

# 卫星导航系统导航电文结构的性能评估

陈 南<sup>1</sup>

(1 西安测绘研究所,西安市雁塔路中段 1 号,710054)

**摘 要:**介绍了卫星导航系统导航电文的内容组成与结构特点,在考虑导航电文结构设计中影响导航电文性能的各种因素的基础上,提出了导航电文结构性能评估的一般准则与方法。作为应用实例,对 GPS 和 GLO-NASS 导航电文结构的性能作了初步分析和评估。

**关键词:**GPS; GLONASS; 卫星导航系统; 导航电文; 性能评估

**中图法分类号:**P228.41

2003 年 11 月 24 日和 2004 年 12 月 7 日,美国公布了新的 GPS 空间段与用户段之间的接口规定文件——IS-GPS-705<sup>[1]</sup>和 IS-GPS-200 Revision D<sup>[2]</sup>,分别规定了  $L_5$  上的信号与导航电文 (IS-GPS-705)、 $L_1$  上传统的信号与导航电文以及  $L_2$  上的民用信号与导航电文 (IS-GPS-200 Revision D)。后来又分别于 2005 年 9 月 22 日和 2006 年 3 月 7 日公布了这两个文件的最新修订版。在这两个文件中,规定了一种新的民用导航电文的结构——CNAV( $L_5$  上的导航电文被称作  $L_5$  CNAV,实际上,其结构与  $L_2$  上的 CNAV 完全相同,仅数据发送速率不同)。与 GPS 一直使用的导航电文 (IS-GPS-200 Revision D 中称之为 NAV) 相比,CNAV 的内容和结构有了许多变化,特别是结构变化很大。内容与结构的变化均反映了导航电文设计的新趋势,必然给导航定位的性能带来影响。为了充分利用 GPS 导航资源,应该对导航电文结构的性能进行定性及定量评估<sup>[3,4]</sup>。本文在这方面进行了一些初步探讨,并对目前 GPS 与 GLONASS 导航电文的性能进行了分析。

## 1 导航电文的内容与结构

### 1.1 导航电文的基本内容

为了实现导航定位,导航电文中应提供系统时间、卫星位置(即卫星星历)、卫星时钟改正等数

据,这些数据是导航电文最重要、最基本的组成部分,而且实时性要求高,可以称之为即时数据。为了提高系统服务的性能和可靠性,电文中还包括有系统及卫星工作状况信息,这些信息的实时性要求也非常高,甚至超过卫星星历等数据。另外,为了辅助用户接收机捕获卫星信号,电文中还提供了卫星的历书(又称作卫星日程表)等数据,这些数据可以称之为非即时数据。近年来,为了进一步提高导航定位的精度,有些系统的导航电文中还增加了差分改正数据<sup>[1,2]</sup>。

### 1.2 导航电文结构的特点

导航电文中所包含的不同内容具有不同的时效性,如即时数据和非即时数据。一般来说,用户接收机希望尽快收到卫星星历和卫星时钟改正等数据,以便尽快定位,完好性信息(如系统工作状态等)也希望能够及时提供,而接收其他数据的紧迫性则要弱一些。从整体结构上来说,导航电文应能够满足不同时效性数据的发播要求。

为了使用户接收机在捕获卫星信号后能够取得数据同步,发现和纠正数据传输中出现的错误,正确地获取所需的数据,导航电文中应该提供数据同步手段和检错纠错手段,所以导航电文中应包括有数据同步码和数据检错码甚至纠错码<sup>[5]</sup>。

导航电文的作用不仅仅是给用户定位所需的数据,还要给用户系统时间。导航电文一般以固定长度的数据段(常被称作帧)为基本单位进行发送,帧的发送与系统时间之间有一定的

对应关系。用户可以在接收数据过程中获得系统时间。

一个帧中,导航电文的内容与系统时间之间的关系可以是固定的,也可以是不固定的,如果不固定,则每个帧中还要给出本帧电文内容的标识信息。

综上所述,导航电文的结构具有下列特点:

① 从整体结构上来说,导航电文结构应满足具有不同时效性和不同更新周期的数据的时效性要求;② 导航电文的内容包括同步码、导航信息、时间信息和检错纠错码等,以同步码开始,中间为各种信息,最后为检错纠错码;③ 导航电文帧的长度是固定的;④ 如果帧中的数据内容与系统时间之间没有对应关系,则帧中应包括内容标识信息。

