长度 (比特)	比例 因子	范围	单位	描述
MesTypeID	信息类型	6	1	0~63	--	见表 6-1
历元时刻	历元时刻	17	1	0~86399	s	北斗时天内秒计数
预留位	预留位	4	1	0~15	--	--
IOD SSR	SSR 版本号	2	1	0~3	--	在系统配置变化时改变
卫星 1 轨道改正参数	SatSlot	9	1	1~255	--	掩码位置号
	IODN	10	1	--	--	基本导航电文版本号
	IOD Corr	3	1	0~7	--	改正数版本号
	径向改正数	15*	0.0016	±26.2128	m	--
	切向改正数	13*	0.0064	±26.208	m	--
	法向改正数	13*	0.0064	±26.208	m	--
	URAI	URAI	6	1	0~7	--
卫星 2 轨道	--	69	--	--	--	本类型中第二颗

字段	名称	长度 (比特)	比例 因子	范围	单位	描述
改正参数						卫星的轨道改正数
...
卫星 6 轨道改正参数	--	69	--	--	--	本类型中第六颗卫星的轨道改正数
预留位	--	19	--	--	--	--
CRC	校验位	24	--	--	--	--

*注：表示二进制补码

表 6-3 中，历元时刻、SSR 更新间隔、IOD SSR 定义参见信息类型 1，其余各参数描述内容如下。

信息类型 2 播发 6 颗卫星的轨道改正参数。每颗卫星的轨道改正数包括 Sat Slot、IODN、IOD Corr、径向改正数、切向改正数、法向改正数，同时播发用户测距精度指数。

1) Sat Slot

Sat Slot 表示卫星在掩码中的位置，起始值为 1，有效范围 1~255；

2) IODN

IODN 用于对应 GNSS 中的轨道和钟差参数的 IOD，如果 PPP-B2b 信号播发的 IODN 与 GNSS 播发的 IOD 不匹配，意味着 GNSS 进行了导航电文更新，用户机应继续使用旧的导航电文，直到 PPP-B2b 信号中的 IODN 更新并与 GNSS 的 IOD 匹配。

IODN 与各 GNSS 基本导航电文信息的对应关系为：

- (1) BDS：对应 CNAV1 电文中的 IODC；
- (2) GPS：对应 LNAV 电文中的 IODC；
- (3) Galileo：对应 I/NAV 电文中的 IODNav；
- (4) GLONASS：对应 L1OCd 导航电文的 Tb。

3) IOD Corr

定义及用法见信息类型 4 的描述。

4) 径向、切向、法向改正数

算法见 7.4 节。

5) 用户距离精度指数 (URAI)

一颗卫星的 URAI 参数共 6 比特，其最高 3 比特定义为用户距离精度等级 (URACLASS)，最低 3 比特定义为用户距离精度值 (URAVVALUE)。URA 的计算公式为：

$$URA[\text{mm}] \leq 3^{\text{URACLASS}} (1 + 0.25 \times \text{URAVVALUE}) - 1 \quad (6-2)$$

其中：URA 为用户距离精度，单位 mm；

当 URAI=000000 (二进制)，表示 URA 未定义或未知，相应卫星的改正数不可靠；

当 URAI=111111 (二进制)，表示 URA>5466.5mm。

6.2.4 信息类型 3 (码间偏差改正数)

6.2.4.1 电文编排

信息类型 3 的电文编排格式如图 6-5 所示。

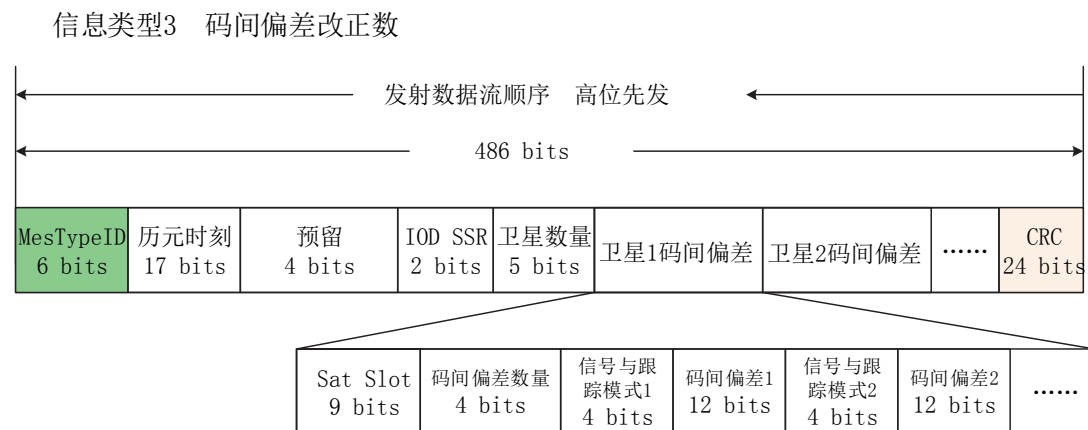


图 6-5 信息类型 3 格式编排

6.2.4.2 内容说明

信息类型 3 内容描述见表 6-4。

表 6-4 信息类型 3 参数描述

字段	名称	长度 (比特)	比例 因子	范围	单位	描述
MesTypeID	信息类型	6	1	0~63	--	见表 6-1
历元时刻	历元时刻	17	1	0~86399	s	北斗时天内秒计数
预留位	预留位	4	1	0~15	--	--
IOD SSR	SSR 版本号	2	1	0~3	--	在系统配置变化时改变
卫星数量	卫星数量	5	1	0~31	--	本信息中包含的卫星数
卫星 1 码间 偏差	SatSlot	9	1	1~255	--	卫星 1 在掩码中位置
	码间偏差数量	4	1	--	--	卫星 1 中包括的码偏差的数量
	信号与跟踪	4	1	0~15	--	第 1 个码偏差对应的信号

字段	名称	长度 (比特)	比例 因子	范围	单位	描述
	模式 1					支路及处理模式
	码间偏差 1	12*	0.017	±35.746	m	第 1 个码偏差值
	信号与跟踪 模式 2	4	1	0~15	--	第 2 个码偏差对应的信号 支路及处理模式
	码间偏差 2	12*	0.017	±35.746	m	第 2 个码偏差值

.....	--	--	--	--	--	--
CRC	校验位	24	--	--	--	--

*注：表示二进制补码

表 6-4 中，历元时刻、IOD SSR 定义参见信息类型 1，SatSlot 定义参见信息类型 2。其余各参数描述内容如下。

信息类型 3 播发各颗卫星各信号支路的码间偏差修正参数，每条信息中包括的卫星数目以及每颗卫星的码间偏差数目可变化。用户应根据“卫星数量”以及每颗卫星中的“码间偏差数量”进行动态解析。

“信号与跟踪模式”标识码间偏差对应的信号支路以及该支路信号的接收模式，具体定义见表 6-5。

表 6-5 信号与跟踪模式标识定义

信号和跟踪模式标识	BDS	GPS	GLONASS	Galileo
0	B1I	L1 C/A	G1 C/A	预留
1	B1C (D)	L1 P	G1 P	E1 B
2	B1C (P)	预留	G2 C/A	E1 C
3	预留	预留	预留	预留
4	B2a (D)	L1C (P)	预留	E5a Q
5	B2a (P)	L1C (D+P)	预留	E5a I
6	预留	预留	预留	预留
7	B2b-I	L2C (L)	预留	E5b I
8	B2b-Q	L2C (M+L)	预留	E5b Q
9	预留	预留	预留	预留
10	预留	预留	预留	预留
11	预留	L5 I	预留	E6 C

信号和跟踪模式标识	BDS	GPS	GLONASS	Galileo
12	B3 I	L5 Q	预留	预留
13	预留	L5 I+Q	预留	预留
14	预留	预留	预留	预留
15	预留	预留	预留	预留

本信息类型中播发的“码间偏差”是指各系统测距信号与钟差基准信号之间的伪距码偏差。用户在采用非基准信号时，需要进行相应的码间偏差修正，否则会影响精密单点定位的收敛时间。码间偏差的用户算法见 7.3 节。

