

Research and Analysis of GPS Navigation Message

ZHANG Xiaohua, YAO Ming

Institute of Electrical and Electronic Engineering, Hubei University of Technology, Wuhan, China

Abstract: GPS navigation message, also known as D Code, plays the main role of transmitting GPS satellite ephemeris (position) information to receiver. In addition, It also includes clock corrections, ionosphere delay corrections, work status information, C / A code switching to the P code information, as well as all satellite ephemeris. GPS navigation message, unique pseudo-random code of each satellite and the two kinds of GPS carrier frequency signal (frequency L1 1575.42Mhz and sub-band L2 1227.6Mhz) are mixed through DSSS Modulation and send to receiver so that the receiver can decode them and obtain the navigation message. In this paper, it gives the contents of each sub-frame detailed analysis after large amount of research of navigation message.

Keywords: navigation message; sub-frame; ephemeris parameters

GPS 卫星信号导航电文的研究与解析

张小华, 姚 铭

湖北工业大学电气与电子工程学院, 武汉, 中国, 430068

摘 要: GPS 的导航电文又称为 D 码, 它主要作用是将 GPS 卫星的星历 (位置) 信息传输给接收机。此外, 它还包括时钟改正、电离层延时改正、工作状态信息以及 C/A 码转换到捕获 P 码的信息、全部卫星的概略星历。GPS 的导航电文通过与每颗卫星独特的伪随机码和 GPS 的两种载频信号 (主频 L1 1575.42Mhz 和次频 L2 1227.6Mhz) 进行 DSSS 调制发送到接收机, 从而被接收机解码, 使之获得导航信息。本文在对导航电文进行了大量的研究后, 给出了其各个子帧内容的详细解析。

关键词: 导航电文; 子帧; 星历参数

1 引言

GPS 卫星发射的信号由载波、测距码和导航电文三部分组成。载波有两种频率——L1 1575.42Mhz 和 L2 1227.6Mhz。测距码分为粗捕获码 C/A 码和精密捕获码 P 码两种。GPS 的标准民用服务 (SPS) 的接收机为捕获 C/A 码的单频接收机而应用于 GPS 的精度定位服务 (PPS) 接收机为双频接收机, 它同时捕获 C/A 码和 P 码进行精确测距。导航电文又称为 D 码, 其频率为 50Hz, 它和 C/A 码或 P 码通过 BPSK 调制再混频到载波当中。导航电文包括 GPS 卫星的轨道参数、卫星钟改正数和其它一些系统参数。用户需要利用此导航信息来计算某一时刻 GPS 卫星在地球轨道上的位置, 而这种信息的传递完全是单向传输, 并且接收机的数量可以是无限的, 因此, 导航信息也被称为广播星历^[1]。

2 导航电文的基本格式

导航电文的基本单位为“帧”。一帧导航电文为 1500bits, 共包括 5 个子帧。而每个子帧有 10 个含有 30bits 电文的字, 所以每个子帧长度为 300bits, 一共 1500bits。由于 D 码传输速率为 50bps, 因此需要 30s 的时间才能将完整的一帧数据传完。导航电文的格式

如图 1 所示:

可以注意到, 子帧 4 和 5 各有 25 页, 这是为了将 25 颗 GPS 卫星的星历传输给接收机。子帧 1、2、3 和子帧 4、5 的每一页组成一帧导航电文。这样每 25 帧电文构成一个主帧。在每一帧电文中, 第 1、2、3 帧的内容每小时更新一次, 而子帧 4、5 的内容仅在给卫星注入新的导航数据才能被更新。

3 导航电文的内容

GPS 导航电文包含了许多星历信息, 可以看到, 每个子帧都含有遥测字 (TLM) 和交接字 (HOW) 两个字, 下面将会对这两个字进行说明, 然后再对每帧的数据块内容进行详细说明。其框图结构如图 2 所示。

3.1 遥测字

每个子帧的开头的第一个字码都是遥测字 (telemetry word, TLW), 是为捕获导航电文的索引而设计, 它长为 30bits。图 3^[2]给出 TLM 字的具体内容。

