

中国科学院测量与地球物理研究所编辑

测量与地球物理集刊

ACTA GEODAETICA ET GEOPHYSICA

4

科学出版社

测量与地球物理集刊 第4号

(1982年)

目 录

射电干涉监测网·····	周江文 (1)
TRANSIT 卫星信息提取探讨·····	杨家骏 (5)
利用全球定位系统按单点法定位·····	宋文尧 (11)
GPS 信息的相关接收·····	王广运 (27)
论自由网平差·····	陶本藻 (37)
一等三角锁与二等网联合平差初步方案试算报告(一)·····	郝钦文 张牙 (47)
一等三角锁与二等网联合平差初步方案试算报告(二)——几个理论问题·····	郝钦文 (53)
水准测量往返中数系统方差的估值·····	庄昆元 (65)
利用 TQ-16 机电算观测权的估值·····	蔡喜楣 (73)
由武昌时辰站光电中星仪 (WP) 观测所得 464 颗星的赤经改正·····	夏炯煜 顾秀莲 (79)
武昌时辰站 Danjon 等高仪焦平面位移与温度的关系·····	李劲峰 (89)
短波传递时延及同步的有利时间 (I)·····	张金通 (93)
航空重力测量的厄特弗斯问题·····	张善言 (97)
计算重力扰动位的简化方法·····	骆鸣津 (105)
略论海上重力测线的布设·····	张赤军 毛慧琴 周景明 (119)
动力重力测量的发展及其前景·····	李锡其 (127)
鄂西山区天文水准和天文重力水准的测量工作·····	许厚泽 李瑞浩 骆鸣津 孙永庠 蒋福珍 傅兆珠 张赤军 (139)
ZYZY 海洋重力仪的特性·····	张善言 (161)
精密测量仪器电子恒温系统设计·····	潘显章 (173)
平太阳时和恒星时数字石英钟·····	陶国祥 (183)
圆锥投影的变换·····	孟嘉春 (189)

ACTA GEODAETICA ET GEOPHYSICA, No. 4

(1982)

Contents

The Radio Interferometric Monitoring Net	Zhou Jiangwen (4)
An Approach of TRANSIT Satellite Message Extraction	Yang Jiajun (10)
Point Positioning Concept Using Global Positioning System (NAVSTAR)	Song Wen Yao (26)
Correlation Reception of the GPS Information	Wang Guangyun (36)
On Adjustment of Free Nets	Tao Benzao (46)
Trial Computation Report of the Preliminary Scheme for the combined Adjustment of First-order Triangulation Chains and Second-order Networks (1)	Xi Qinwen Zhang Ya (52)
Trial Computation Report of the Preliminary Scheme for the combined Adjustment of First-order Triangulation Chains and Second-order Networks (2) ——Several Theoretical Problems	Xi Qinwen (64)
Estimation of Systematic Variance of the Average of Fore and Back Levelling	Zhuang Kunyuan (71)
Estimating Weights of Observations Using TQ-16 Electronic Computer	Cai Ximei (78)
Corrections of Right Ascensions of 464 Stars Obtained by the Photoelectric Transit Instrument at Wuchang Time Observatory WP	Xia Jiongyu Gu Xiulian (88)
On the Relation between Temperature and Displacements of Focal Plane in Danjon Astrolabe at Wuchang Time Observatory	Li Jingfeng (92)
The Time Delay of Short Wave Transmission and the Favourable Time of Synchron- ization (1)	Zhang Jintong (94)
On the Eötvös Problem for Aerial Gravity Measurement	Zhang Shanyan (104)
Simplified Method for Computing Disturbing Potential	Luo Mingjin (118)
On the Layout of the Marine Gravimetric Lines	Zhang Chijun Mao Huiqin Zhou Jingming (125)
Developments and Prospects of Dynamic Gravimetry	Li Xiqi (137)
Test Report of the Astronomical and Astro-gravimetric Levelling in the Western Mountain Area of Hubei	Xu Houze Li Ruihao Luo Mingjin Sun Yongxiang Jiang Fuzhen Fu Zhaozhu Zhang Chijun (160)
The Characteristics of ZYZY Sea Gravimeter	Zhang Shanyan (171)
Design of Electronic Thermostatic Control Systems for Precise Measuring Instru- ments	Pan Xianzhang (181)
The Digital Crystal Clock for Solar Time and Sidereal Time	Tao Guoxiang (188)
Transformation of Conical Projections	Meng Jiachun (205)

射电干涉监测网*

周江文

提 要

本文着重研究射电干涉监测网的建立以及基本观测方程的某些问题。

监测网使用流动射电干涉设备,以若干稳定点的坐标定义一监测坐标系,将GPS卫星的播送轨道作系统转换使之相应,同时求得非稳定点在同一系统中的坐标,以达到监测的目的。

独立站射电干涉测量(VLBI)是一种高功效的方法,它以特高的精度(10^{-9} 秒以上)测量天体射电到达两站的时间差(延迟),从而推求两站(基线)坐标差,射电源方向,时间及同步参数,以及其他进入观测方程的参数。和传统方法相比,基线长度不受限制,观测周期短,基本不涉及重力场和轨道计算;用河外射电源,可以得到实际的惯性坐标系,这些条件使它必将成为天体测量和地球动力测量特别有力的手段。

河外射电源的流量密度小,因此对接收系统要求甚高。近年发展利用GPS卫星的射电,由于流量密度强万倍以上,接收系统已趋于微型化,这种系统用于地球动力测量将是理想的工具。

