

# GLONASS 卫星导航电文

中科院空间物理所 刘 钟 玉

## Navigation Data Message of GLONASS Satellite

Liu Zhong-yu

**【摘要】** 文中主要介绍 GLONASS 系统卫星发送的导航电文细则, 其中包括: 精密星历、预报星历、系统时间、卫星钟改正及判读与轨道特性有关的数据信息。

**【Abstract】** In this paper we introduced details of navigation data message, transmitted from GLONASS satellite, including ephemeris, almanac, system time, oclock's offset and interpreting the data message relating to orbital features.

GLONASS 和 NAVSTAR GPS 是即将问世正式投入使用的两个高精度定位的全球导航卫星系统, 两系统除主要特征参数设计指标相同(或同量级精度)外, 就连各自投入应用的时间表也制订得接近, 均在1990年前后。预计, 一旦这两系统付诸实用, 它将取代目前的VHF导航卫星系统(美国的TRANSIT和苏联的CICADA)及Loran-C系统, 使全世界导航系统现状得到根本性改观, 因此这两系统的研制、生产及试验进展情况一直受到各国密切关注。

由于两系统体制各自独立, 互不相关, 使用户在应用上增加了很大灵活性, 打破了独家专营局面, 缓解了用户, 特别是一些发展中国家用户对GPS政策一旦施以主权威慑力的后顾之忧<sup>[2]</sup>。

1988年5月苏联代表团曾向国际民航组织(ICAO)申请登记<sup>[3]</sup>, 宣布GLONASS C/A系统的具体细节, 以期能得到世界公认, 并表示愿向国际民航局提供服务, 看来, 他们要和其对手GPS开展竞争, 争夺世界信誉, 开拓广泛的应用市场。

1987年由于美国航天飞机发射遭受灾难性事故, 使NAVSTAR GPS的原定实施计划大大受阻而推迟, 无疑有可能使GLONASS超前于GPS投入使用。只要看一看GLONASS系统准备投入使用的时间表就可了然:

1989—1990年, 系统将有10—12颗卫星组成, 能对民用提供二维连续定位及三维离散定位能力; 到1991—1995年, 系统将有24颗卫星(其中包括3颗备用星)组成, 这时能提供全天候的三维连续定位能力。

据苏联官方宣布, GLONASS C/A系统能为民用用户提供的定位和定时精度分别为100m和 $1\mu\text{s}$ <sup>[6]</sup>。

GLONASS从1982年开始发射卫星试验至今, 研制、试验工作进行一直比较顺利, 目前

还未发现有任何异常迹象促使计划有所变更的可能。国际海事卫星援救组织 (INMARSAT) 因此宣称: 第二个全球导航卫星系统 (指 GLONASS) 出现在世界舞台上将对未来的导航技术起着重要作用, 届时国际海事卫星组织会将两系统的信号结构, 组成一个联合机体, 共置于 INMARSAT 卫星上同时发送<sup>[1]</sup>, 以增大覆盖地区, 提高海事援救能力及可靠性。

综上所述, GLONASS 的应用问题已是眼前的事了。过去我们对它知之甚少, 现在形势逼人。看来, 有必要使更多人加速对该系统的了解。为此, 本文拟在文献 [7] 所述系统一般概念基础上, 再进一步介绍 GLONASS 系统卫星发送数据信息结构的细节问题。

GLONASS 卫星发送的导航信息 (或叫导航电文) 包括两种星历表 (精密星历及预报星历)、卫星系统时间及卫星时钟性能等参数。

GLONASS 的信息也是以二进制码形式发送的: 即先将数据信息转换成编码脉冲, 再将它迭加为伪随机噪声码 (PRN) C/A 和 P 上, 而后再对 L 波段的两个载波采用 BPSK 调制技术, 最后由卫星天线发送出去。

数据发送率为 50 波特, C/A 码长为 511 bit, 比 NAVSTAR GPS 的 (1023 bit) 短一半, 但两者的码是等效的。码序列发送时间仅持续 1ms, 系统的码速率为 511kb/s (民用), 发送用的带宽取 1MHz (民用) 和 10MHz (军用)。

## 导 航 电 文 格 式

GLONASS 的每篇完整电文发送时间共持续 150 秒 (即 2.5 分钟); 一篇电文共分五帧, 每帧持续 30 秒; 每一帧又分成 15 个子帧, 每一子帧持续发送 2 秒, 见图 1 所示。