它的第 1-8bit 是 8 位固定的内容 (10001011) 的同步码即数据报头。第 9-22 位是 14 位的 TLM 信息, 并且 TLM 信息只提供给被授权的用户^[3]。第 23 和第 24 两位作为保留字, 无意义。最后 6 位为奇偶效验位。

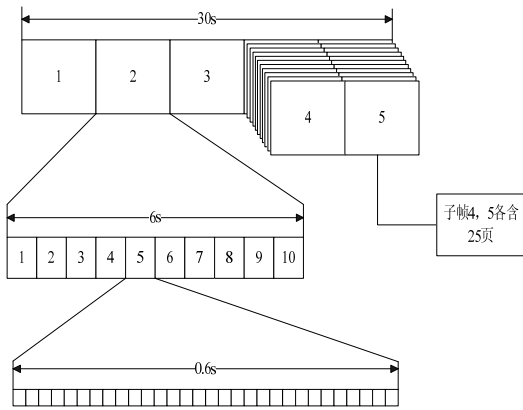


Figure 1. Navigation message format

图 1. 导航电文格式



Figure 2. Navigation message structure diagram

图 2. 导航电文结构框图

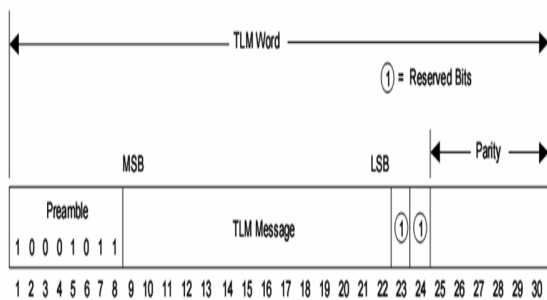


Figure 3. Telemetry word content

图 3. 遥测字内容

3.2 交接字

每个子帧的第 2 个字码都是交接字 (handover word, HOW), 它的主要作用是向用户提供捕获 P 码的 TOW (time of week) 计数器的高 17 位 (TOW 为 19 位)。图 4^[2]给出 HOW 字的具体内容。TOW 计数器是

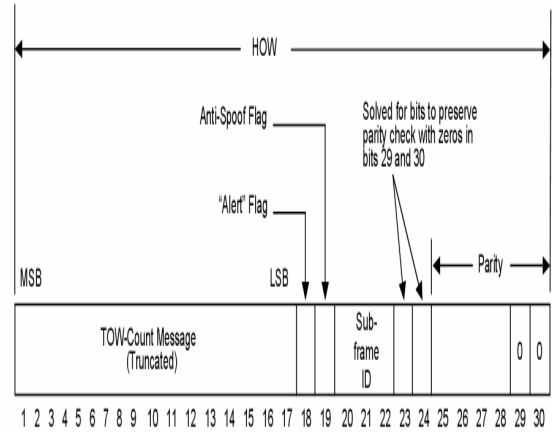


Figure 4. Hand over word content

图 4. 交接字内容

Z 计数器的低 19 位, 并且它的模为 403200, 而它的计数时钟是为 1.5s 的 X1 历元, 所以 TOW 的数值代表着整整一个星期以 1.5 秒的时间标定。这里 TLM 中 TOW 只取高 17 位是因为 HOW 更新的周期为 6s, 所以导航电文的 TLM 字中的高 17 位的 TOW 跟 Z 计数器中是完全同步的, 它真实反映了这一帧刚出现时的星期标定时间。

第 18 比特是一个“警告”标识。当为“1”时, 代表未被授权的用户定位精确度可能比较低并由用户承担风险, 当为“0”的时候, 则代表提供给授权用户高精度的服务。第 19 比特是反欺骗 (AS) 标识。“1”代表 AS 模式开启。HOW 的第 20, 21 和 22 比特提供了子帧 ID, 具体分配如下:

子帧	ID 代码
1.	001
2.	010
3.	011
4.	100
5.	101

第 23, 24 比特为保留位, 字的末 6 位为奇偶效验, 最后 2 位为“00”。

3.3 子帧 1

图 5^[2]给出子帧 1 的具体内容。子帧 1 的第三个字到第十个字都在其低 6 位中也包含了奇偶效验。另外, 第十个字的 23, 24 位不提供信息作为奇偶效验。第三个字到第十个字剩下的 190 比特包含时钟参数和其他以下描述的数据。时钟参数在有效的时间段描述 SV 时间尺度。一个数据集参数在传输期间有效只到传送完毕下一个数据集开始传输。