本文着重研讨地球动力监测网的建立以及基本观测方程的某些问题。

一、基本观测方程

本节讨论延迟 τ 与基线 B (列向量,长度用小写 b ,下同)及钟参数的关系。假设观测河外源,源向 S (单位向量)已知,其他校正项均已改正。图1为 B, S 平面。射电到达站1与站2的时差即延迟 τ 。

在天球坐标系中 S 不变,基线 B 则因自转向量 Ω 而有相对速度

$$V = \Omega \times B \quad (1)$$

(图中 Ω, V 不必在 B, S 平面内),在 τ 内 B 相对 S 移动了 τV ,于是可得

$$c\tau = -B \cdot S - (V \cdot S)\tau \quad (2)$$

其中 c 是光速。此式视 V 为常量,实际 B, V 随时间而变,计此,式(2)将有改正项 $(\Omega \times V \cdot S)\tau^2$,其值甚微可以不计。

设天球坐标系以地球质心为原点,自转轴为 z' 轴, x' 轴指向春分点 Υ 。以赤经 α

* 1981年元月收稿。

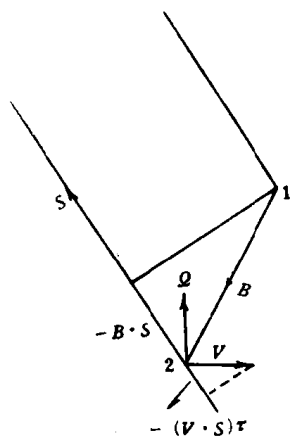


图 1

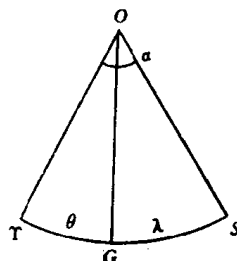


图 2

赤纬 δ 表示,

$$S = \begin{bmatrix} \cos \delta \cos \alpha \\ \cos \delta \sin \alpha \\ \sin \delta \end{bmatrix} \quad (3)$$

观测方程采用地球坐标系, 只是将 x 轴指向格林威治子午圈, 此时赤经 α 换为经度 λ , $\alpha - \theta = \lambda$, θ 是格林威治恒星时。在此系统中

$$B = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}, S = \begin{bmatrix} \cos \delta \cos \lambda \\ \cos \delta \sin \lambda \\ \sin \delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} \quad (4)$$

由是

$$B \cdot S = ux + vy + wz \quad (5)$$

$$V \cdot S = Q \times B \cdot S = wvx - wuy \quad (6)$$

延迟的观测值中还有来自仪器的部分 $i + gt$ 。其中 i 代表时元两站同步参数, 包括钟及线路延迟之差, g 代表 i 的变率。

总起来得到基本观测方程

$$\begin{aligned} c\tau + \omega\tau(vx - uy) + e \\ = c\tau + \omega \cos \delta \tau (\sin \lambda x - \cos \lambda y) + e \\ = -ux - vy - wz + ci + ctg \\ = -\cos \delta \cos \lambda x - \cos \delta \sin \lambda y - \sin \delta z + ci + ctg \end{aligned} \quad (7)$$

ω 是自转速率, $\dot{\lambda} = -\omega$, τ 是时间的函数。 e 是 $c\tau$ 的误差, 主要来自对流层中水汽影响的测定及频率稳定性。(7) 式中含 ω 的项是自转项, 可作校正项用足够的近似值计算之。

量测量是 τ , 不计其他未知量, dx 的最小值为 $cd\tau$, 若取 $cd\tau = \lambda$ (一波长), 则得 $dx = \lambda$, 通常称之为 x 的分辨率, y 和 z 亦同。同样可得

$$di = d\tau = \frac{\lambda}{c}, dS = \frac{c}{b} d\tau = \frac{\lambda}{b}。$$

取 $\lambda = 20$ 厘米 ($f = 1.5$ 兆赫), $b = 2000$ 公里, 则有 $dB = 20$ 厘米, $di = \frac{2}{3} \times 10^{-9}$ 秒, $dS = 0.02$ 时秒, 这些是基本精度数字。大量观测经处理后, 精度可提高一量级。

文献中经常提到延迟率 $\dot{\tau}$ (或条纹率 $f\dot{\tau}$), $\dot{\tau}$ 从量测精度或方程精度看, 都远不及 τ 。因此增加 $\dot{\tau}$ 并不是很可取的。

二、卫星射电干涉监测网

利用 GPS 卫星的强射电, 有利于降低接收要求, 增大装备的流动性, 已如前述。在数据处理上有两个问题必须计及:

(1) 卫星高度约 20000 公里, 射电波前为球面, 须经改正方适用平面波前公式。由图 3, 延迟距离须作球面改正

$$\Delta = G2' - G2 = h + b' - \sqrt{h^2 + b^2 + 2hb'} \quad (8)$$

为计算 Δ , 对 h 的要求不高。设 $A = 90^\circ$, 则 $b' = 0$,

$$\Delta \sim -\frac{b^2}{2h} \quad (9)$$

$$d\Delta \sim \frac{b^2}{2h^2} dh \quad (10)$$

设 $b = \frac{h}{50}$ (400 公里), $dh = 50$ 米只相应 $d\Delta = 1$ 厘米。

(2) 假设监测网在数百公里范围以内, 其中有部分点是稳定的 (如图 4 的 1, 2, 3)。

射电干涉只能求得点的相对坐标。

地潮 (及海潮负荷, 下同) 影响全网, 在上述范围内位移向量近似相等, 在处理时可仅作地潮差 (相对一固定点) 改正, 计算要求不高。

对稳定点作加强观测, 处理后求得其坐标, 以后除改正地潮差外, 作为固定值, 以此定义监测坐标系。

卫星轨道由统一的跟踪网测定, 播发的星历更有较大的误差。卫星坐标系与监测坐标系之间, 可设一平均的坐标旋转, 以旋转矩阵 $R(p, q, r)$ 表示, 于是 S 应换为 RS 。 τ 的量测与监测坐标系之间还可设一平均尺度因子 μ , 即 τ 应换为 $(1 + \mu)\tau$ 。