## 2 导航电文结构性能的评估

导航电文设计中要考虑各种不同数据的时效性、所需发送的数据量、时间关系、电文结构的可扩充性和灵活性以及通信资源利用率等多种因素,因此,电文结构性能的评估标准也不应是单一的,而应以这些因素对导航电文的影响为出发点来考虑如何对导航电文结构的性能进行评估。由于导航电文结构性能的优劣由多个方面来体现,其中有些方面难以进行量化,如可扩充性和灵活性,因此,本文对导航电文的评估采用定性与定量相结合的方法。

由于缺乏正式的、系统的导航电文结构性能进行评估的方法及准则,经综合分析研究,笔者认为,可以从下列几方面来对导航电文结构的性能进行评估。

### 1) 一个数据单元内的总数据量

一个数据单元是指以重复周期最长的数据的发播周期为基准的一个计量单位,在这个计量单位内,所有发播的数据的总和就是一个数据单元的总数据量。由于数据重复周期不同,在一个数据单元内,有些数据会多次重复发播。设数据种类共有  $m$  种,第  $n(n=1,2,\dots,m)$  种数据有  $i_n$  位,在一个数据单元内发播的重复次数为  $j_n$ ,则总数据量  $s$  为:

$$s = \sum_{n=1}^m i_n \cdot j_n \quad (1)$$

总数据量和数据重复周期决定着单位时间内需要发播的数据量,即导航电文发播的速率。在数据重复周期相同的情况下,总数据量少,则导航电文发播所需的数据发送速率低,有利于提高通

信的可靠性。

### 2) 用户接收机首次定位时间(TTFF)

用户接收机首次定位时间是考察导航电文性能的一项重要指标。由于随导航信号的结构与特性以及用户接收机性能的不同,用户接收机从开机至捕获到卫星信号的时间长短不同,这段时间的长短与导航电文的结构无关。这里所说的首次定位时间是指用户接收机开机并捕获到卫星信号以后,从开始接收导航电文至接收到完整的定位计算所需数据的时间。一般来说,定位计算所需的数据包括卫星星历、卫星钟改正数据等即时数据。

用户接收机首次定位时间由即时数据的数据量、数据发播速率和重复周期决定,由于导航电文的结构不同,用户接收机首次定位时间的计算方法也不完全相同。设即时数据的数据量为  $d$ (单位为 bits),数据发播的速率为  $v$ (单位为 bit/s),数据重复周期为  $t$ (单位为 s),则基本计算公式如下:

$$TTFF_{\min} = d/v, TTFF_{\max} = t + d/v \quad (2)$$

TTFF 平均值的计算与导航电文的具体结构有关,一般情况下为  $TTFF_{\min}$  和  $TTFF_{\max}$  的算术平均值。实际的计算与导航电文中即时信息的具体位置安排有关,计算公式会稍做改动。

### 3) 用户接收机接收一组历书数据所需的时间

虽然历书数据对实时性要求不高,但历书数据有助于提高用户接收机捕获卫星的速度和选择具有最好几何因子的卫星,所以用户接收机仍需要在尽可能短的时间内接收到历书数据。用户接收机接收历书数据的时间主要取决于导航电文中历书数据发送的重复周期。对于导航电文结构与内容具有固定时间关系的导航电文来说,接收历书所需的时间计算比较简单,而对于结构与内容没有固定时间关系的导航电文来说,则需要根据实际情况进行计算。

### 4) 电文结构的可扩充性、灵活性

导航电文结构的可扩充性体现在电文结构是否能够对电文内容进行增加,同时也相应地增加数据量,也就是说,电文结构是否能够提供足够的空间来容纳电文增加新内容所需的数据。电文结构的可扩充性一般是在电文中预留一些数据空间来实现。电文结构的灵活性则体现为电文内容是否可以根据需要进行修改电文内容发播的时间和更新周期是否可以改变等。电文结构的可扩充性和灵活性只能从定性的角度进行分析。

### 5) 通信资源利用率

通信资源的利用率一般由电文中空白数据段

所占用的数据位数与电文总数据量(含同步码)之比来表示。设空白位数为  $k$ , 总数据位数为  $m$ , 则通信资源的利用率  $s$  为:

$$s = k/m \quad (3)$$

对于结构固定的导航电文来说, 通信资源利用率可以使用式(3), 而对于结构灵活、数据发送没有规律的导航电文, 通信资源利用率的计算方法要根据实际发送情况对公式作适当修改。

