文章编号:1006-544X(2004)02-0188-04

GPS差分协议RTCM电文分析与应用

刘智敏[1,2],林文介[1],唐卫明[2]

(1. 桂林工学院 土木工程系,广西 桂林 541004;2. 武汉大学 GPS工程技术研究中心,湖北 武汉 430079)

摘 要:通过对RTCM电文内容的分析,就应用中RTCM电文的编码方法和存在的问题进行了探讨,根据DGPS所需要达到的区域范围、环境状况以及经济承受力,选择DGPS差分电文RTCM的发送方式;采用奇偶校验码进行校验,以确保所接收电文的正确性;进行字节滚动,以保持RTCM电文的逻辑序列.

关键词:DGPS;RTCM;数据格式

中图分类号:P228.4;TN919.3 **文献标识码**:A①

差分GPS系统(Differential GPS,简称DGPS)由基准站、数据链和用户3部分组成:基准站的主要功能是获得差分改正数或得到原始观测值;数据链的作用是将基准站的数据信息以某种标准差分协议传输给用户.因此GPS差分协议和差分电文算法是差分GPS系统必须考虑的两个关键性问题.

国际海运事业无线电技术委员会(Radio Technical Commission for Maritime Services,简称RTCM)于1983年11月为全球推广应用差分GPS业务设立了RTCM SC-104专门委员会,以便论证用于提供差分GPS业务的各种方法,并制定了标准差分协议.它是最早使用的一种国际通用格式,可以用于伪距差分和实时动态GPS(Real Time Kinematic GPS,简称RTK GPS).1994年1月正式公布Ver 2.1版本,增加了与载波相位差分技术相关的电文18~21,以后又不断有新的版本出现[1-4].新版本提高了差分改正数的抗差性能,增大了可用信息量,提高了定位精度.伪距差分的精度由原来版本的8~10 m提高到1 m左右,载波相位差分可达到cm级精度.

1 实时差分GPS定位模型

根据差分GPS工作原理,DGPS可分为4类,包括位置差分、伪距差分、广域差分和载波相位差分.伪距差分是在m级精度要求下使用最广的一种技术,几乎所有的商用差分GPS接收机均采用了这种技术.实时差分定位系统中,基准站的坐标精确已知,可以算出星站之间的真实几何距离ρ_i^j,基准站的GPS接收机测量出所有可视卫星的伪距$\tilde{\rho}_i^j$,同时收集全部卫星的星历,从而得到观测值的改正数[1]

$$\Delta\rho_i^j(t) = \tilde{\rho}_i^j(t) - \rho_i^j(t); \quad (1)$$

$$\rho_i^j = \sqrt{(X_s^j - X_i)^2 + (Y_s^j - Y_i)^2 + (Z_s^j - Z_i)^2}; \quad (2)$$

$$\tilde{\rho}_i^j(t) = \rho_i^j(t) + c\delta t_i(t) - c\delta t^j(t) + \Delta_{i\cdot Ig}^j(t) + \Delta_{i\cdot T}^j(t). \quad (3)$$

其中:基准站的WGS-84坐标为(X_i, Y_i, Z_i),由星历计算出所有观测到的卫星在信号发射时刻的WGS-84坐标(X_s^j, Y_s^j, Z_s^j);$\delta t_i(t)$为接收机钟差;$\delta t^j(t)$为卫星钟差;$\Delta_{i\cdot Ig}^j(t)$为电离层折射影响;$\Delta_{i\cdot T}^j(t)$为对流层折射影响,c为光速.

通过数据链将基准站的差分信号传输至用户站,用户站接收、解调后送入用户接收机进行解码和计算.将基准站的改正数作为伪距修正量,以改正用户接收机相应的同步伪距观测量,这里忽略对不同观测站伪距观测量的不同影响,以及不同接收机钟差的变化,近似得

① **收稿日期**:2003-11-18

基金项目:广西自然科学基金资助项目(0339072)

作者简介:刘智敏(1975-),女,博士研究生,讲师,研究方向:GPS原理、算法及应用.

$$\rho_i^j(t) = \tilde{\rho}_i^j(t) - \Delta\rho_i^j(t). \quad (4)$$

应用 C/A 码得到定位精度，在距离基准站 50 ~100 km 范围内可达 m 级. 随着用户与基准站的距离的增大，与空间相关的误差相关性减小，流动站的定位精度随之迅速降低.