一次处理时段可设在一小时以内。 p, q, r, μ 等系统参数由观测方程与其他参数同时求出。从卫星网到地面监测网尺度缩小几十倍, 因此系统参数的精度要求不高。

由于监测网范围不大, 介质测定影响也不大。

由上可见, 可以期望求得非稳定点的良好监测坐标。

图 4, 设固定点坐标 ξ_1, ξ_2, ξ_3 及 η, ζ , 非稳定点坐标 $\xi_4 + d\xi_4, \xi_5 + d\xi_5 \dots$; 同步

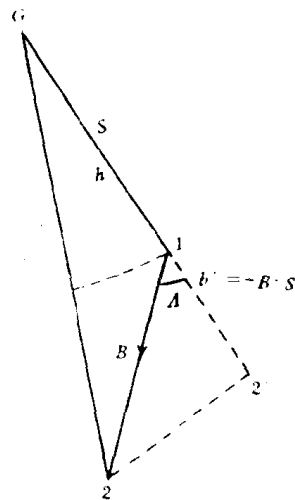


图 3

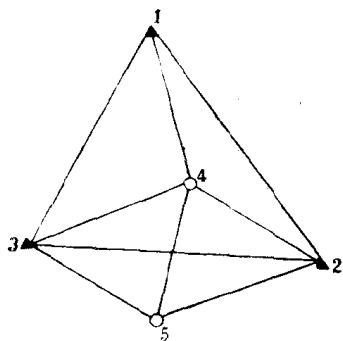


图 4

参数 $i_{21}, i_{31}, i_{41}, i_{51}$ 及 g , 其余的 i, g 以它们表达之。 ξ_4, ξ_5 等是近似坐标, 近似坐标差以 x 等表之,

如

$$\xi_5 + d\xi_5 - \xi_4 - d\xi_4 = x_{45} + d\xi_5 - d\xi_4$$

又

$$RS = \begin{bmatrix} 1 & r & -q \\ -r & 1 & p \\ q & -p & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u + rv - qw \\ -ru + v + pw \\ qu - pv + w \end{bmatrix} \quad (11)$$

此时, 例如 45 的观测方程写成

$$\begin{aligned} c\tau_{45} + w\tau_{45}(v_4x_{45} - u_4y_{45}) + u_4x_{45} + v_4y_{45} + w_4z_{45} + c_{45} \\ = -c\mu\tau_{45} - u_4(d\xi_5 - d\xi_4) - v_4(d\eta_5 - d\eta_4) - w_4(d\xi_5 - d\xi_4) \\ + g_pp + g_qq + g_rr + c(i_{51} - i_{41}) + ct(g_{51} - g_{41}) \end{aligned} \quad (12)$$

其中

$$\begin{aligned} g_p &= -w_4y_{45} + v_4z_{45} \\ g_q &= w_4x_{45} - u_4z_{45} \\ g_r &= -v_4x_{45} + u_4y_{45} \end{aligned} \quad (13)$$

如图 4 的网中共有系统参数 4, 同步参数 8, 非稳定点坐标改正 6, 共有待定参数 18。

THE RADIO INTERFEROMETRIC MONITORING NET

Zhou Jiangwen

(Institute of Geodesy and Geophysics, Academia Sinica)

Abstract

In this paper emphasis is put on the installation of a monitoring net and on some problems about the fundamental observation equations.

Only mobile interferometric systems are needed in the net and a monitoring coordinate system is defined by fixing the well determined coordinates of some stable stations. In this fixed system the broadcast position of the GPS satellites will be transformed and the coordinates of unstable stations determined, thus being comparable among different times.

TRANSIT 卫星信息提取探讨*

杨 家 骏

摘 要

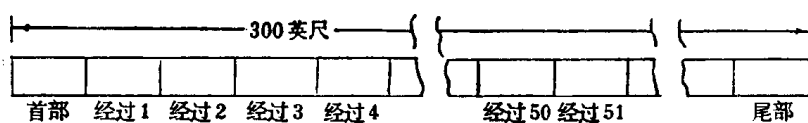
为了改进多普勒观测方法的数学模型,采用更合理的观测方程参数,必先解决从磁带上提取原始数据问题。

本文专门讨论了 MX 1502 接收机磁带记录格式和数据转换方法,如配以适当程序,就可将记录过的磁带装在国产计算机上打印出所需原始数据。

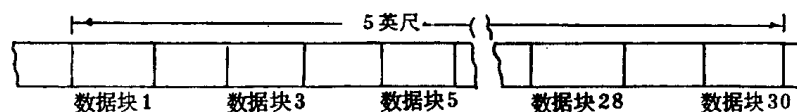
为了改进多普勒观测方法的数学模型,采用更合理的观测方程参数,必先解决从磁带上提取原始数据问题。为此研究 Transit 卫星信息结构,探讨二进制比特 (bit) 转换特点就显得很有必要。