### 3 GPS 与 GLONASS 导航电文结构的性能

#### 3.1 总数据量

GPS 的 NAV 结构电文中, 数据重复周期最长的是历书数据, 需一个超帧才能发送一遍。一个超帧由 25 个帧构成, 每个帧由 5 个子帧构成, 每个子帧由 10 个字构成, 每个字 30 bits, 所以总数据量为  $30 \times 10 \times 5 \times 25 = 37\,500$  bits。NAV 数据的发送速率为 50 bit/s, 数据全部发送一遍需 750 s。可以看出, NAV 的发送周期还是比较长的, 但由于即时数据是每帧发送一遍, 所以即时数据的重复周期是 30 s。

GPS CNAV 结构电文采用一种长度为 300 bits 的基本结构, 可以称作数据块。按照发送不同的数据内容来构成不同类型的数据块。如卫星星历为类型 10 和类型 11 数据块, 时钟改正参数为类型 30~37 数据块。CNAV 电文数据的发送速率为 25 bit/s (或 50 bit/s) (括号中为  $L_5$  CNAV 的参数, 下同), 每 12 s (6 s) 可发送一个数据块。由于数据块和时间之间没有固定联系, 什么时候发送什么类型的数据块也没有明确规定, 只是按照不同数据的时效性规定了各种数据的最大重复周期。如卫星星历和时钟改正等即时数据的重复周期为 48 s (24 s), 历书的更新周期为 20 min (10 min)。经粗略计算, CNAV 的总数据量约为 30 000 bits。

GLONASS 的导航电文<sup>[6]</sup>数据内容较少, 所以数据量小。其电文结构由超帧、帧和数据串构成, 每个超帧由 5 个帧构成, 每个帧由 15 个数据串构成, 每个数据串由 85 bits 的数据和同步码构成, 同步码占用的时间相当于 15 bits, 所以一个数据串可认为是 100 bits, 则总数据量为  $100 \times 15 \times 5 = 7\,500$  bits。数据发送速率为 50 bps, 数据全部发送一遍需 150 s, 即时数据的重复周期为 30 s。

#### 3.2 用户接收机首次定位时间(TTFF)

为了简化计算, 又不影响计算结果的实质, 作

以下假设: ① 由于随硬件设计的不同, 用户接收机捕获卫星信号的时间(即锁定 PRN 的时间不同)也不同, 因此分析中不考虑卫星信号的捕获时间; ② 假设用户接收机是多通道的, 可同时跟踪所需数量的卫星并采集数据; ③ 假定用户接收机没有采用差分工作方式, 不接收差分改正数据; ④ 用户接收机计算位置所需的时间与接收数据的时间相比可忽略。计算结果见表 1。

表 1 用户接收机首次定位时间/s  
Tab. 1 User Receiver Time to First Fix/s

导航电文	TTFF <sub>min</sub>	TTFF <sub>max</sub>	TTFF <sub>平均</sub>
GPS NAV	18	48	33
GPS CNAV	36	60	51
GPS L <sub>5</sub> CNAV	18	30	25.5
GLONASS	10	40	25

#### 3.3 用户接收机接收一组历书所需的时间

用户接收机接收一组历书所需的时间基本上是发播一遍历书数据所花费的时间。GPS NAV 为 750 s (12.5 min)。按 GPS CNAV 规定, 简化历书最大更新周期为 20 min (10 min), GLONASS 为 150 s (2.5 min)。

#### 3.4 电文结构的可扩充性、灵活性

GPS NAV 和 GLONASS 结构比较固定, 为了能够给系统扩展和改进留有余地, 保留了大量未定义的数据位, 以通信资源的浪费换取灵活性。而 GPS CNAV 则不同, 一旦需要扩展系统功能, 增添新的数据种类, 则可以采取定义一种新类型的数据块的方式来解决。CNAV 中一共可以定义 64 种不同类型的数据块, 目前已定义的为 14 种, 还有很大的扩展余地。

#### 3.5 通信资源利用率

经统计<sup>[7]</sup>, GPS NAV 的通信资源利用率为 86.3%, GPS CNAV 的通信资源利用率为 97%。GLONASS 一个超帧为 7 500 bits, 而保留位数为 146 bits<sup>[3]</sup>, 其通信资源利用率为 98%。