每一帧中包含有精密星历 (Ephemeris) 和预报星历 (Almanac) 及时间参数。每帧中载的地方时 (莫斯科时间) 每隔半分钟变更一次, 而精密星历和定时参数通常每逢整小时和半小时时刻上变更, 星历在变更后 15 分钟才能生效, 换言之, 当用户要用此星历计算卫星任意时刻的中间位置和速度时, 应在星历变更后一刻钟计算数据才能生效, 否则无效; 预报星历一天仅改变一次 (在当地时间的子夜时刻变更), 这种星历通常对基准日的 24 小时均有效。见图 2。

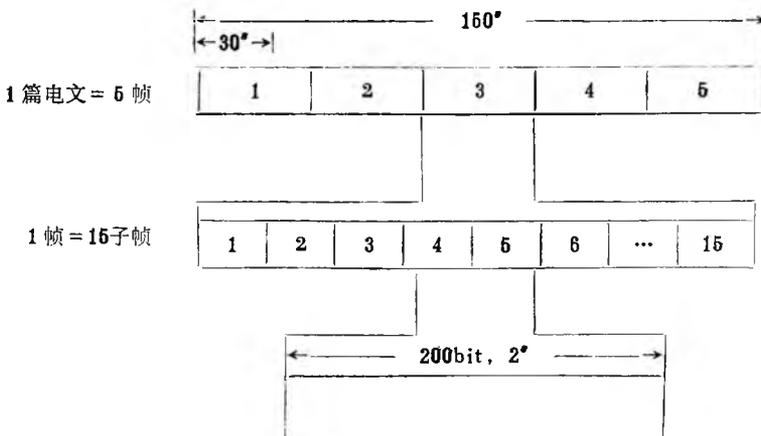


图 1 导航电文结构图

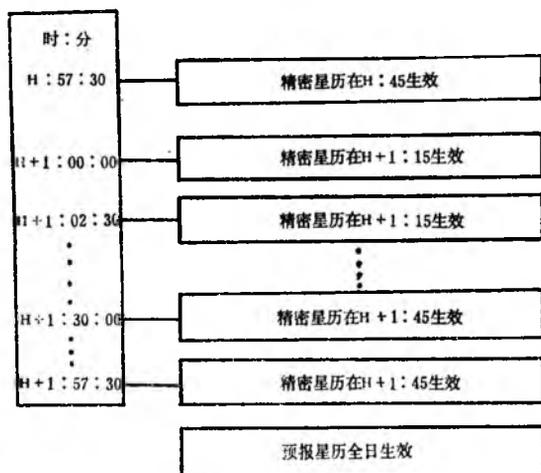


图 2 两星历生效时刻的电文格式

## 帧 结 构

### 主 帧:

前面已经说过,一篇完整电文分成 5 个主帧,共持续发送时间 150 秒,但同一篇电文共重复 12 次,刚好半小时。每一帧的头上 4 个子帧(即 1—4 子帧)载有精密星历及精密时间时钟改正数;第 5 个子帧表示预报星历的基准日数;6—15 的子帧成双地记录现行系统内全部卫星的预报星历数据。因此,每一帧可记录 5 个卫星的预报数据,所以全电文许可记录共 25 颗卫星之多,但实际上,系统内仅有 24 颗星,便多余了 2 个子帧,通常这多余行以重复整据填充。

精密星历记录卫星上发送的精密轨道数据,预报星历则记录全系统中所有卫星轨道参数的概略值。

### 子 帧:

每一子帧长 200 bit,每子帧的头前 32 bit 是序文,采用 16 进制编码,其作用是子帧的编码脉冲提供同步起点。编码脉冲从起点开始顺序编成电文,接收机则从起点顺序译出电文。

GLONASS 系统中采用两种记录格式:即归零制(RZ)和不归零制(NRZ);编码时将数据信息编成 RZ 格式,除序文取用 NRZ,共 32 个 bit 格式外,其余的 168 bit 均以不同数量编成 RZ 格式,如图 3 所示:子帧数 8 bit,数据 144 bit 及奇偶校验 16 bit。译码时则采用 NRZ 格式,由于 NRZ 的记录密度比 RZ 高一倍,所以帧长可缩短一半,即 168 bit 减为 84 bit,其子帧数、数据、奇偶校验相应减半,见图 4。