地面接收机所接收到的 Transit 卫星信息主要包括下面三部分:

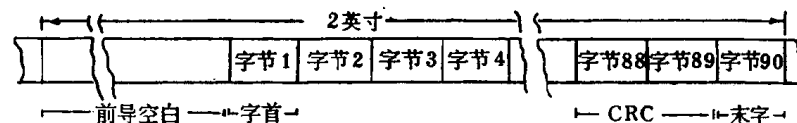
- (1) 轨道数据: 定参数和变参数;
- (2) 符合 UTC 偶数分钟的时标;
- (3) 400 兆赫和 150 兆赫多普勒周数,它相应于各该频率的多普勒频移。



(a) 磁带上记录的卫星经过排列格式



(b) 一次卫星经过的数据块 (最多时) 排列格式



(c) 每一数据块的排列格式

图1 磁带记录排列格式

* 1980年8月收稿。

所有卫星信息包括接收机微处理机初步计算结果均记录在特制的盒式磁带上, 目前采用的接收机常用 MFE DC-30HL 磁带, 全长有 250 英尺和 300 英尺两种, 前者约可记录 50—60 次卫星经过, 后者约可记录 70—80 次卫星经过。现以 MX1502 接收机在 300 英尺长的磁带上所记录的卫星信息为例, 其排列格式如图 1(a)。

图 1(b) 表示一次卫星经过(约 18 分钟)全部记下所有 2 分钟信息, 即数据块最多时的排列格式, 通常都小于此数。图 1(c) 表示每一数据块的排列格式, 包括前面一段前导空白在内, 共占 2 英寸长, 全部通过记录头需时 200 毫秒。每个数据块毫无例外地均包含 90 个 8 比特字节 (byte), 见表 1。

表 1

字 节	意 义
1	首字, 10101010
2—87	数据记录, 占 86 字节
88—89	循环冗余码检验特征位 (CRC), 占 2 字节
90	末字, 10101010

其中只有第 2 到第 87 字节代表有效的数据记录。为表达方便, 简短和易于用直观方法进行数制转换, 也常用三位八进制数表示每个字节(此时可在每个字节的 8 比特前加上一个“0”比特, 再通过二进变八进的转换得到)。

浮点格式

浮点数均占 4 个字节(共 32 比特), 数符占 1 位, 尾数占 23 位, 阶符占 1 位, 阶码占 7 位, 共 32 位, 见图 2。数符为“0”代表正, 为“1”代表负, 而阶符则相反, 取“0”代表负, 取“1”

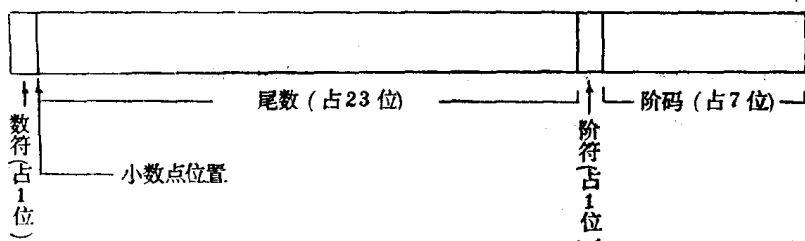


图 2 浮点记录格式

代表正。分数都是规格化形式, 均以 2 的补码形式表示。先按阶码阶符定出尾数小数点位置, 随后转换成基数为 10 的数, 即得所代表的原始数据。

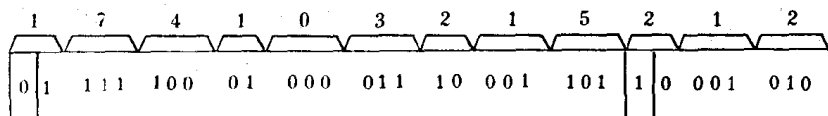


图 3

例如以八进制数表示的某高程读数为 174 103 215 212, 按 32 比特的二进制数表示见图 3。顾及阶码阶符为 $+(10)_{10}$, 最后得十进数为:

+994.11

浮点格式常用来表示经纬度、高程、仰角、中误差及 GMT 等。

定点格式

本格式由 5 个字节 (40 比特) 组成, 每 4 比特结成一组, 除第一组表示“特征位”外, 其余九组均表示一个 BCD XS3 (余三代码) 字符, 代表九个十进制数, 小数点位置按轨道参数译码规则规定 (见图 6, 表 3)。

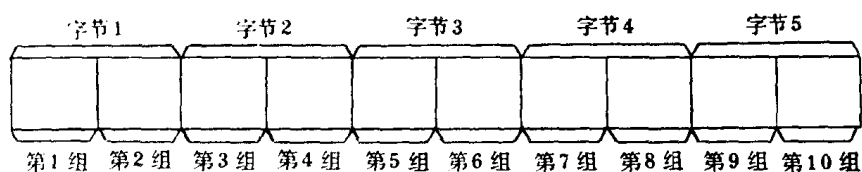


图 4

定点格式排列如图 4, 图 4 中第 1 组“特征位”的意义如下:

- 0000—0——没有预置参数;
- 0001—1——只有一个参数读数;
- 0011—3——取两个不同读数的第一个;
- 1111—1——对参数已进行过多数判决。

余三代码、二—十进数和十进数关系见表 2。

表 2

BCD XS3	BCD 8-4-2-1	十进数	BCD XS3	BCD 8-4-2-1	十进数
0011	0000	0	1000	0101	5
0100	0001	1	1001	0110	6
0101	0010	2	1010	0111	7
0110	0011	3	1011	1000	8
0111	0100	4	1100	1001	9