6.2.5 信息类型 4（钟差改正数）

6.2.5.1 电文编排

信息类型 4 用于播发钟差改正数信息，电文编排如图 6-6 所示。

信息类型 4 卫星钟差改正数

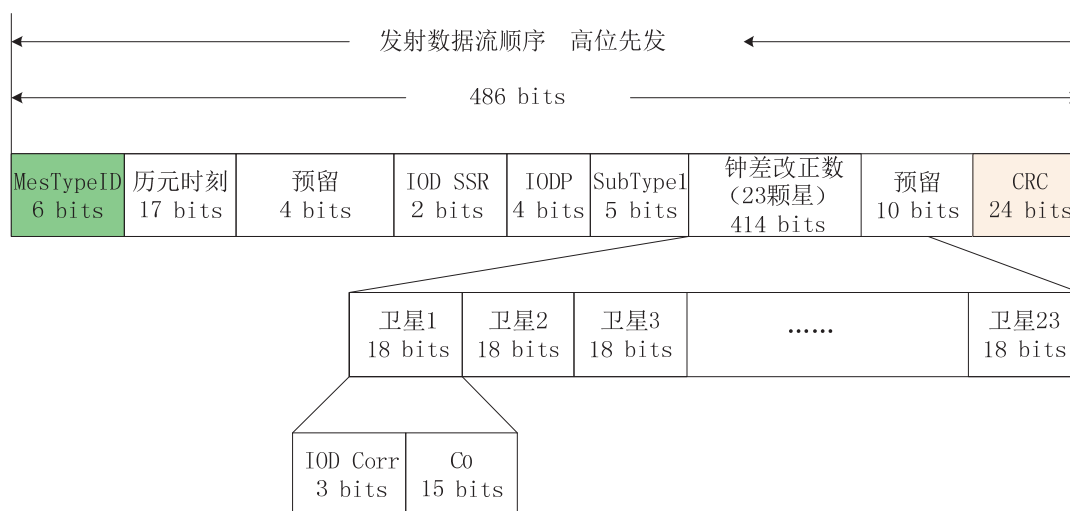


图 6-6 信息类型 4 格式编排

6.2.5.2 内容说明

信息类型 4 的参数说明见表 6-6。

表 6-6 信息类型 4 参数描述

字段	名称	长度 (比特)	比例 因子	范围	单位	描述
MesTypeID	信息类型	6	1	0~63	--	见表 6-1
历元时刻	历元时刻	17	1	0~86399	s	北斗时天内秒计数

字段	名称	长度 (比特)	比例 因子	范围	单位	描述
预留位	预留位	4	1	0~15	--	--
IOD SSR	SSR 版本号	2	1	0~3	--	在系统配置变化时 变化
IODP	掩码版本号	4	1	0~15	--	掩码版本号
SubType1	子类型标识 1	5	1	0~31	--	标明卫星和掩码的 对应关系
卫星 1 钟差 改正数	IOD Corr	3	1	0~7	--	改正数版本号
	C0	15*	0.0016	±26.2128	m	超出有效范围的 值无效
卫星 2 钟差 改正数	--	18	--	--	--	本类型中第 2 颗 卫星的钟差改正数
卫星 3 钟差 改正数	--	18	--	--	--	本类型中第 3 颗 卫星的钟差改正数
...	...	18	--	--	--	...
卫星 23 钟差 改正数	--	18	--	--	--	本类型中第 23 颗 卫星的钟差改正数
Rev	预留	10	--	--	--	预留位
CRC	校验位	24	--	--	--	--

*注：表示二进制补码

表 6-6 中，历元时刻、SSR 更新间隔、IOD SSR、IODP 定义参见信息类型 1，其余各参数描述内容如下。

信息类型 4 中，用户通过信息类型、掩码（信息类型 1 中播发）和子类型（SubType1）共同确定钟差改正数所对应的卫星：对掩码被置为 1 的所有卫星，按照其在掩码中的位置顺序进行紧缩排列，不同子类型（SubType1）播发的卫星与之对应关系见表 6-7。

表 6-7 信息类型 4 中子类型与卫星的对应关系

子类型号 (SubType1)	对应的卫星
0	所有掩码被置为 1 的卫星中的第 1~23 颗卫星
1	所有掩码被置为 1 的卫星中的第 24~46 颗卫星
2	所有掩码被置为 1 的卫星中的第 47~69 颗卫星

子类型号 (SubType1)	对应的卫星
3	所有掩码被置为 1 的卫星中的第 70~92 颗卫星
4	所有掩码被置为 1 的卫星中的第 93~115 颗卫星
5	所有掩码被置为 1 的卫星中的第 116~138 颗卫星
6	所有掩码被置为 1 的卫星中的第 139~161 颗卫星
7	所有掩码被置为 1 的卫星中的第 162~184 颗卫星
8	所有掩码被置为 1 的卫星中的第 185~207 颗卫星
9	所有掩码被置为 1 的卫星中的第 208~230 颗卫星
10	所有掩码被置为 1 的卫星中的第 231~253 颗卫星
11	所有掩码被置为 1 的卫星中的第 254~255 颗卫星
其他值	预留

系统根据实际卫星数目，仅播发必要的信息类型。例如，如果有 30 颗卫星的掩码被置为 1，则只播发信息子类型 0、1，其余类型不播发。（注：该情况下也可以播发信息类型 4 子类型 0，同时播发信息类型 6，具体见信息类型 6 描述）。

每颗卫星的钟差改正参数包括 IOD Corr，C0 两部分。

IOD Corr 为改正数版本号，其也在信息类型 2 中播发。对于同一颗卫星的改正数，信息类型 2 与信息类型 4 中的 IOD Corr 相同，表示 C0 与轨道改正数（信息类型 2 中播发）相匹配，且 C0 与轨道改正数中的 IODN（见信息类型 2 描述）相匹配，轨道和钟差改正数可组合使用。如果信息类型 2 与信息类型 4 中的 IOD Corr 不相同，则不能匹配使用。

C0 为钟差改正数，15 比特二进制补码，量化单位 0.0016 米，有效范围为 ±26.2128 米。具体用户算法见 7.5 节。

6.2.6 信息类型 5（用户测距精度指数）

6.2.6.1 电文编排

信息类型 5 播发用户测距精度指数信息，电文编排如图 6-7 所示。

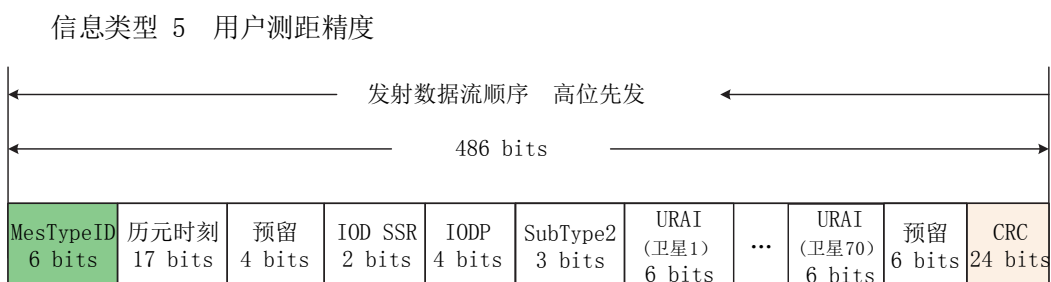


图 6-7 信息类型 5 格式编排

6.2.6.2 内容说明

信息类型 5 参数说明见表 6-8。

表 6-8 信息类型 5 参数描述

字段	名称	长度 (比特)	比例 因子	范围	单位	描述
MesTypeID	信息类型	6	1	0~63	--	见表 6-1
历元时刻	历元时刻	17	1	0~86399	s	北斗时天内秒计数
预留位	预留位	4	1	0~15	--	--
IOD SSR	SSR 版本号	2	1	0~3	--	在系统配置变化时改变
IODP	掩码版本号	4	1	0~15	--	掩码版本号
SubType2	子类型 2	3	1	0~7	--	标识卫星号
URAI (卫星 1)	URAClass	3	1	0~7	--	本类型中第 1 颗卫星的 用户距离精度指数
	URAValue	3	1	0~7	--	
URAI (卫星 2)	--	6	1	--	--	本类型中第 2 颗卫星的 用户距离精度指数
.....
URAI (卫星 70)	--	6	1	--	--	本类型中第 70 颗卫星的 用户距离精度指数
Rev	预留	6	--	--	--	预留位
CRC	校验位	24	--	--	--	--