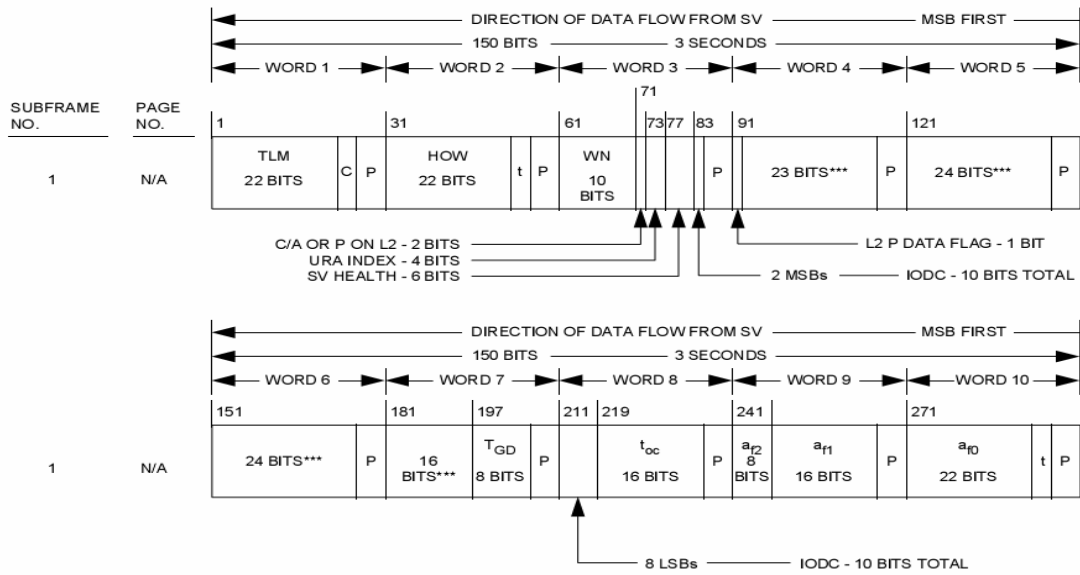


Figure 5. Content of sub-frame One

图 5. 子帧 1 内容

星期号 (Week Number): 子帧 1 的第三个字的高 10 位是 29 位 Z 计数器的高 10 位 WN(Week Number), 这 10 个比特以 1024 为模代表当前数据集传输期间的 GPS 周数。GPS 周数增加发生在每一次周历元的结束/开始。GPS 周数零时刻被美国海军天文台 (U.S. Naval Observatory, USNO) 定义为 1980 年 1 月 5 日午夜/1980 年 1 月 6 日清晨零点。那么 WN 以周为单位的计数器只能以 1024 为模计数, 所以可以计算出在 1999 年 8 月 21 午夜/1999 年 8 月 22 日清晨零点为模的一个循环 NW 计数归零^[1]。

L2 载波上代码 (Codes on L2 Channel): 第三个字的 11 和 12 比特代表 L2 载波上代码的情况, 具体如下:

- 00 = 保留
- 01 = P 码 ON
- 10 = C/A 码 ON

卫星精度 (SV Accuracy): 第三个字 13 到 16 比特为未授权的用户提供卫星 (SV) 的用户范围精度 (URA) 索引。URA 索引由 0 到 15 的整数组成, 具体情况如下:

URA 索引	< URA(米)	≤
0	0.00	3.40
1	2.40	4.85
2	3.40	6.85
3	4.85	9.65
4	6.85	13.65

5	9.65	24.00
6	13.65	48.00
7	24.00	96.00
8	48.00	192.00
9	96.00	384.00
10	192.00	768.00
11	384.00	1536.00
12	768.00	3072.00
13	1536.00	3072.00
14	3072.00	6144.00
15	6144.00	

无精度可言, 用户自己承担风险

URA 值(X)与 URA 索引(N)存在以下运算关系:

$$X = 2^{(1+N/2)} \quad N \leq 6$$

$$X = 2^{(N-2)} \quad 6 < N \leq 15$$

卫星健康状况 (SV Health): 第三个字的 6 比特代表 SV 的健康指标。最高位代表整个导航电文健康状况的概要: “0”代表导航电文完好; “1”代表部分或全部导航数据损坏。