第 2 组到第 10 组每组 4 比特代表一个余三代码数字, 经数制转换后, 可得一个九位的十进制数。

例如以八进数表示的某 t_p 值为 363 106 123 250 243 按 40 比特的二进数表示如图 5,

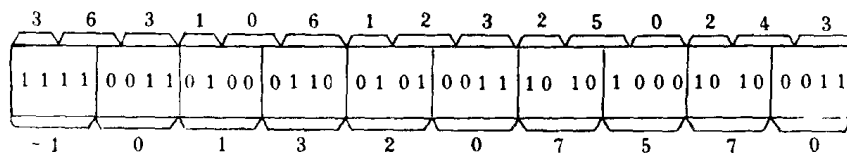


图 5

第 1 组“-1”表示本数已经多数判决 (大多数情形都是“-1”)。然后从第 2 组到第 10 组按余三代码格式转换成十进数为:

0132.07570⁰

定点格式常用来表示轨道参数(定参数和变参数)值。

每次卫星经过能记录到的数据块数目随观测条件好坏、测站搬迁次数有所不同,在观测条件良好时,多普勒数据块数量最多可占 24 块,包括全部记录在内的总数最多可达 30 块。

全部记录中,与原始数据有关的是第 4 数据块(变参数)、第 5 数据块(定参数)和第 6 到第 29 数据块(多普勒周数)。所有数据块内各字节都按八进地址入位。

轨道参数(第 4 和第 5 数据块)译码按表 3 和图 6 所示规律进行。

表 3

轨道要素	定 参 数	译 码
t_p	4 411 506 90	+1411.5069分
n	8 372 658 30	+ 3.3726583度/分 [†]
ω_p	8 021 728 60	+ 21.7286度
$\dot{\omega}$	8 002 003 30	+ 0.0020033度/分
e	8 000 525 90	+ 0.005259
A_p	8 074 538 60	+7453.86公里
Q_p	8 017 931 40	+ 17.9314度
$\dot{Q}$	9 000 054 30	- 0.0000543度/分
$\cos i$	8 001 312 30	+ 0.013123
λ_G	8 116 777 70	+ 116.7777度
卫星识别号	8 003 014 00	30140
信号注入时间	8 705 002 40	第 24 天,第 1410 分
$\sin i$	8 099 991 40	+ 0.999914
ΔF	8 015 000 00	80.150

[†] 本栏译码恒为 3. ...。

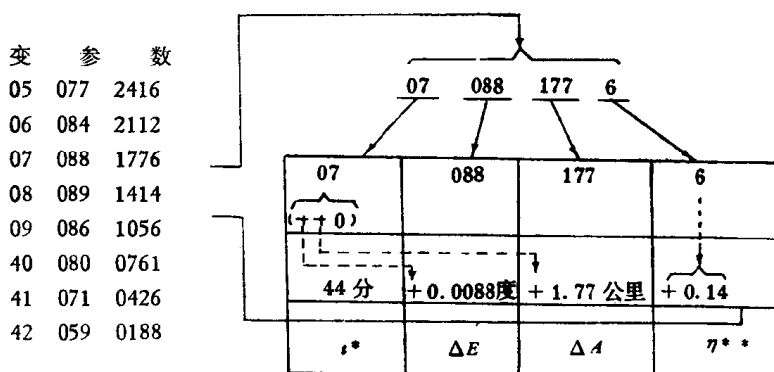


图 6

* 时间 t 系半小时后的第 7 个 2 分钟即 44 分。

** n 每 4 分钟播发一次, t 能被 4 整除的变参数
第 9 位为 n 的第一位数字(需译码),下行第 9
位数为 n 的第二位数字。

1) 小数点位置和进一步译码方法按图 6, 表 3 规定。

定参数(表 3) 第一位数字意义

0 = ++0	5 = +-1
1 = +-0	6 = -+1
2 = -+0	7 = --1
3 = --0	8 = +
4 = ++1	9 = -

图 6 中第一位数字意义同表 3, 其中第一个符号代表 ΔE 的符号, 第二个符号代表 ΔA 的符号。

变参数(图 6) n 第一位数字意义

0 = -0.0	5 = +0.0
1 = -0.4	6 = +0.1
2 = -0.3	7 = +0.2
3 = -0.2	8 = +0.3
4 = -0.1	9 = +0.4

下面进一步说明多普勒周数(第 6 到第 29 数据块)的记录格式和译码方法。第 6 到第 29 共 24 个数据块, 每块可容纳 10 个 4.6/4.97 秒间隔, 其记录形式完全相同, 每次卫星经过最多时可记下 9 帧 2 分钟电文, 而每帧电文具有 26 个 4.6/4.97 秒间隔, 因此一次卫星经过最多可记录到 $9 \times 26 = 234$ 个 4.6/4.97 秒间隔的多普勒周数, 恰好占据 24 个数据块。但实际工作中, 往往小于上述观测量, 每少观测 10 个多普勒间隔, 就省下一个数据块。

90 字节的数据块除首字、末字和 CRC 外, 还剩 86 字节, 每个字节均按八进地址入位。多普勒数据共占 80 字节(八进地址编号为 4—123), 其具体排列见图 7(框内数字代表该字的八进地址号)。