表 6-8 中，历元时刻、IOD SSR、IODP 定义参见信息类型 1，其余各参数描述内容如下。

信息类型 5 中，用户通过信息类型、掩码（信息类型 1 中播发）和子类型（SubType2）共同确定测量精度所对应的卫星：对掩码被置为 1 的所有卫星，按照其在掩码中的位置顺序进行紧缩排列，不同子类型（SubType2）播发的卫星与之对应关

系见表 6-9。

表 6-9 信息类型 5 中子类型与卫星的对应关系

子类型号 (SubType2)	对应的卫星
0	所有掩码被置为 1 的卫星中的第 1~70 颗卫星
1	所有掩码被置为 1 的卫星中的第 71~140 颗卫星
2	所有掩码被置为 1 的卫星中的第 141~210 颗卫星
3	所有掩码被置为 1 的卫星中的第 211~255 颗卫星
其他值	预留

系统根据实际卫星数目，仅播发必要的信息类型。例如，如果有 35 颗卫星的掩码被置为 1，则只播发子类型 0，其余类型不播发。URAI 的定义见信息类型 2 中的描述。

6.2.7 信息类型 6（钟差改正与轨道改正-组合 1）

6.2.7.1 电文编排

信息类型 6 用于组合播发钟差改正数与轨道改正数。信息类型 6 的电文编排如图 6-8 所示。

信息类型 6 卫星钟差与轨道改正数-组合形式1

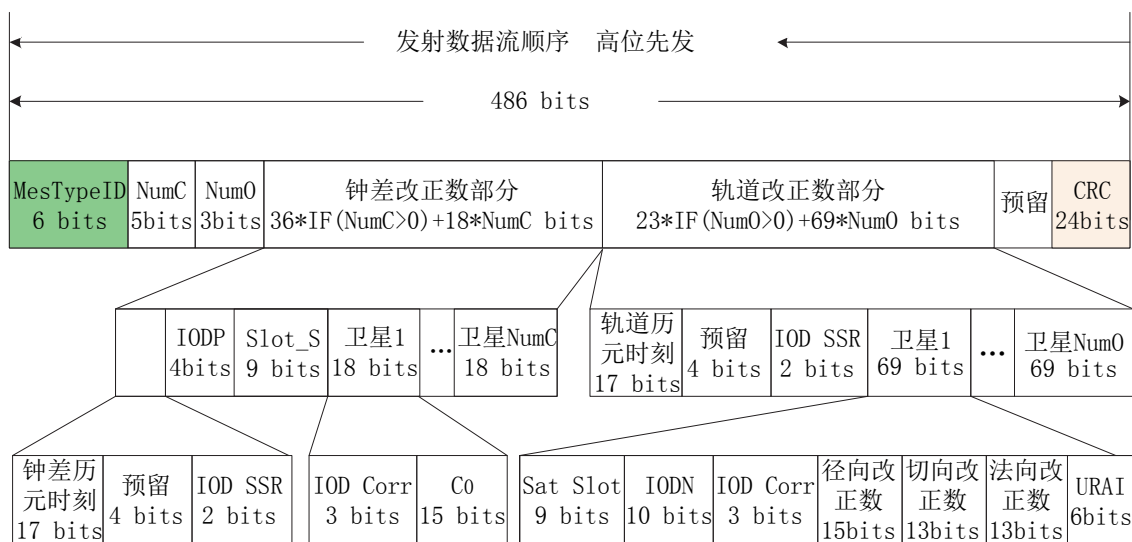


图 6-8 信息类型 6 格式编排

6.2.7.2 内容说明

信息类型 6 参数说明见表 6-10。

表 6-10 信息类型 6 参数描述

字段	名称	长度 (比特)	比例 因子	范围	单位	描述
MesTypeID	信息类型	6	1	0~63	--	见表 6-1
NumC	钟差改正数的 卫星数量	5	1	0~22	--	--
NumO	轨道改正数的 卫星数量	3	1	0~6	--	--
钟差改正数 内容部分	钟差改正数历元 时刻	17	1	0~86399	s	北斗时天内秒计数
	预留位	4	1	0~15	--	--
	IOD SSR	2	1	0~3	--	在系统配置变化时改变
	IODP	4	1	0~15	--	掩码版本号
	Slot_S	9	1	0~255	--	本信息中第一颗卫星在掩码 被置为 1 的卫星序列中位置
	卫星 1 钟差改 正数	18	1	--	--	本类型中第 1 颗卫星的 钟差改正数

	卫星 NumC 钟差 改正数	18	1	--	--	本类型中第 NumC 颗卫星的 钟差改正数
轨道改正数 内容部分	轨道改正数历元 时刻	17	1	0~86399	s	北斗时天内秒计数
	预留位	4	1	0~15	--	--
	IOD SSR	2	1	0~3	--	在系统配置变化时改变
	卫星 1 轨道 改正数	69	1	--	--	本类型中第 1 颗卫星的 轨道改正数

		卫星 NumO 轨道 改正数	69	1	--	--
.....
CRC	校验位	24	--	--	--	--

表 6-10 中，历元时刻、IOD SSR、IODP 定义参见信息类型 1，其余各参数描述内容如下。

NumC 表示本类型中卫星钟差改正数对应卫星数量，有效范围为 0~22，可通过 NumC 确定卫星钟差改正数部分所占用的比特长度，具体为：NumC=0 时，则钟差改正数部分所占用的比特数为 0，当 NumC>0 时，则钟差改正数部分所占用的比特数为 36+NumC×18。

NumO 表示本类型中卫星轨道改正数对应的卫星数量，有效范围为 0~6。可通过 NumO 确定卫星轨道改正数部分所占用的比特长度，具体为：NumO=0 时，则轨道改正数部分所占用的比特数为 0，当 NumO>0 时，则轨道改正数部分所占用的比特数为 $23+NumO \times 69$ 。

Slot_S 表示本信息卫星钟差改正数对应的第一颗卫星在掩码被置为 1 的所有卫星序列中的位置，信息类型 6 中播发的钟差改正数对应的卫星是所有掩码被置为 1 的卫星中的第 Slot_S~Slot_S+NumC-1 颗卫星。例如，假设有 48 颗卫星掩码被置为 1，其中 1~46 颗星的钟差改正数在信息类型 4 中播发，第 47、48 颗星可在信息类型 6 中播发，则信息类型 6 中的 Slot_S 应为 47，NumC 为 2。

每颗星的卫星 18 比特的钟差改正数包括 3 比特的 IOD Corr 和 15 比特的 C0，具体参见信息类型 4 内容；每颗卫星 69 比特的轨道改正参数的格式及定义参见信息类型 2 内容。

6.2.8 信息类型 7（钟差改正与轨道改正-组合 2）

6.2.8.1 电文编排

信息类型 7 用于组合播发钟差改正数与轨道改正数。其与信息类型 6 的差异在于，关于卫星钟差改正数与卫星的对应关系，不通过掩码对应，而通过 Sat Slot 对应。