2　RTCM SC－104 电文内容分析

RTCM 差分协议由二进制编码的数据流组成. 每种电文帧长为（$N+2$）个字，每个字由 30 bit 构成，分解为 5 个 6 bit 的字节，其中电文头 2 个字称为通用电文，电文信息包含在 N 个字中，N 随电文类型不同而不同，同类电文可能由于卫星的个数不同也不相同. 第 25 ~ 30 位构成字节 5，字节 5 为奇偶校验码，用于检验接收到的电文信息. 在 DGPS 中常用到的电文类型，以 RTCM 的 Ver 2.2 版本为例示于表 1.

表 1　Ver 2.2 中的几种常用 RTCM 电文类型

Table 1　Several types of RTCM codes (Ver 2.2)

电文类型	目前状况	名　称
1	固定	GPS 伪距改正
2	固定	GPS 伪距改正的变化量
3	固定	GPS 参考站参数

RTCM 电文中，每种电文的电文头格式和内容完全相同. 8 个 bit 的引导字固定为 01100110，供用户搜索同步使用，必须通过第 1 和第 2 个字的奇偶校验，才能确认该引导字是否正确. 帧识别是确定电文的类型. 基准站识别给出基准站的序号名称. 修正 Z 计数是时间计数，是电文参数的参考时间，范围仅有 1 h，用户可根据流动站的时间确定 Z 计数对应的准确 GPS 时，与 GPS 电文的 Z 计数不同之处是将其分辨率从 6 s 提高到了 0.6 s. 序号是按下一帧第 2 个字码逐一增加，帧长是表示接收到的电文的长度，用于电文解码. 对序号和帧长解码，可确定下一个引导字的位置. HEALTH 为基准站健康状况代码，表示基准站是否正常运行. 通用电文格式和内容见图 1.

电文 1 是伪距差分中最基本的电文——差分 GPS 改正数，向用户提供伪距改正数及其变化率. 其 1 bit 的比例因子用以标识伪距改正数 PRC 和伪距改正数变化率 RRC 的精度，如果编码为 0，则表示 PRC 和 RRC 的比例因子分别为 0.02 m 和 0.002 m；如果编码为 1，则表示 PRC 和 RRC 的比例因子分别为 0.32 m 和 0.032 m. 2 bit 的用户距离误差（UDRE）有 4 种编码，每种编码代表不同的用户测距误差. 卫星标识 ID 占 5 bit. 伪距改正数 PRC 和伪距改正数变化率 RRC 各占 8 bit. IOD（Issue of Date）是改正数的数据龄期，占 8 bit，与 GPS 中的 IOD 的意义相同. 电文中给出 IOD 是让用户与 GPS 导航数据中的星历的数据龄期相比较，如果两者不相匹配，则不能直接使用该组改正数. 因此 IOD 是保证差分定位的关键，以确保用户使用的导航电文与基准站使用的导航电文相同. FILL（表示填充字）在电文中作填充用，RTCM 电文每字 30 bit，如果基准站同时观测到的卫星个数不是 3 的倍数，则电文的最后 1 个字就不足 30 bit，需用填充字来补充. 奇偶校验（PARITY）共占 $N\times6$ bit.

进行编码时，要注意每 24 bit 插入 6 bit 奇偶校验值，然后余下的不足部分就用填充字来补充至 24 bit，最后再进行 6 bit 奇偶校验. 例如，观测到 4 颗卫星，则

$(1+2+5+16+8+8)\times4\div24=6$ 余 16

FILL $=24-16=8$；$N=6+1=7$

此电文 1 长 $N+2=9$ 个字，270 bit.

用户接收到电文 1 中的内容后，便可对接收到的伪距观测值按（4）式进行改正，应用改正后的伪距进行定位解算.

电文 2——差分 GPS 改正数的变化量，如果用户站未能解译出新的星历，而此时基准站已采用了新的星历，则两站所用的星历不一样，此时基准站必须同时播发电文 1 和电文 2，防止定位结果产生较大误差. 只有用户接收的星历的 IOD 与基准站电文 1 中的 IOD 相一致后，才能采用新的导航数据. 如果用户能及时解译出星历，则电文 2 可省去. 另外，如果基准站在发送使用新星历求出的改正数之前等待约 90 s[5]，让用户有足够的



图 1　通用电文格式和内容

Fig. 1　Format of international general RTCM standard data codes

时间来获得新的龄期数据，这样也可以避免发送电文2. 电文2的格式和电文1的完全相同，包含了由于卫星导航参数的变化而导致的伪距变率及伪距变率的改变量.

电文3——GPS参考站参数，电文3发送基准站在WGS－84坐标系中的坐标信息（ECEFX，ECEFY，ECEFZ），各占32 bit，给定的坐标精度至少到cm级. 该项电文由32×3/24＝4个字组成，按顺序发送基准站坐标的3个参数，每个字最后6位是奇偶校验位.