至于低 5 位代表的意义将在介绍子帧 4 和 5 的内容中详细描述。由于上载时间的不同, 子帧 4 和子帧 5 中其他卫星的健康数据可能和子帧 1 的有差别。

发布数据时钟 (Issue of Data, clock IODC): 子帧 1 的第三个字的 23 和 24 比特是 10 比特 IODC 序列的高 2 位, 子帧 1 的第 8 个字的第 1 到第 8 比特包含 IODC 的低 8 位。IODC 是时钟改正数的外推时间间隔, 它

只指明卫星时钟修改数的置信数^[2]。IODC 的表达式^[2]如下:

$$\text{IODC} = \text{Toc} - \text{Tl}$$

式中: Toc 为第一数据块的参考时刻

Tl 为计算时钟改正参数所用数据的最后观测时间 L2 载波 P 码标识 (Data Flag for L2 P-Code): 第 1 帧的第 4 个字的第一个比特如果为“1”代表导航电文数据在 L2 上关闭。

地面延时差分: 第 7 个字的第 17 比特到 24 比特包含了 L1-L2 上修正参数 TGD, 只对单频用户有用。这个参数首先是由 CS 计算来精确 L1 P(Y) 和 L2 P(Y) 之间的地面差分延时的。每颗 SV 的 TGD 的值随后便会上传到对应的 SV 来反映真实的地面差分延时^[4]。

卫星时钟修正: 第 8 字的第 9 到 24 比特, 第 9 字的 1 到 24 比特和第 10 字的 1 到 22 比特包含了卫星时钟修正参数 (TOC、af2,af1,af0)。

3.4 子帧 2 和 3

同子帧 1 一样, 子帧 2、3 的第三个字到第十个字都在其低 6 位中也包含了奇偶效验。另外, 第十个 23, 24 位不提供信息作为奇偶效验。

子帧 2 的第 288 比特到 292 比特包含了数龄补偿 (Age Of Data Offset, AODO) 参数, 这个参数是为第 4 子帧的导航信息修正表 (navigation message correction table, NMCT) 提供的。此外, 其他的数据都是 SV 星历参数。星历参数描述了 SV 在曲线拟合间隔间的运行轨道^[5]。

3.5 第 4 子帧

第 4 子帧的第 2-5、第 7-10 页面提供第 25 颗-32 颗卫星的概略星历。第 17 页提供专用电文, 第 18 页面给出电离层改正模型参数和 UTC 数据。第 26 页面提供所有卫星的型号、防电子对抗特征符以及第 25-32 颗卫星的健康状况。第 1、6、11、12、16、第 19-24 页面作备用, 第 13-15 页面为空闲页。

3.6 第 5 子帧

第 5 子帧的第 1-24 页面给出第 1 颗-24 颗卫星的历书。第 25 页面给出第 1-24 颗卫星的健康状况和星期编号。在第 3 数据块中, 第 4 子帧和第 5 子帧的每个页面的第 3 字码, 其开始的 8 比特是识别码, 并且分为两种形式: (1) 第 1 比特和第 2 比特为电文识别 (DATA ID); (2) 第 3 比特-第 8 比特为卫星识别 (SV ID)。

References (参考文献)

- [1] LV FENG, MIAO, GPS System And Application[J]. 苗履丰. GPS 系统及其应用[J]. 测绘科技动态, 1988 第 5 期.
- [2] NASA ICD-GPS-200, Revision DElliott D. Kaplan Christopher J. Hegarty. 主编 寇艳红 译电子工业出版社 2001.
- [3] Understanding GPS Principles and Applications[M].
- [4] JUN YANG, The Basic Principles of GPS and Matlab simulation[M]. 杨俊, GPS 基本原理及其 Matlab 仿真[M] 西安电子科技大学出版社 2003.
- [5] YOU JIAN, HU, Global Positioning System (GPS) principle and application[M]. 胡友健 全球定位系统(GPS)原理与应用[M] 中国地质大学出版社 1996.