信息类型 7 的电文编排如图 6-9 所示。

信息类型 7 卫星钟差与轨道改正数-组合形式2

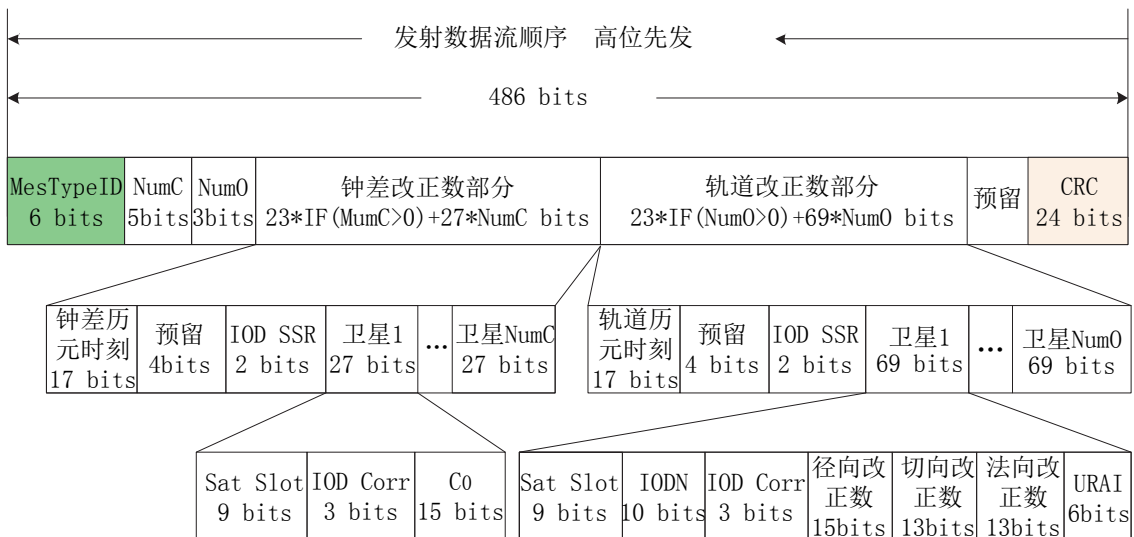


图 6-9 信息类型 7 格式编排

6.2.8.2 内容说明

信息类型 7 参数说明见表 6-11。

表 6-11 信息类型 7 参数描述

字段	名称	长度 (比特)	比例 因子	范围	单位	描述	
MesTypeID	信息类型	6	1	0~63	--	见表 6-1	
NumC	钟差改正数的卫星 数量	5	1	0~15	--		
NumO	轨道改正数的卫星 数量	3	1	0~6	--		
钟差改正数 内容部分	钟差改正数历元时 刻	17	1	0~86399	s	北斗时天内秒计数	
	预留位	4	1	0~15	--	--	
	IOD SSR	2	1	0~3	--	在系统配置变化时改变	
	卫星 1 钟差改 正数	Sat Slot	9	1	--	--	本类型中第 1 颗卫星的 钟差改正数
		IOD Corr C0	3 15				

	卫星 NumC 钟差改 正数	27	1	--	--	本类型中第 NumC 颗卫星 的钟差改正数	
轨道改正数 内容部分	轨道改正数历元时 刻	17	1	0~86399	s	北斗时天内秒计数	
	预留位	4	1	0~15	--	--	
	IOD SSR	2	1	0~3	--	在系统配置变化时改变	
	卫星 1 轨道改正数	69	1	--	--	本类型中第 1 颗卫星的 轨道改正数	
	
		卫星 NumO 轨道改 正数	69	1	--	--	本类型中第 NumO 颗卫星 的轨道改正数
.....	
CRC	校验位	24	--	--	--	--	

表 6-11 中，历元时刻、IOD SSR、IODP 定义参见信息类型 1，其余各参数描述内容如下。

NumC 表示本类型中卫星钟差改正数对应卫星数量，可通过 NumC 确定卫星钟差改正数占用的比特长度，具体为：NumC=0 时，则钟差改正数占用的比特数为 0，当 NumC>0 时，则钟差改正数占用的比特数为 23+NumC×27。

NumO 表示本类型中卫星轨道改正数对应的卫星数量，有效范围为 0~6。可通过 NumO 确定卫星轨道改正数占用的比特长度，具体为：NumO=0 时，则轨道改正数占用的比特数为 0，当 NumO>0 时，则轨道改正数占用的比特数为 23+NumO×69。

每颗卫星的 27 比特的钟差改正数包括 9 比特的 Sat Slot、3 比特的 IOD Corr 和 15 比特的 C0，Sat Slot 表示卫星在掩码中的位置，IOD Corr 和 C0 具体参见信息类型 4 内容；每颗卫星 69 比特的轨道改正参数的格式及定义参见信息类型 2 内容。

6.2.9 信息类型 63

信息类型 63 为空信息，当没有可用信息时，系统播发该类型填充空白时段。

6.3 信息有效期

PPP-B2b 信号 I 支路中各类信息的标称有效期见表 6-12。

表 6-12 信息标称有效期

信息内容	信息类型	标称有效期* (s)
卫星掩码	1	--
轨道改正数	2、6、7	96
码间偏差改正数	3	86400
钟差改正数	4、6、7	12
用户测距精度指数	2、5、6、7	96

*注：“标称有效期”给出了各类信息的建议使用时间范围，超出“标称有效期”的信息将无法保证数据质量。

7 用户算法

7.1 PPP-B2b 信息增强对象

PPP-B2b 信号在设计上可用于对四大 GNSS 及其组合提供 PPP 服务。对各卫星导航系统，各类改正数相对应的参考电文为：

- 1) BDS: PPP-B2b 信息用于改正 B1C 信号的 CNAV1 导航电文。
- 2) GPS: PPP-B2b 信息用于改正 LNAV 导航电文。
- 3) Galileo: PPP-B2b 信息用于改正 I/NAV 导航电文。
- 4) GLONASS: PPP-B2b 信息用于改正 L1OCd 导航电文。

7.2 时间空间坐标系

PPP-B2b 信号及 PPP 服务信息的时间采用 BDT，坐标系采用 BDCS。具体基准见第 3 章。

7.3 卫星码间偏差修正

由于卫星跟踪模式的不同，各观测值都包含一个与信号跟踪模式相关的偏差。同步处理各频率各类信号时，需要首先消除该偏差，实现各类信号同步处理，其修正算法见公式 (7-1)：

$$\tilde{l}_{sig} = l_{sig} - DCB_{sig} \quad (7-1)$$

式中：

\tilde{l}_{sig} —— sig 信号修正后的观测值；

l_{sig} —— sig 信号接收机直接捕获的观测值；

DCB_{sig} —— 对应该信号的码间偏差。

例如：

对北斗系统，如果用户端使用的测距信号为 B1Cp 与 B2ap 信号，PPP-B2b 信号电文中播发的 B1Cp 信号码间偏差为 DCB_{B1Cp} 、B2ap 信号的码间偏差为 DCB_{B2ap} ，则相应的码间偏差改正如下式所示。

$$\tilde{l}_{B1Cp} = l_{B1Cp} - DCB_{B1Cp} \quad (7-2)$$

$$\tilde{l}_{B2ap} = l_{B2ap} - DCB_{B2ap} \quad (7-3)$$

双频无电离层组合观测值为：

$$\tilde{l}_{IF} = \frac{\gamma \tilde{l}_{B1Cp} - \tilde{l}_{B2ap}}{\gamma - 1} = \frac{\gamma l_{B1Cp} - l_{B2ap}}{\gamma - 1} - \frac{\gamma DCB_{B1Cp} - DCB_{B2ap}}{\gamma - 1} \quad (7-4)$$

其中, $\gamma = \frac{f_{B1Cp}^2}{f_{B2ap}^2}$; f_{B1Cp} 为 B1Cp 载波中心频率, f_{B2ap} 为 B2ap 载波中心频率。

7.4 卫星轨道改正

轨道改正信息包括的参数为轨道改正向量 $\delta\mathbf{O}$ 在径向、切向和法向的分量。轨道改正值用于计算卫星位置改正向量 $\delta\mathbf{X}$, 同时还要联合利用广播星历计算出的卫星位置向量 $\mathbf{X}_{broadcast}$ 。改正的计算公式见公式 (7-5):

$$\mathbf{X}_{orbit} = \mathbf{X}_{broadcast} - \delta\mathbf{X} \quad (7-5)$$

式中:

\mathbf{X}_{orbit} ——由轨道改正电文改正得到的卫星位置;

$\mathbf{X}_{broadcast}$ ——广播星历计算得到的卫星位置, 其 IOD 与轨道改正电文的 IODN 匹配;

$\delta\mathbf{X}$ ——卫星位置改正。

卫星位置改正 $\delta\mathbf{X}$ 的计算方法见公式 (7-6) 至公式 (7-9):

$$\mathbf{e}_{radial} = \frac{\mathbf{r}}{|\mathbf{r}|} \quad (7-6)$$

$$\mathbf{e}_{cross} = \frac{\mathbf{r} \times \dot{\mathbf{r}}}{|\mathbf{r} \times \dot{\mathbf{r}}|} \quad (7-7)$$

$$\mathbf{e}_{along} = \mathbf{e}_{cross} \times \mathbf{e}_{radial} \quad (7-8)$$

$$\delta\mathbf{X} = \begin{bmatrix} \mathbf{e}_{radial} & \mathbf{e}_{along} & \mathbf{e}_{cross} \end{bmatrix} \cdot \delta\mathbf{O} \quad (7-9)$$

式中:

$\mathbf{r} = \mathbf{X}_{broadcast}$ ——广播星历卫星位置矢量;

$\dot{\mathbf{r}} = \dot{\mathbf{X}}_{broadcast}$ ——广播星历卫星速度矢量;

\mathbf{e}_i ——方向单位矢量, $i = \{radial, along, cross\}$ 分别对应径向、切向、法向;