#### 3.6 综合评价

为了对上述导航电文的结构进行整体评价, 将前面的分析结果列于表 2。可以看出: ① GPS NAV 与 GPS CNAV 的总数据量相当, GLONASS 的总数据量较小, 有利于缩短数据的重复周期, 如历书数据。② 与用户接收机首次定位时间相关的即时数据重复周期方面, GPS NAV 与 GLONASS 相同, 但 GPS CNAV 稍长一些, 原因是 GPS CNAV 数据的发送速率低, 其优点是通信可靠性高。而 GPS L<sub>5</sub> CNAV 因数据发送速率高而使得即时数据的重复周期最短。③ 由于即

表 2 导航电文性能评价

Tab. 2 Performance Evaluation of GPS and GLONASS Navigation Message

	电 文			
	GPS NAV	GPS CNAV	GPS L5 CNAV	GLONASS
总数据量/bits	37 500	30 000	30 000	7 500
电文发送速率/bps	50	25	50	50
即时数据重复周期/s	30	48	24	30
历书数据重复周期/s	750	1 200	600	150
用户接收机首次定位时间(平均值)/s	33	51	25.5	25
电文结构的可扩充性和灵活性	中等	好	好	差
通信资源利用率/%	86.3	97	97	98

注:用户接收机接收一组历书所需的时间与历书数据重复周期基本相同。

时数据的重复周期短及电文结构等原因, GPS  $L_5$  CNAV 用户可以更快地接收即时数据, 因而用户接收机首次定位时间最短。④ GLONASS 导航电文的通信资源利用率最高, 但是其灵活性和可扩充性最差。GPS CNAV 和 GPS  $L_5$  CNAV 不仅通信资源的利用率很高, 在系统扩展和增强、增加功能方面也具有很好的灵活性。

综上所述, GPS  $L_5$  CNAV 统筹考虑了不同数据的时效性、通信资源利用率、系统功能扩展性等因素, 各项性能指标均达到了很高的水平, 是一种较好的导航电文结构。

随着卫星导航技术的不断发展, 导航电文的内容与结构也会不断地变化, 对其性能评估的方法和准则也必将不断地改进和提高。

### 参 考 文 献

[1] IS-GPS-705, Navstar Global Positioning System Interface Specification Navstar GPS Space Segment/User Segment  $L_5$  Interfaces[S]. EI Segundo, CA, USA;GPS Joint Program Office, 2003

[2] IS-GPS-200, Revision D. Navstar Global Positioning System Interface Specification Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interface[S]. EI Segundo, CA, USA;GPS Joint Program Office, 2004

[3] Van Dierendonck A J, Russell S S, Kopitzke E R, et al. The GPS Navigation Message, Global Positioning System[J]. Navigation, 1980(1): 55-73

[4] Spilker J J J. Global Positioning System: Theory and Application [M]. Washington D C; AIAA, 1996:121-175

[5] 邱致和, 任志久. GPS  $L_5$  的信号设计与电文结构[J]. 导航, 2004, 40(3): 24-30

[6] Global Navigation Satellite System. Glonass Interface Control Document (Ver. 5. 0)[S]. Moscow: Coordination Scientific Information Center, 2002

[7] 陈南, 贾小林, 崔先强. GPS 民用导航电文 CNAV 的特点[J]. 全球定位系统, 2006, 31(1): 1-6

作者简介:陈南, 研究员。主要从事卫星导航系统及应用的研究与开发工作。

E-mail: gpscn@sina.com

## Performance Evaluation of the Structure of GNSS Navigation Message

CHEN Nan<sup>1</sup>

(1 Xi'an Research Institute of Surveying and Mapping, 1 Middle Yanta Road, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** Based on the analysis of the factors which have influence on performance of navigation message and must be considered in the navigation message structure design, some criterion and methods of the performance evaluation of the structure of navigation message are proposed. The criterion and methods include the total number of data bits, the time to first user receiver position fix, the time for user receiver to acquire a set of almanac data, the flexibility and expansibility of navigation message structure and the utilization ratio of the satellite communication channel. As an application example, the navigation message structure performances of GPS and GLONASS are analyzed.

**Key words:** GPS; GLONASS; GNSS; navigation message; performance evaluation