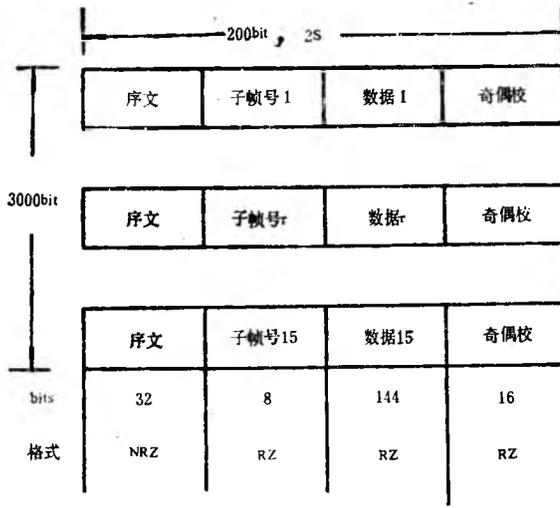


图 3 30秒一帧的编码时信息记录格式

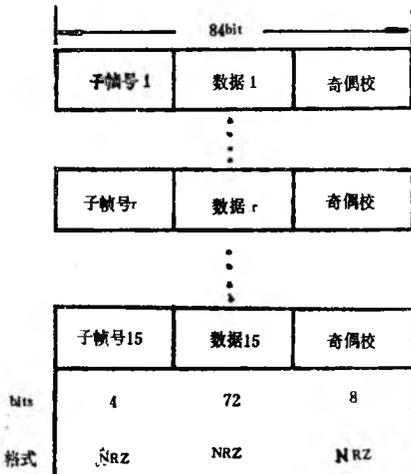


图 4 30秒一帧译码后信息记录格式

制数的 $3(2^1 + 1)$ 。

为了增加抗干扰性、提高校验可靠性，码字间的所谓汉明距离 (Hamming distance) 要求越大越好。GLONASS 规定码的汉明距离不少于 3，故将 2 次幂的各列 (即  $2^0, 2^1, 2^2, 2^3, 2^4, 2^5$  及  $2^6$ ) 去掉；同时为习惯方便，而将 1—76 行首尾倒置而成表 1 内最后一列按十进制排列状态。这是横向奇校验。

2. 将奇偶校验阵 M 的第一行分别与其下列相加所得“1”的总数，必定是汉明距离 4 的倍数。如表 1 中第 1 行与第 2、3…第 76 行相加所得“1”的总数，均为汉明距离的 2 倍，这种方法能校正单个误差；若任一行经检测后不为 4 的倍数，表示有误。

### 奇偶校验：

GLONASS 的电文奇偶校验方法，采用 NRZ 格式 8 bit 的奇偶校验矩阵 M。

电文中被校验数据共 76 bit (子帧 4 bit，数据 72 bit)，可写如列阵  $D[1, 76]$ ，则奇偶校验阵为  $M[76, 8]$ ；每个数据行乘以奇偶校验阵 M，便得奇偶校验列向量  $[1, 8]$ 。

奇偶校验阵 M 的定义说明如下：

1. 去掉第 1 行后，1—76 列和 2—8 行构成线性组码，表 1 右第二列是监督码元列；如将该列的每个码元分别与其右边各列对应行码元的“1”相加，其数总为奇；如第二行共 5 个“1”，相当于十进制数为  $83(2^6 + 2^4 + 2^1 + 1)$ ；而最后一行共 3 个“1”，相当于十进

接收时, 前述的 8 个奇偶校验可与接收的奇偶校验作比较, 若两个 8 位数全相同, 则表示没有误差存在; 反之, 接收者则应根据所作规定采取改正措施。

表1 卫星奇偶校验矩阵M

列	行								十进制
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1	1	1	0	1	0	0	1	1	83
2	0	1	0	1	0	0	1	0	82
3	0	1	0	1	0	0	0	1	81
⋮					⋮				⋮
67	0	0	0	0	1	1	1	0	14
68	0	0	0	0	1	1	0	1	13
69	1	0	0	0	1	1	0	0	12
70	0	0	0	0	1	0	1	1	11
71	1	0	0	0	1	0	1	0	10
72	1	0	0	0	1	0	0	1	9
73	0	0	0	0	0	1	1	1	7
74	1	0	0	0	0	1	1	0	6
75	1	0	0	0	0	1	0	1	5
76	1	0	0	0	0	0	1	1	3