$\delta\mathbf{O}$ ——PPP 信息中获得的轨道改正矢量, 顺序为径向、切向、法向分量。

7.5 卫星钟差改正

钟差改正电文包括的参数是相对于广播星历钟差的改正参数。该改正参数的使用方法见公式 (7-10):

$$t_{satellite} = t_{broadcast} - \frac{C_0}{c} \quad (7-10)$$

式中:

$t_{broadcast}$ ——广播星历计算得到的卫星钟差参数;

$t_{satellite}$ ——经过钟差改正电文改正得到的卫星钟差；

c ——光速；

C_0 ——PPP-B2b 电文中获得的钟差改正参数。

7.6 用户测距精度指数

每颗卫星的 URAI 参数共 6 比特，其最高 3 比特定义为用户距离精度等级 (URAC_{CLASS})，最低 3 比特定义为用户距离精度值 (URAV_{VALUE})。URA 的计算公式为：

$$URA[\text{mm}] \leq 3^{\text{URAC}_{\text{CLASS}}} (1 + 0.25 * \text{URAV}_{\text{VALUE}}) - 1 \quad (7-11)$$

其中：URA 为用户距离精度，单位 mm；

当 URAI=000000（二进制），表示 URA 未定义或未知，相应卫星的 SSR 改正不可靠；

当 URAI=111111（二进制），表示 URA>5466.5mm。

7.7 系统时间解算

PPP-B2b 信号播发的各类改正数以 BDT 为时间基准，当用户采用多个导航系统观测进行精密定位解算时，每个历元需针对各导航系统设置不同的接收机钟差参数。

8 缩略语

BDCS	北斗坐标系 (BeiDou Coordinate System)
BDS	北斗卫星导航系统 (BeiDou Navigation Satellite System)
BDT	北斗时 (BeiDou Navigation Satellite System Time)
BPSK	二进制相移键控 (Binary Phase Shift Keying)
CGCS2000	2000 中国大地坐标系 (China Geodetic Coordinate System 2000)
CRC	循环冗余校验 (Cyclic Redundancy Check)
GEO	地球静止轨道 (Geostationary Earth Orbit)
GLONASS	格洛纳斯卫星导航系统 (Global Navigation Satellite System)
GNSS	全球卫星导航系统 (Global Navigation Satellite System)
GPS	全球定位系统 (Global Positioning System)
ICD	接口控制文件 (Interface Control Document)
IERS	国际地球自转参考系服务 (International Earth Rotation and Reference Systems Service)
IGSO	倾斜地球同步轨道 (Inclined GeoSynchronous Orbit)
IOD	数据版本号 (Issue of Data)
IODC	钟差参数版本号 (Issue of Data, Clock)
IODN	基本导航电文版本号 (Issue of Data, Navigation)
IODP	掩码版本号 (Issue of Data, PRN mask)
IOD SSR	SSR 版本号 (Issue of Data, SSR)
IRM	IERS 参考子午面 (IERS Reference Meridian)
IRP	IERS 参考极 (IERS Reference Pole)
LDPC	低密度奇偶校验 (Low Density Parity Check)
MEO	中圆地球轨道 (Medium Earth Orbit)
NTSC	国家授时中心 (National Time Service Center)
OS	开放服务 (Open Service)
PPP	精密单点定位 (Precise Point Positioning)
PRN	伪随机噪声码 (Pseudo-Random Noise)
RHCP	右旋圆极化 (Right-Hand Circular Polarization)

RMS	均方根 (Root Mean Square)
SSR	状态空间描述 (State Space Representation)
URA	用户距离精度 (User Range Accuracy)
URAI	用户距离精度指数 (User Range Accuracy Index)
UTC	协调世界时 (Universal Time Coordinated)
WN	整周计数 (Week Number)

附录 多进制 LDPC 编译码方法及示例

1. 多进制 LDPC 编码

由多进制 LDPC (n,k) 编码的校验矩阵 $\mathbf{H}=[\mathbf{H}_1, \mathbf{H}_2]$ 可以计算得到生成矩阵 \mathbf{G} 。再利用生成矩阵 \mathbf{G} ，对长度为 k 的输入信息序列 \mathbf{m} 进行编码，可得到长度为 n 的码字 $\mathbf{c}=(c_0, c_1, \dots, c_{n-1})=\mathbf{m} \cdot \mathbf{G}=[\mathbf{m}, \mathbf{p}]$ 。其中， $c_j (0 \leq j < n)$ 为码字 \mathbf{c} 中的第 j 个码字符号， $\mathbf{p}=\mathbf{m} \cdot (\mathbf{H}_2^{-1} \cdot \mathbf{H}_1)^T$ 为校验序列。

生成矩阵 \mathbf{G} 的产生方法如下：

第 1 步：将大小为 $(n-k) \times n$ 的矩阵 \mathbf{H} 表示为 $\mathbf{H}=[\mathbf{H}_1, \mathbf{H}_2]$ ，其中 \mathbf{H}_1 大小为 $(n-k) \times k$ ， \mathbf{H}_2 大小为 $(n-k) \times (n-k)$ ；

第 2 步：将矩阵 \mathbf{H} 转化为系统形式，用 \mathbf{H}_2^{-1} 左乘 \mathbf{H} ，得到右边为单位阵的校验矩阵 $\hat{\mathbf{H}}=[\mathbf{H}_2^{-1} \cdot \mathbf{H}_1, \mathbf{I}_{n-k}]$ ，其中 \mathbf{I}_{n-k} 为 $(n-k) \times (n-k)$ 单位阵；

第 3 步：得到矩阵 $\mathbf{G}=[\mathbf{I}_k, (\mathbf{H}_2^{-1} \cdot \mathbf{H}_1)^T]$ ，其中 \mathbf{I}_k 为 $k \times k$ 单位阵。

(1) 编码示例

以 B-CNAV3 导航电文采用 64 进制 LDPC (162,81) 编码为例，若输入信息为：

[
 001010 110010 010011 100001 001010 100110 010000 101001 101100 101111 011100
 000101 001110 111010 001001 110100 100010 111111 000101 011100 000110 111101
 000000 110001 110100 110111 000101 011001 010000 110011 011011 111010 001011
 010000 001001 001000 110111 100101 100011 001001 110110 100111 010110 100000
 011001 000100 001111 000111 001011 001111 011010 000011 111001 111100 011111
 011111 010101 111001 010111 000111 110001 011000 001111 011001 000110 001000
 111100 111101 100100 000011 001111 010110 110100 000000 000010 001010 101001
 101110 101001 011100 100011
];

其对应的 64 进制信息为：

[10 50 19 33 10 38 16 41 44 47 28 5 14 58 9 52 34 63 5 28 6 61
 0 49 52 55 5 25 16 51 27 58 11 16 9 8 55 37 35 9 54 39 22
 32 25 4 15 7 11 15 26 3 57 60 31 31 21 57 23 7 49 24 15 25
 6 8 60 61 36 3 15 22 52 0 2 10 41 46 41 28 35];

经过编码，输出码字为：

[

001010 110010 010011 100001 001010 100110 010000 101001 101100 101111 011100
 000101 001110 111010 001001 110100 100010 111111 000101 011100 000110 111101
 000000 110001 110100 110111 000101 011001 010000 110011 011011 111010 001011
 010000 001001 001000 110111 100101 100011 001001 110110 100111 010110 100000
 011001 000100 001111 000111 001011 001111 011010 000011 111001 111100 011111
 011111 010101 111001 010111 000111 110001 011000 001111 011001 000110 001000
 111100 111101 100100 000011 001111 010110 110100 000000 000010 001010 101001
 101110 101001 011100 100011 100100 101110 111001 000000 110111 000001 010110
 101101 110010 001001 011011 001001 011010 000011 001011 101001 010101 011111
 001101 101011 011110 001101 111101 011111 010100 001000 000110 100100 000011
 101101 001100 111001 111011 010111 001010 101011 101101 111111 000001 111100
 001111 101111 001010 000110 101000 111000 011000 000010 010011 010011 101110
 101011 010011 111101 011010 000001 000111 111101 001011 110111 110000 101011
 110001 101100 110010 011011 011111 011011 001100 111100 110011 111010 001111
 000110 011101 111101 100111 100110 000101 110101 100010

];