80 字节共分 10 行 8 列, 第 1 列和第 4 列各代表 400 兆赫和 150 兆赫的最小讯号电平, 仪器根据此值对数据进行取舍。

400 兆赫频道 4.6/4.97 秒间隔的多普勒周数共 17 比特由每行第 2 列和第 3 列合成, 第 3 列置前, 第 2 列置后, 最高有效位是第 3 列首位, 最低有效位是第 2 列末字, 两列合成 16 比特。当第 3 列前两比特均为“1”时, 在最高有效位前附加一个“0”

1	4	5	6	7	10	11	12	13
2	14	15	16	17	20	21	22	23
3	24	25	26	27	30	31	32	33
4	34	35	36	37	40	41	42	43
5	44	45	46	47	50	51	52	53
6	54	55	56	57	60	61	62	63
7	64	65	66	67	70	71	72	73
8	74	75	76	77	100	101	102	103
9	104	105	106	107	110	111	112	113
10	114	115	116	117	120	121	122	123

图 7 多普勒数据排列图

比特, 否则附加一个“1”比特。在任何一种情况下, 都要在最低有效位后附加一个“0”比特, 总共 18 比特。然后将此 18 比特转换为以 10 为基数的数, 即得 400 兆赫频道多普勒周数。

150 兆赫频道的 4.6/4.97 秒间隔的多普勒周数, 其前 9 比特 (包括一个附加比特在内) 同于 400 兆赫频道第 3 列数值, 后 9 比特由第 5 列比特值代数地加到第 2 列上获得。相加时, 若第一位有进位, 则舍去进位。最后将 18 比特化算成以 10 为基数的值, 即得 150 兆赫频道多普勒周数。

举例如表 4。

表 4

频道 数制	400 兆赫频道多普勒周数				某行 第 5 列字节	150 兆赫频道多普勒周数			
	附加 比特	某行 第 3 列字节	某行 第 2 列字节	附加 比特		附加 比特	第 3 列字节	第 2 列加 第 5 列字节	附加 比特
八进		024	352		327				
二进	1	00010100	11101010	0	11010111	1	00010100	11000001	0
十进		141780					141698		

第 6 列表示在多普勒周数间隔期间所施加的钟脉冲累加数, 第 7 第 8 列分别表示多普勒间隔末尾 400 兆赫和 150 兆赫钟读数, 经二进变十进转换后, 就可得到以 10 为基数表示的钟读数和钟脉冲改正数。

以上讨论了磁带记录格式及数据转换方法, 如再配以适当程序 (因计算机而异), 就可将记录过的磁带装在国产计算机上打印出所需原始数据, 为改进数学模型, 选用更合理的观测方程参数提供必要准备。

AN APPROACH OF TRANSIT SATELLITE MESSAGE EXTRACTION

Yang Jiajun

(Institute of Geodesy and Geophysics, Academia Sinica)

Abstract

In order to refine the mathematical model of the Doppler observation method and adopt more reasonable parameters of observation equations, it is necessary to resolve precedently the problem of raw data obtained on the recorded magnetic tape.

In this paper the record format of the magnetic tape of the MX 1502 receiver and the transfer method are discussed exclusively. It will be possible to load the recorded magnetic tape on the computer made in China and print out the needed raw data if we adopt the pertinent program.

利用全球定位系统按单点法定位*

宋文尧

摘 要

本文讨论了全球定位系统的信号特征、电文结构、误差分析、单点定位原理以及精度估算,探讨了 Transit 系统有关技术和数学模型引用到 GPS 中的可能性,展望了该系统的发展前景。

全球定位系统 (Global Positioning System NAVSTAR——简称 GPS) 是一种正在发展中的全天候、高精度、快速实时定位的卫星导航系统,从测盖范围、信号可靠性、数据内容、准确度以及多用性这五项指标来看,都优于 Transit 卫星导航系统,是其他现代无线电导航系统所无法比拟的,它可用于大地测量、地学考察、确定极移参数、时间比对、近地卫星定位、改进武器发射精度以及军用民用导航定位,同时 GPS 卫星所发播的信号亦可作为人造射电源进行独立站射电干涉测量,使天线和接收设备大大缩小,因此引起国际大地测量和现代无线电导航学者的高度重视,为此本文就单点法定位系统地讨论信号特征、电文结构、误差影响、定位原理及其精度估算,探讨了 Transit 系统的有关技术和数学模式引用到 GPS 的可能性,展望了该系统的发展趋势。

一、GPS 信号特征

卫星钟的标频为 10.23 兆赫,它控制着码钟和发射频率,GPS 信号包括两种频率发播,即

$$L_1 = 10.23 \times 154 = 1575.42 \text{ 兆赫}$$

$$L_2 = 10.23 \times 120 = 1227.60 \text{ 兆赫}$$

在 L_1 波段上,双相调制成正交的 P 码(亦称精密码——长码)和 C/A 码(亦称粗搜索码——短码), P 码的调制速率(亦称码钟速率)为 10.23 兆比特/秒,码的持续时间(亦称码长)为一星期,即每星期六夜晚、星期日子夜的格林威治平时为 P 码的初始时间。 C/A 码是短码,码长为 1 毫秒,其调制速率为 1.023 兆比特/秒,该码容易达到迅速拦截卫星的要求,并可通过电文交接码 (HOW) 变换到 P 码上。

如图 1 所示,在 L_1 波段载波相位分量上调制成 P 信号 $P \oplus D$,并且在 90° 相移载波分量上调制成 C/A 信号 $C/A \oplus D$ 。可用下列方程式表示:

* 1980 年 12 月收稿。

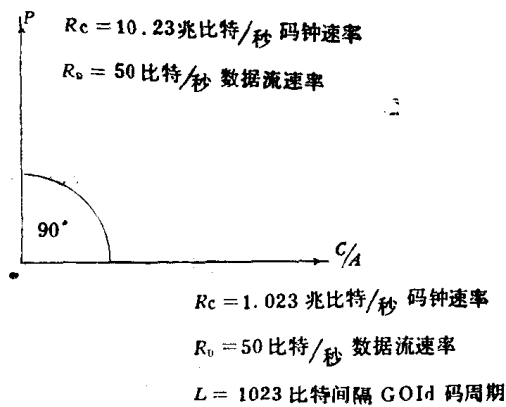


图 1

$$S_{Li}(t) = \underbrace{A_P X P_i(t) D_i(t)}_P \cos(\omega_1 t + \phi) + \underbrace{A_C X G_i(t) D_i(t)}_{C/A} \sin(\omega_1 t + \phi) \quad (1)$$

式中 ω_1 ——由 L_1 决定的角频率;

ϕ ——很小的相位噪声和振荡器漂移分量;

公式右端第一项表示 P 码情况, 其 A_P 为振幅, $X P_i(t)$ 表示调制速率为 10.23 兆比特/秒, 周期为一星期的 ± 1 的伪随机噪声序列, $D_i(t)$ 表示振幅为 ± 1 , 数据流速率为 50 比特/秒, 周期为每 6 秒钟一子帧、30 秒钟一全帧电文。公式右端第二项表示 C/A 码情况, 其中 A_C 为振幅, $X G_i$ 表示调制速率为 1.023 兆比特/秒, 周期为 1 毫秒 1023 比特的独特的 Gold 码 (R , Gold 为研究编码的作者名), $D_i(t)$ 同 P 码电文。 C/A 码的信号强度比 P 码大 3—6 分贝。

P 码 每颗卫星 i 的 P 码是两个伪噪声码即 $X1(t)$ 和 $X2(t + n_i t)$ 的乘积。 $X1$ 具有 1.5 秒 15,345,000 比特间隔周期, $X2$ 具有 15,345,037 比特间隔周期, $X2$ 比 $X1$ 长了 37 比特间隔, 两种序列在每星期六夜晚、星期日子夜的相同初始时间起开始重播的。 $X1$ 和 $X2$ 是在 10.23 兆比特/秒速率上同相计时的, P 码是下列形式的乘积码:

$$X P_i(t) = X1(t) X2(t + n_i T) \quad 0 \leq n_i \leq 36 \quad (2)$$

这里 $X1(t)$ 和 $X2(t)$ 之间的延迟为每 T 秒的 n_i 码钟间隔, 每颗卫星具有唯一的码偏 $n_i T$, 这样不可能有一颗卫星的 P 码匹配另一颗卫星 P 码的任何有效部分, 因此有 37 个不同的 P 码, 如果考虑到 P 码连续但不重置, 则 P 码周期稍大于 38 个星期, 即 P 码的 7 天相位段的完整周期为 267 天, 全部周期实际上是细分的, 因而每颗卫星所得到的一个星期周期与其他卫星是不重叠的。

通过每 1.5 秒钟的 Z 计数, 又已知某一子帧电文的初始时间和交接码 (HOW) 可以得到下一子帧电文的初始时间 P 码。

C/A 码 它在 1.023 兆比特/秒比特速率上码长为 1 毫秒、1023 比特周期的短码, 每颗卫星的 C/A 码由调制速率为 1023 比特的两种伪噪声 $G1(t)$ 和 $G2(t)$ 的乘积所组成的 Gold 码, 这种乘积码的周期也是 1023 比特, 表示为

$$X G(t) = G1(t) G2[t + N_i(10T)] \quad (3)$$

N_i 规定为 $G1$ 和 $G2$ 之间在间隔上的相位偏移, 必须注意 C/A 码的间隔具有 $10T$ 的持续时间, 存在 1023 个不同的偏移 N_i , 由此就有该种格式的 1023 个不同的代码。

L_2 信号 它也是双相正交调制成 P 码和 C/A 码, 由地面站遥控选择 P 码。 L_2 信号表示为

$$SL_2(t) = B_p X P_i(t) D_i(t) \cos(\omega_p t + \phi)$$

这里 B_p 表示信号振幅, $X P_i(t)$ 为第 i 颗卫星的 P 码, 与 L_1 波段的码同步计时, $D_i(t)$ 为 50 比特/秒的电文数据流。

二、GPS 电文结构

GPS 导航电文包括了卫星状态数据、 C/A 码变换到 P 码的时间同步数据、卫星钟改正参数、电离层传播延迟的模式参数(供 C/A 码用)、卫星星历和年历。年历列出了近似星历和全部卫星的状态数据, 以满足信号拦截的需要, 数据格式中还包括了备用的特殊电文。

一帧电文包括 30 秒 1500 比特, 其数据流速率为 50 比特, 全帧分成 5 个子帧, 每子帧为 6 秒 300 比特, 有 10 个字码, 每字码为 30 比特。各子帧的起始时间同步到 GPS 标准时间, 其同步精度为 1 毫微秒, 对 L_1 , L_2 波段上的 P , C/A 信号来说, 电文数据是公用的, 如图 2 所示。

每个子帧开始的第一、二字码是遥测字码 (TLM) 和交接字码 (HOW), 这两个字码是由卫星所给定的, 其他 8 个字码是主控站所注入的导航数据, 现分段介绍如下:

1. TLM 和 HOW 字码

TLM 字码包括 8 比特的序文 (同步格式), 14 比特 TLM 电文、2 比特无信息定向位以及 6 比特的奇偶位。TLM 电文包括注入状况电文、诊断电文和其他电文。

HOW 字码包括 17 比特的 Z 计数 (下一子帧的前沿卫星时间)、1 比特的同步特征位、3 比特子帧辨别、2 比特无信息定向位和 6 比特的奇偶位。

2. 数据块 I——卫星钟改正

数据块 I 出现在第一子帧电文中, 每 30 秒重播, 该数据由地面控制系统所注入的, 它包括了频率标准的改正、所伴随时期 (AODC) 字码以及电离层传播延迟模式参数。

卫星钟的改正参数是提供用户计算相对于 GPS 标准时间的卫星钟钟差。卫星钟改正模式有三个系数即 a_0 , a_1 , a_2 以及标准时间 t_{oc} , 按下列方程式 (以秒计) 可修正所接收的卫星信号时间。

$$t = t_{sv} - \Delta t_{sv} \quad (4)$$

$$\Delta t_{sv} = a_0 + a_1(t - t_{oc}) + a_2(t - t_{oc})^2 \quad (5)$$

此处 t 为 GPS 标准时间, 以秒计, t_{sv} 为电文发射时间的卫星代码相位时间, 以秒计, t_{oc} 为数据块 I 的标准时间, 以秒计。

此外, 数据块 I 也包括了数据字码 (AODC) 的卫星钟改正参数期限, 单频用户的

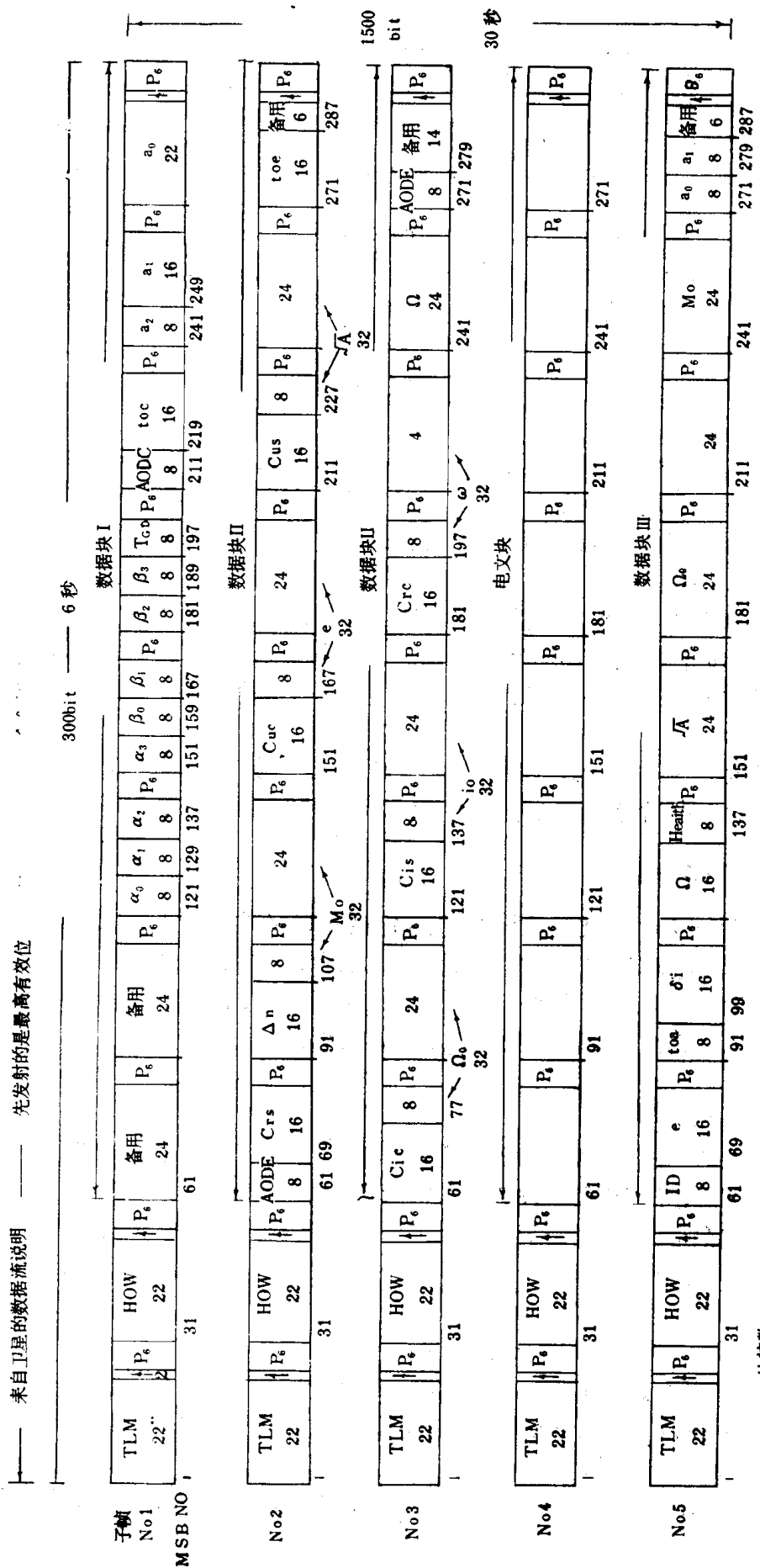


图 2 GPS 导航电文格式