## 电 文 判 读

电文内容实际上与轨道参数特性有关, 判读时涉及接收数据、已知轨道参数和预定参数间的关系问题。

这里所判读的数据信息, 不是以 GLONASS 系统设计资料为依据, 而是据英国 Leeds 大学历年 (自 1986—1988 年) 观测资料整理而得, 他们在分析过程中, 借用了苏联 VHF 导航卫星 (CICADA) 系统分析的成熟经验, 虽有一定困难, 到目前为止, 仍有少量标志符、项目内容还不十分确切, 但毕竟已基本译出。

## 精 密 星 历

电文中的精密星历载在每帧的前五个子帧 (或叫行) 中, 格式见表 2, 数据位从 1 至 72 bit 次序编排。星历中的位置、速度和加速度坐标, 均以笛卡尔惯性地心坐标系为准。前已说过, 精密星历能在有效时间前后 15 分钟区间内提供计算卫星任意时刻的坐标。所以用户每隔半小时便能获得一个更新的星历, 有时, 实际上仅隔 1 小时变更一次星历, 且半小时有效, 当然在这种情况下, 在时间区域 ( $\pm 30$  分钟) 内计算位置和速度的精度将会降低。

## 预 报 星 历

每帧中10个数据子帧(6—15)是专供记录预报星历用的,由GLONASS发送的预报数据说明列在表3中。每个卫星仅占用预报星历中的两行,为醒目起见,将头两行分别叫做e(偶数)行和o(奇数)行,见图6。

1	标 志	现 行 时	X	标 志	X
	1—4	5—16	17—41	42—45	46—72
2	标 志	星 历 时	Y	标 志	Y
	1—4	5—16	17—41	42—45	46—72
3	飞 行 器 频 偏		Z	标 志	Z
	2—12		17—41	42—45	46—72
4	飞 行 器 时 间 差		AODE	备 用	
	1—22		23—32	33—72	
5	天 数	系 统 时 差		备 用	
	1—11	12—39		40—72	

图 5 GLONASS 1—5行的精密星历数据

E行	标 志	行	a <sub>0</sub> (秒)	东 经	倾 角	偏 心 率
	1—3	4—8	9—18	19—41	42—58	59—72
O行	近地点幅角	过赤道时间	轨道周期	数据	通道数	零
	1—16	17—37	38—59	60—66	67—72	72

图 6 GLONASS 6—15行的预报星历数据

有关预报星历的天数列在第5行(见表2),占1—11 bit,这是二进制编码后的天数,从1988年1月1日起算(每4年归零一次)。

两种星历参数和 bit 位置分配格式列于表4—6内。

## GLONASS 使用的时间系统

导航卫星定位必须与时间系统有关,而时间主要以地球自转为基准。由于地球极移和其自转不均匀性影响时间测量的精确度,因此国际时间局采用原子时,原子时是用作确定单位时间长度较理想的一种标准频率。它取铯原子 133 能级跃迁辐射的电磁振荡 91 亿次数所经历的时间作为 1 秒之长。但原子时天(=86400秒)与平太阳日之间仍有 0.0015 秒之差值,为使两者达到同步,就将原子时的秒长稍作修正,因此便产生世界协调时(UTC)之说。

在导航卫星系统中处理这一差值的方法有两种:一是将逐日累积差数作为改正值,使用时加上此值即可。GPS 系统就是这样处理的<sup>[4]</sup>。据1988年资料,从1978年初至1988年初就达约5秒;另一种是采用跳秒法;GLONASS系统就是采用此法,消除原子时天与平太阳日之间之差值。

## 时间坐标参考系统

UTC 之计算方法:多年来一直是依据各国自己原子频率标准,按巴黎国际时间局 BIH (Bureau International d'Heure) 计算出来的,因此,不同国家地区算出 UTC 不完全相同而存在差异,如 UTC (USNO) 表示 U.S 海军天文台取用原子主钟算出的 UTC,而 UTC (SU) 表示苏联用氢原子钟在莫斯科算出的,BIH 定期(如一个月)公布一次各国 UTC 与 UTC (USNO) 间之差值表。例 UTC (USNO) - UTC (SU) 之差值最大时约为 1 $\mu$ s。产生这一差值的原因,不是由于各国取用原子频率标准误差引起,而是由于将时间从莫斯科传送到巴黎采用 Loran-C 及 TV 线路手段所致。UTC (USNO) 则直接取用卫星线路传输,因此这一差值不易消除。