其对应的 64 进制码字为：

[10 50 19 33 10 38 16 41 44 47 28 5 14 58 9 52 34 63 5 28 6 61
 0 49 52 55 5 25 16 51 27 58 11 16 9 8 55 37 35 9 54 39 22
 32 25 4 15 7 11 15 26 3 57 60 31 31 21 57 23 7 49 24 15 25
 6 8 60 61 36 3 15 22 52 0 2 10 41 46 41 28 35 36 46 57 0
 55 1 22 45 50 9 27 9 26 3 11 41 21 31 13 43 30 13 61 31 20
 8 6 36 3 45 12 57 59 23 10 43 45 63 1 60 15 47 10 6 40 56
 24 2 19 19 46 43 19 61 26 1 7 61 11 55 48 43 49 44 50 27 31
 27 12 60 51 58 15 6 29 61 39 38 5 53 34]。

(2) 映射关系

64 进制 LDPC 编码后，每个码字符号由 6 比特构成，定义于本原多项式为 $p(x)=1+x+x^6$ 的有限域 $GF(2^6)$ 。有限域中的每个元素可以采用向量表示法和幂次表示法。

64 个元素的向量表示法到幂次表示法的映射表如下:

∞	0	1	6	2	12	7	26	3	32	13	35	8	48	27	18
4	24	33	16	14	52	36	54	9	45	49	38	28	41	19	56
5	62	25	11	34	31	17	47	15	23	53	51	37	44	55	40
10	61	46	30	50	22	39	43	29	60	42	21	20	59	57	58]

63 个非零元素从幂次表示法到向量表示法的映射表如下:

1	2	4	8	16	32	3	6	12	24	48	35	5	10	20	40
19	38	15	30	60	59	53	41	17	34	7	14	28	56	51	37
9	18	36	11	22	44	27	54	47	29	58	55	45	25	50	39
13	26	52	43	21	42	23	46	31	62	63	61	57	49	33]	

2. 多进制 LDPC 译码

多进制 LDPC (n,k) 编码生成的码字 $\mathbf{c} = (\mathbf{c}_0, \mathbf{c}_1, \dots, \mathbf{c}_{n-1})$ 在信号调制后进行信道传输, 经过信道传输后, 接收端可得到相应的接收序列 $\mathbf{y} = (\mathbf{y}_0, \mathbf{y}_1, \dots, \mathbf{y}_{n-1})$ 。其中, $\mathbf{y}_j = (y_{j,0}, y_{j,1}, \dots, y_{j,r-1})$ 为码字符号 \mathbf{c}_j 对应的信道接收信息, $\mathbf{c}_j \in \text{GF}(q), q = 2^r$, $0 \leq j < n$ 。

利用多进制 LDPC 码的校验矩阵 \mathbf{H} 可以对接收序列 \mathbf{y} 进行校验, 具体方法是: 对接收序列 \mathbf{y} 进行逐比特硬判决, 得到硬判决码字 $\hat{\mathbf{c}} = (\hat{\mathbf{c}}_0, \hat{\mathbf{c}}_1, \dots, \hat{\mathbf{c}}_{n-1})$, 据此计算校验和 $\mathbf{s} = \hat{\mathbf{c}}\mathbf{H}^T$ 。若 $\mathbf{s} = \mathbf{0}$, 则将 $\hat{\mathbf{c}}$ 作为正确的译码结果输出, 否则表明 $\hat{\mathbf{c}}$ 是错误的译码信息。

校验矩阵 \mathbf{H} 给出了 LDPC 码校验节点和变量节点之间的连接关系, 相互连接的校验节点和变量节点之间能够传递置信度信息。对于大小为 $m \times n$ 的校验矩阵 \mathbf{H} , 记 $h_{i,j} \in \text{GF}(q)$ 为 \mathbf{H} 矩阵中第 i 行第 j 列的元素, \mathbf{H} 中的每一行对应一个校验节点 CN, 每一列对应一个变量节点 VN。两个序数集定义如下:

$$M_j = \{i : 0 \leq i < m, h_{i,j} \neq 0\}, 0 \leq j < n$$

$$N_i = \{j : 0 \leq j < n, h_{i,j} \neq 0\}, 0 \leq i < m$$

若 $h_{i,j} \neq 0$, 则校验节点 CN_i 与变量节点 VN_j 之间相连并可以相互传递置信度信息。由变量节点 VN_j 传递给相连校验节点 CN_i ($i \in M_j$) 的置信度向量表示为 $\mathbf{V}2\mathbf{C}_{j \rightarrow i}$, 可用于计算校验节点 CN_i 的校验和; 由校验节点 CN_i 传递给相连变量节点 VN_j ($j \in N_i$) 的置信度向量表示为 $\mathbf{C}2\mathbf{V}_{i \rightarrow j}$, 可用于估算变量节点 VN_j 的符号值。采用置信度传播译码算法, 迭代更新 $\mathbf{V}2\mathbf{C}_{j \rightarrow i}$ 和 $\mathbf{C}2\mathbf{V}_{i \rightarrow j}$, 能够纠正接收序列 \mathbf{y} , 从而实现了对传输码字 \mathbf{c} 的估计。下面给出两种迭代的置信度传播译码算法, 用以估计传输码字 \mathbf{c} 。

(1) 扩展最小和法

设加性高斯白噪声信道的噪声均值为 0, 方差为 σ^2 。根据每个码字符号对应的接

收符号向量 \mathbf{y}_j 计算其置信度向量 \mathbf{L}_j 。所有 q 个有限域元素 $x \in \text{GF}(q)$ 及其对应的对数似然比 (LLR) 值 $\text{LLR}(x)$ 一起构成了置信度向量 \mathbf{L}_j ，其中向量 \mathbf{L}_j 的第 l 个元素 ($0 \leq l < q$) 由第 l 个有限域符号 x 及其 LLR 值组成。置信度向量 \mathbf{L}_j 中有限域元素 x 的对数似然比为：

$$\text{LLR}(x) = \log\left(\frac{P(\mathbf{y}_j | \hat{x})}{P(\mathbf{y}_j | x)}\right) = \frac{2 \sum_{b=0}^{r-1} |y_{j,b}| \Delta_{j,b}}{\sigma^2}$$

其中， \hat{x} 是 $\text{GF}(q)$ 中使概率 $P(\mathbf{y}_j | x)$ 最大的有限域元素，即直接对接收符号 \mathbf{y}_j 逐比特作硬判决得到的元素。有限域元素 x 和 \hat{x} 对应的比特序列分别为 $x = (x_0, x_1, \dots, x_{r-1})$ 和 $\hat{x} = (\hat{x}_0, \hat{x}_1, \dots, \hat{x}_{r-1})$ ， $\Delta_{j,b} = x_b \text{ XOR } \hat{x}_b$ ，XOR 为异或运算，即若 x_b 和 \hat{x}_b 相同则 $\Delta_{j,b} = 0$ ，否则 $\Delta_{j,b} = 1$ 。

在扩展最小和译码算法中，传递的置信度向量 \mathbf{L}_j 的长度从 q 个有限域元素减至 n_m ($n_m \ll q$) 个，即在置信度向量中只保留 LLR 值最小（即置信度最高）的 n_m 个元素。扩展最小和译码的算法流程如下：

初始化： 设置最大迭代次数 itr_{\max} ，当前迭代次数 $\text{itr}=0$ 。根据接收向量 \mathbf{y}_j 计算置信度向量 \mathbf{L}_j ($0 \leq j < n$)。利用 \mathbf{L}_j 初始化各变量节点 VN_j 的所有 $\text{V2C}_{j \rightarrow i}$ 向量。

第 1 步： 对各变量节点 VN_j ($0 \leq j < n$)，根据变量节点更新规则计算判决符号 $\hat{\mathbf{c}}_i$ 与置信度向量 $\text{V2C}_{j \rightarrow i}$ 。

第 2 步： 利用多进制 LDPC 码的校验矩阵 \mathbf{H} ，计算校验和 $\mathbf{s} = \hat{\mathbf{c}}\mathbf{H}^T$ 。若 $\mathbf{s} = \mathbf{0}$ ，则将判决值序列 $\hat{\mathbf{c}}$ 作为译码输出并终止译码；否则执行第 3 步。

第 3 步： 对各校验节点 CN_i ($0 \leq i < m$)，根据校验节点更新规则计算置信度向量 $\text{C2V}_{i \rightarrow j}$ 。

第 4 步： 令 $\text{itr}=\text{itr}+1$ 。若 $\text{itr} = \text{itr}_{\max}$ ，则终止译码并声明失败；否则转至第 1 步。

1) 变量节点更新规则

若当前迭代次数 $\text{itr}=0$ ，对于每个码字符号的置信度向量 \mathbf{L}_j ，按照其 q 个有限域元素的 LLR 值进行升序排列，取排序后 \mathbf{L}_j 中的前 n_m 个元素构成截断置信度向量 $\mathbf{L}_{j,n_m} = (\mathbf{x}_{n_m}, \text{LLR}(\mathbf{x}_{n_m}))$ 。将 $\text{V2C}_{j \rightarrow i}$ 初始化为 \mathbf{L}'_{j,n_m} ：

$$\text{V2C}_{j \rightarrow i} = \mathbf{L}'_{j,n_m} = \mathbf{L}_{j,n_m} \cdot h_{i,j} = (\mathbf{x}_{n_m} \cdot h_{i,j}, \text{LLR}(\mathbf{x}_{n_m}))$$

其中， \mathbf{x}_{n_m} 为被截取的前 n_m 个有限域元素组成的向量， $\mathbf{x}_{n_m} \cdot h_{i,j}$ 为截取的 n_m 个有限域元素与 $h_{i,j}$ 的有限域乘法。

若当前迭代次数 $\text{itr} \neq 0$ ，设 $\text{C2V}_{f \rightarrow j}$ 是校验节点 CN_f 传递给相连变量节点 VN_j 的长度为 n_m 的置信度向量，利用 VN_j 收到的所有置信度向量 $\text{C2V}_{f \rightarrow j} (f \in M_j, f \neq i)$ ，计算 VN_j 传递给相连校验节点 CN_i 的置信度向量 $\text{V2C}_{j \rightarrow i}$ ：

$$\text{V2C}_{j \rightarrow i} = h_{i,j} \cdot \left(\sum_{f \in M_j, f \neq i} \text{C2V}_{f \rightarrow j} \cdot h_{f,j}^{-1} + \mathbf{L}_j \right)_{n_m} = (\mathbf{R}_{s_{j \rightarrow i}}, \mathbf{R}_{j \rightarrow i})$$

其中，有限域元素 $h_{f,j}^{-1}$ 是 $h_{f,j}$ 的逆元，即 $h_{f,j}^{-1} \cdot h_{f,j} = 1$ 。上式中的加和运算将各置信度向量 $\text{C2V}_{f \rightarrow j} \cdot h_{f,j}^{-1}$ 中相同元素的 LLR 值进行相加， $(\bullet)_{n_m}$ 操作表示将置信度向量中的元素进行升序排序并截取前 n_m 个元素，且这 n_m 个有限域元素互不相同。 $\mathbf{R}_{s_{j \rightarrow i}}$ 是前 n_m 个有限域元素组成的向量， $\mathbf{R}_{j \rightarrow i}$ 是对应的 LLR 值向量。被置信度向量 $\text{C2V}_{f \rightarrow j}$ 舍弃的 $q - n_m$ 个有限域元素的 LLR 值取为 $\text{C2V}_{f \rightarrow j}$ 中最大的 LLR 值与一个固定偏移量之和。在每个置信度向量 $\text{V2C}_{j \rightarrow i}$ 计算完成后，找到该置信度向量中 LLR 的最小值 LLR_{\min} ，将该置信度向量中各元素的 LLR 值减去 LLR_{\min} 。

此外，每个变量节点在每次计算时都进行一次判决，选取长度为 q 的置信度向量 $\left\{ \sum_{f \in M_j} \text{C2V}_{f \rightarrow j} \cdot h_{f,j}^{-1} + \mathbf{L}_j \right\}$ 中 LLR_{\min} 对应的有限域元素作为判决值，判决公式为：

$$\hat{c}_j = \arg \min_{x \in \text{GF}(q)} \left\{ \sum_{f \in M_j} \text{C2V}_{f \rightarrow j} \cdot h_{f,j}^{-1} + \mathbf{L}_j \right\}, 0 \leq j < n$$

判决符号 \hat{c}_j 与置信度向量 $\text{V2C}_{j \rightarrow i}$ 一起传递给对应的校验节点。检查当前迭代译码结果 $\hat{\mathbf{c}} = (\hat{c}_0, \hat{c}_1, \dots, \hat{c}_{n-1})$ 是否能通过校验矩阵校验，即 $\mathbf{s} = \hat{\mathbf{c}}\mathbf{H}^T$ 是否为零向量。

2) 校验节点更新规则

对每个校验节点 $\text{CN}_i (0 \leq i < m)$ ，接收所有与之相连的变量节点传递的置信度向量 $\text{V2C}_{j \rightarrow i}$ ，计算置信度向量 $\text{C2V}_{i \rightarrow j}$ ：

$$\text{C2V}_{i \rightarrow j} = \sum_{\gamma \in N_i, \gamma \neq j} \text{V2C}_{\gamma \rightarrow i}$$

其中，每次加和运算定义为校验节点基本计算：输入两个 n_m 长的置信度向量（各包含 n_m 长的有限域元素向量及对应的 LLR 向量），对来自不同置信度向量的有限域元素做加法得到候选元素并计算对应的 LLR 值，将所有候选元素的 LLR 值升序排列，截取前 n_m 个最小的 LLR 值及其对应的有限域元素构成输出置信度向量。设校验节点基本计算的输入置信度向量分别为 $(\mathbf{U}_s, \mathbf{U})$ 和 $(\mathbf{Q}_s, \mathbf{Q})$ ，输出置信度向量为 $(\mathbf{V}_s, \mathbf{V})$ ，其中 \mathbf{U} ， \mathbf{Q} ， \mathbf{V} 为升序排列的 n_m 长 LLR 向量， \mathbf{U}_s ， \mathbf{Q}_s ， \mathbf{V}_s 为相对应的有限域元素向量。根据输入置信度向量，构建大小为 $n_m \times n_m$ 的置信度矩阵 \mathbf{M} 和有限域元素矩阵 \mathbf{M}_s 。 \mathbf{M}_s 和 \mathbf{M} 的计算公式为：

$$M_s[d, \rho] = U_s[d] \oplus Q_s[\rho]$$

$$M[d, \rho] = U[d] + Q[\rho]$$

其中, $d, \rho \in \{0, 1, \dots, n_m - 1\}$, \oplus 为有限域加法。

校验节点基本计算的公式为:

$$V[\varepsilon] = \min_{d, \rho \in \{0, 1, \dots, n_m - 1\}} \{M[d, \rho]\}_{V_s[\varepsilon] = M_s[d, \rho]}, 0 \leq \varepsilon < n_m$$

上式的具体实现可以通过对大小为 n_m 的寄存器 \mathbf{S} 进行如下操作完成:

初始化: 将 \mathbf{M} 的第1列存入 \mathbf{S} , 使 $S[\zeta] = M[\zeta, 0]$, $\zeta \in \{0, 1, \dots, n_m - 1\}$ 。令 $\varepsilon = 0$ 。

第1步: 找到 \mathbf{S} 中的最小值。(假设 $M[d, \rho]$ 对应 \mathbf{S} 中的最小值)。

第2步: 若 \mathbf{S} 中最小值对应的有限域元素不存在于向量 \mathbf{V}_s 中, 则将 \mathbf{S} 中的最小值给 $V[\varepsilon]$, 将对应的有限域元素给 $V_s[\varepsilon]$, $\varepsilon = \varepsilon + 1$; 否则, 不执行操作。

第3步: 将 \mathbf{S} 中的最小值替换为其在 \mathbf{M} 中对应元素的右边元素, (即假设当前 \mathbf{S} 中的最小值为 $M[d, \rho]$, 则将其替换为 $M[d, \rho + 1]$)。

第4步: 转至第1步, 直到 $\varepsilon = n_m$ 。

(2) 固定路径译码算法

固定路径译码算法是一种高效的译码算法, 其整个算法流程和扩展最小和译码算法一致。不同的地方在于具体的校验节点更新规则。以校验节点的行重值 $d_c = 4$ 为例 (即每个校验节点接收到 4 个输入信息向量), 固定路径译码算法校验节点更新规则介绍如下:

对于每个校验节点 CN_i ($0 \leq i < m$), 利用与之相连的变量节点传递的 4 个置信度向量 $\mathbf{V}2\mathbf{C}_{j \rightarrow i} = (\mathbf{R}_{s_{j \rightarrow i}}, \mathbf{R}_{l_{j \rightarrow i}})$ ($j \in N_i$), 计算长为 $8 + 2n_m$ 的固定路径偏差值向量 $\mathbf{E}_i = (\mathbf{R}_{s_i}, \mathbf{R}_{l_i})$, 其中 \mathbf{R}_{s_i} 是长度为 $8 + 2n_m$ 的有限域元素向量 (向量中可能存在重复的有限域元素), \mathbf{R}_{l_i} 是对应的 LLR 向量。

每次计算时, 将 4 个置信度向量 $\mathbf{V}2\mathbf{C}_{j \rightarrow i}$ 按照其第二个元素 $\mathbf{V}2\mathbf{C}_{j \rightarrow i}[1] = (R_{s_{j \rightarrow i}}[1], R_{l_{j \rightarrow i}}[1])$ (索引下标为 1) 的 LLR 值 $R_{l_{j \rightarrow i}}[1]$ 从小到大排序, 排序后的 4 个新向量定义为 $(\mathbf{R}_{s_{l_i}}, \mathbf{R}_{l_i})$, $0 \leq l < 4$, 即 $R_{0,i}[1] \leq R_{1,i}[1] \leq R_{2,i}[1] \leq R_{3,i}[1]$ 。其中, $\mathbf{R}_{s_{l_i}}$ 为排序后的 n_m 长度的有限域元素向量, \mathbf{R}_{l_i} 是对应的 LLR 向量。根据 4 个新向量 $(\mathbf{R}_{s_{l_i}}, \mathbf{R}_{l_i})$ 计算固定路径偏差值向量 $\mathbf{E}_i = (\mathbf{R}_{s_i}, \mathbf{R}_{l_i})$, 各元素 $R_{s_i}[e]$ 及其 LLR 值 $R_{l_i}[e]$ 计算公式为

$$R_{S_i}[e] = \begin{cases} \sum_{0 \leq l < 4} R_{S_{l,i}}[0], & e = 0 \\ R_{S_{e-1,i}}[1] \oplus \sum_{0 \leq l < 4, l \neq e-1} R_{S_{l,i}}[0], & 1 \leq e \leq 4 \\ R_{S_{0,i}}[1] \oplus R_{S_{e-4,i}}[1] \oplus \sum_{1 \leq l < 4, l \neq e-4} R_{S_{l,i}}[0], & 5 \leq e \leq 7 \\ R_{S_{0,i}}[0] \oplus R_{S_{1,i}}[1] \oplus R_{S_{2,i}}[1] \oplus R_{S_{3,i}}[0], & e = 8 \\ R_{S_{0,i}}[0] \oplus R_{S_{1,i}}[1] \oplus R_{S_{2,i}}[0] \oplus R_{S_{3,i}}[1], & e = 9 \\ R_{S_{e-10,i}}[2] \oplus \sum_{0 \leq l < 4, l \neq e-10} R_{S_{l,i}}[0], & 10 \leq e < 14 \\ R_{S_{\theta,i}}[e-11] \oplus \sum_{0 \leq l < 4, l \neq \theta} R_{S_{l,i}}[0], & 14 \leq e < 11+n_m \\ R_{S_{\beta,i}}[e-8-n_m] \oplus \sum_{0 \leq l < 4, l \neq \beta} R_{S_{l,i}}[0], & 11+n_m \leq e < 8+2n_m \end{cases}$$

$$R_i[e] = \begin{cases} 0, & e = 0 \\ R_{e-1,i}[1], & 1 \leq e \leq 4 \\ R_{0,i}[1] + R_{e-4,i}[1], & 5 \leq e \leq 7 \\ R_{1,i}[1] + R_{e-6,i}[1], & 8 \leq e \leq 9 \\ R_{e-10,i}[2], & 10 \leq e < 14 \\ R_{\theta,i}[e-11], & 14 \leq e < 11+n_m \\ R_{\beta,i}[e-8-n_m], & 11+n_m \leq e < 8+2n_m \end{cases}$$

其中， θ 和 β 分别表示全部 $\mathbf{R}_{i,l}$ 向量中第 $\lfloor n_m/2 \rfloor + 1$ 个 LLR 值（索引下标为 $\lfloor n_m/2 \rfloor$ ）的最小值和次小值所对应的 $\mathbf{R}_{i,l}$ 向量下标 l ，加和运算及 \oplus 为有限域加法运算。

设定两个长为 $8+2n_m$ 的标志向量 \mathbf{T} 和 $\bar{\mathbf{T}}$ 并将其初始化为全 1 向量。对于 $0 \leq k_R < 8+2n_m$ ，标志向量 \mathbf{T} 和 $\bar{\mathbf{T}}$ 的更新公式为：

$$T[k_R] = \begin{cases} 1, R_i[k_R] \leq R_{\theta,i}[\lfloor n_m/2 \rfloor] \\ 0, R_i[k_R] > R_{\theta,i}[\lfloor n_m/2 \rfloor] \end{cases}$$

$$\bar{T}[k_R] = \begin{cases} 1, R_i[k_R] \leq R_{\beta,i}[\lfloor n_m/2 \rfloor] \\ 0, R_i[k_R] > R_{\beta,i}[\lfloor n_m/2 \rfloor] \end{cases}$$

根据固定路径偏差和标志向量更新 4 个长度为 n_m 的输出置信度向量 ($\mathbf{U}_{s,i,l}, \mathbf{U}_{i,l}$)，计算公式为：

$$\mathbf{U}_{s,i,l} = (R_{S_i}[w] \oplus R_{S_{l,i}}[0])_{n_m}$$

$$\mathbf{U}_{i,l} = (R_i[w])_{n_m}$$

其中， $0 \leq l < 4$ ； w 的取值范围由不同的情况决定，对于 $l=0$ 的情况，如果 $\theta \neq 0$ ， w 的取值范围为：

$$\{w | T[w]=1\} \cap \{\{w=0\} \cup \{1 < w \leq 4\} \cup \{8 \leq w < 10\} \cup \{10 < w < 11+n_m\}\}$$

否则， w 的取值范围为：

$$\{w | \bar{T}[w]=1\} \cap \{\{w=0\} \cup \{1 < w \leq 4\} \cup \{8 \leq w < 10\} \cup \{10 < w < 14\} \cup \{w \geq 11+n_m\}\}$$

对于 $1 \leq l < 4$ 的情况，如果 $l = \theta$ 时， w 的取值范围为

$$\{w | \bar{T}[w]=1\} \cap \{\{0 \leq w \leq 7\} \cup \{10 \leq w < 14\} \cup \{w \geq 11+n_m\}\} \cap \{\{w \neq l+1\} \cap \{w \neq 4+l\} \cap \{w \neq 10+l\}\}$$

否则 w 的取值范围为：

$$\{w | T[w]=1\} \cap \{\{0 \leq w \leq 7\} \cup \{10 \leq w < 11+n_m\}\} \cap \{\{w \neq l+1\} \cap \{w \neq 4+l\} \cap \{w \neq 10+l\}\} \quad U_{S_{i,l}}[z]$$

($0 \leq z < n_m$) 对应于 w 的前 n_m 个最小值计算得到的 $Rs_i[w] \oplus Rs_{i,l}[0]$ ，且不需要排除 $U_{S_{i,l}}[z]$ 中相同的元素， $U_{i,l}[z]$ 是 $U_{S_{i,l}}[z]$ 对应的 LLR 值。

计算得到的 4 个向量 $(\mathbf{U}_{S_{i,l}}, \mathbf{U}_{i,l})$ 的排列顺序与 4 个排序后的输入向量 $(\mathbf{R}_{S_{i,l}}, \mathbf{R}_{i,l})$ 一一对应。因为每一个输入向量 $(\mathbf{R}_{S_{i,l}}, \mathbf{R}_{i,l})$ 对应一个 $\mathbf{V}2\mathbf{C}_{j \rightarrow i}$ 向量，根据置信度向量 $\mathbf{V}2\mathbf{C}_{j \rightarrow i}$ 与 $(\mathbf{R}_{S_{i,l}}, \mathbf{R}_{i,l})$ 的之间的排列顺序，更新输出置信度向量 $\mathbf{C}2\mathbf{V}_{i \rightarrow j} = (\mathbf{U}_{S_{i,l}}, \mathbf{U}_{i,l})$ ，($j \in N_i$)。