## GLONASS 的系统时间

这一卫星导航系统中,主控制站取 UTC 为时间基准,用它作为 GLONASS 的系统时间以供各飞行器之用;它是已知的,并且作为正常数据信息的一部分发送出去。各飞行器的时间偏差就以系统时间表示。因此发送的卫星钟偏差指的是飞行器时间相对系统时间的偏差  $a_0$  及系统时间相对莫斯科时间的偏差  $A_0$ , 以  $a_0$  列在精密星历的第4行的1—22 bit 内;  $A_0$  在第5行的12—39 bit 内。

电文中的每个帧和子帧均含有精密时间,以小时、半小时及整半分钟为单位,并且以莫斯科标准时间(MST)为基准;  $MST = GMT + 3$ , 其中 GMT 是指格林威治平时,数字3表示莫斯科所在时区号。有了这一基准,精密星历数据方能生效,才能保证每隔一小时和半小时的时刻上精确变更星历。

从我们前面介绍的情况(包括文献[7]在内)来看, GLONASS 要登上今后世界导航

舞台，欲与 GPS 平分秋色这一事实，可以肯定无疑的了。非主权国家的用户，当前迫切的任务除了解 GPS 外，更应了解 GLONASS 系统，尤其是两系统结构的同异之处，值得重视和分析。根据其兼容性特点，已有人提出<sup>[1]</sup>，制作能接收两系统信号的混合接收机的设想和建议，这是一个切实而又有商用经济价值的意见，它得到积极的响应，最明显的是英国一些学者已在具体行动起来。

本文已是第二次讨论 GLONASS 系统了，内容涉及其轨道、信号结构、导航电文格式及系统时间，基本上已能反映系统的全貌，但是需要全面、具体细致洞悉它，估计还有一段尚待努力的路程。目前对其中有些结构特点、项目内容、标志符等，尚不理解或不能确切了解，加之限于资料信息不足，一时还难于澄清存在的疑点。

表 2

行	bit	参数	注 释
1	1	标志	正常为 0
	2	标志	正常为 1
	3	标志	正常为 0
	4	标志	仅当半小时的第一个半分钟时为 1
	5—9	时	现行 MST (单位: 小时)
	10—16	$\frac{1}{2}$ 分	现行 MST (单位: 半分钟)
	17—41	$\dot{X}$	X 速度, bit 17 为符号位, 二进制小数在 bit 20 之后, 单位: km/s
	42—45	标志	可能是 X 的二阶时间导数, 单位: km/s <sup>2</sup>
	46—72	X	X 坐标, bit 46 为符号位, 二进制小数点在 bit 61 之后, 单位: km
2	1	标志	卫星状态 (0 = 正常; 1 = 不正常)
	2	标志	正常为 0
	3	标志	正常为 0
	4	标志	仅当现行半小时的第一个半小时为 1
	5—9	时	精密星历用的基准时, MTS 以小时为单位
	10—11	1/4时	精密星历用的基准时, MST 以 15 分钟为单位
	12—16		无用

续表 2

行	bit	参数	注 释
	17—41	$\dot{Y}$	Y 速度, bit 17—符号位, 二进制小数点在 bit 20 之后, 单位: km/s
	42—45	标志	可能是 Y 的二阶时间导数, 单位: km/s <sup>2</sup>
	46—72		Y 坐标, bit 46—符号位, 小数点在 bit 61 之后, 单位: km
3	1	标志	仅在子帧 5 中为 0
	2—12	$a_1$	频偏(S/S), bit 2—符号位, 量度因子 $2^{-40}$
	13—16	标志	永为 0
	17—41	$\dot{Z}$	Z 速度, bit 17—符号位, 小数点在 bit 20 之后, km/s
	42—45	标志	可能是 Z 的二阶时间导数, km/s <sup>2</sup>
	46—72	Z	Z 坐标, bit 46—符号位, 小数点在 bit 61 之后, km
4	1—22	$a_0$	卫星对系统的时间偏差(S), bit 1—有效性, bit 2—符号位, 量度因子 $2^{-30}$
	23—32	AODE	从精密星历生效后起算的整天数
	33—72	未用	永为 0
5	1—11	天	预报星历有效度天数(自1984年1月1日起算, 并且每4年归零一次)
	12—39	时间	GLONASS 系统的时间对 UTC(SU)的偏差, 单位: 秒, bit 12—符号位, 量度因子, $2^{-27}$
	40—72	未用	永为 0

表 3

行	bit	参数	注 释
e	1	标志	1 表示用卫星
	2—3	未用	永为 0
	4—8	数号	预报星历序号, 从第 1 帧的 1 号开始直至 25

续 表 3

行	bit	参数	注 释
	9—18	$a_0$	供飞行器用的粗略时间差(单位:秒), bit 9—有效度, bit 10—符号位, 量度因子: $2^{-18}$
	19—41	经度( $\lambda$ )	升交点的东经, bit 19—为其符号位
	42—58	倾角( $i$ )	轨道倾角
	59—72	偏率( $e$ )	轨道偏心率, 量度因子: $2^{-20}$
O	1—16	$\Omega$	近地点幅角, bit 1—符号位
	17—37	时间( $t$ )	过赤道时间(单位:秒), 小数点在 bit 32 之后
	38—59	周期( $T$ )	赤道—赤道的周期, 单位:秒, bit 38—符号位, 小数点在 bit 50 之后, $-543200$ 秒(12时)的偏差
	60—66	数据	轨道摄动改正, bit 60—符号位, 量度因子与单位未知
	67—71	通道	这一卫星使用的射频通道数
	72	未用	0

## 附 录

## 精密星历

日数: 1077, 自1984年1月1日起算

天: 346, 1986年

日期: 1986年12月12日

现行时: 13:22.5 MST

星历时: 13:15.0 MST

$\dot{X}$ : 0.784014 km/s

$X$ : 23110.7881 km

$\dot{Y}$ : 0.204421 km/s

$Y$ : 9078.3545 km

$\dot{Z}$ :  $-3.473114$  km/s

$Z$ : 5767.4761 km

飞行器时间偏差,  $a_0$ :  $-106.377$   $\mu$ s

飞行器频偏,  $a_1$ : 8 PS/S

系统时间偏差,  $A_0$ :  $-10.72$   $\mu$ s

数据年龄(AODE): 0 天

## 预报星历

卫星: GLONASS 16

通道: 7

过赤道时间: 9:0.39 MST

过赤道经度(W): 328.16°

i 64.80°

e 0.001922

u (幅角) 16.59°

T 40543.99s

 $\Delta t_{a_0}$ : 0.391 ms

卫星: GLONASS 22

通道: 11

过赤道时间: 10:24.49 MST

过赤道经度(W): 350.00°

i 64.80°

e 0.000079

u -62.98°

T 40543.91s

 $\Delta t_{a_0}$ : 0.02 ms

卫星: GLONASS 23

通道: 20

过赤道时间: 0:33.14 MST

过赤道经度(W): 201.75°

i 64.80°

e 0.000627

u 155.87°

T 40543.9s

 $\Delta t_{a_0}$ : 0.168 ms

卫星: GLONASS 24

通道: 22

过赤道时间: 7:35.86 MST

过赤道经度(W): 307.74°

i 64.79°

e 0.000924

u -9.05°

T 40544.04 s

 $\Delta t_{a_0}$ : 0.391 ms

卫星: GLONASS 20

通道: 19

(下转第64页)

(上接第83页)

过赤道时间: 8:4.06 MST

过赤道经度(W): 74.39°

i 65.03°

e 0.000842

u -153.46°

T 40544.18s

$\Delta t_{a_0}$ : 0.109 ms

#### 参 考 文 献

1. COSPAR  
No 113, Dec. 1988
2. GPS 的开发利用 “导航”, No 3, 1987.
3. Soviets give ICAO technical details on GLONASS system AW & ST,  
May, 30, 1988
4. 苗履丰 GPS系统及其应用 测绘科技动态, No. 6, 1988
5. ГЛОНАСС 广告性资料, 1989
6. S.A.Dale  
Understanding signals from GLONASS navigation sat.  
—international j.of sat. communication Vol. 7, 1989
7. 刘钟玉, 《苏联全球导航卫星系统发展现状》“导航”, No. 2, 1989