3 RTCM SC－104电文编码应用

在一些安全要求高、保密性强的工程项目中，采用无线电波以RTCM电文格式发播自行处理的高精度数据，使特许用户站接收后进行实时差分定位，保证任何状态下的正常运行.

目前发送差分电文主要是通过3种方式：低中频的地波、甚高频与超高频传输以及卫星通讯网络. 采用低中频地波传输系统，信号越障能力较强，但低频信号受到的干扰及传播中产生的误码也较多，只适于较小范围内数据传输；高频天波传输系统使用电离层与地面反射进行传输，可达到大覆盖面，但是森林、山体、高建筑物有遮挡作用，会形成一定的死角；通讯卫星传播覆盖面广、地面遮挡少，能实现较好的数据广播通信，但是用卫星通讯网络实现DGPS需要大投入，在我国目前可行性不大.

电文信息在这几种传播途径中传输，都会受到各种干扰而产生误码，RTCM差分电文也不例外. 任何电文的遗失或误码都会影响DGPS的精度，必须采取一定措施确保所接收电文的正确性，才能保证差分定位的精度和可靠性. RTCM协议采用奇偶校验码对电文进行检验. 遵从（30，24）汉明码检错准则，作为一种检错码，奇偶校验码通过增加冗余位使得码字中“1”的个数为奇数或偶数.

RTCM电文中，每30 bit最后6 bit都是奇偶校验位，后面的6位是根据前面的24位以及上一个字的最后两位得到的. 图2给出RTCM中奇偶校验的编码算法，其中：d1，d2，d3…d24是原始的数据信息；D_{29}^{*}，D_{30}^{*}是前一个字的最后两位；D25…D30是计算的奇偶校验位；D1，D2…D29，D30是最终发送的信息.

RTCM电文可在标准计算机通用异步收发机UART间串行传送，如果所用的UART提供8 bit的字节，则7设置为标志位，8设置为空格，这种编码规则说明对RTCM每个字只在64～127之间有效. UART为约定的非同步通讯，首先发送和接收最低有效位. 每一个字节在发送前要完成“滚动”，假设一个字节用d1，d2，d3，d4，d5，d6表示，则滚动的含义是d1和d6，d2和d5，d3和d4进行互换. 这在效果上保持了RTCM电文的逻辑序列，这样在发送媒介中最高有效位优先[2－4]. 整个编码过程如图3.

$$
\begin{aligned}
&D1 = d1 \oplus D_{30}^{*}\\
&D2 = d2 \oplus D_{30}^{*}\\
&D3 = d3 \oplus D_{30}^{*}\\
&\quad\cdots\cdots\\
&D24 = d24 \oplus D_{30}^{*}\\
&D25 = D_{29}^{*} \oplus d1 \oplus d2 \oplus d3 \oplus d5 \oplus d6 \oplus d10 \oplus d11 \oplus d12 \oplus d13 \oplus d14 \oplus d17 \oplus d18 \oplus d20 \oplus d23\\
&D26 = D_{30}^{*} \oplus d2 \oplus d3 \oplus d4 \oplus d6 \oplus d7 \oplus d11 \oplus d12 \oplus d13 \oplus d14 \oplus d15 \oplus d18 \oplus d19 \oplus d21 \oplus d24\\
&D27 = D_{29}^{*} \oplus d1 \oplus d3 \oplus d4 \oplus d5 \oplus d7 \oplus d8 \oplus d12 \oplus d13 \oplus d14 \oplus d15 \oplus d16 \oplus d19 \oplus d20 \oplus d22\\
&D28 = D_{30}^{*} \oplus d2 \oplus d4 \oplus d5 \oplus d6 \oplus d8 \oplus d9 \oplus d13 \oplus d14 \oplus d15 \oplus d16 \oplus d17 \oplus d20 \oplus d21 \oplus d23\\
&D29 = D_{29}^{*} \oplus d1 \oplus d3 \oplus d5 \oplus d6 \oplus d7 \oplus d9 \oplus d10 \oplus d14 \oplus d15 \oplus d16 \oplus d17 \oplus d18 \oplus d21 \oplus d22 \oplus d24\\
&D30 = D_{30}^{*} \oplus d3 \oplus d5 \oplus d6 \oplus d8 \oplus d9 \oplus d10 \oplus d11 \oplus d13 \oplus d15 \oplus d19 \oplus d22 \oplus d23 \oplus d24
\end{aligned}
$$

图2 RTCM奇偶校验码编码算法[3]

Fig. 2 Algorithm of RTCM parity check coding method[3]

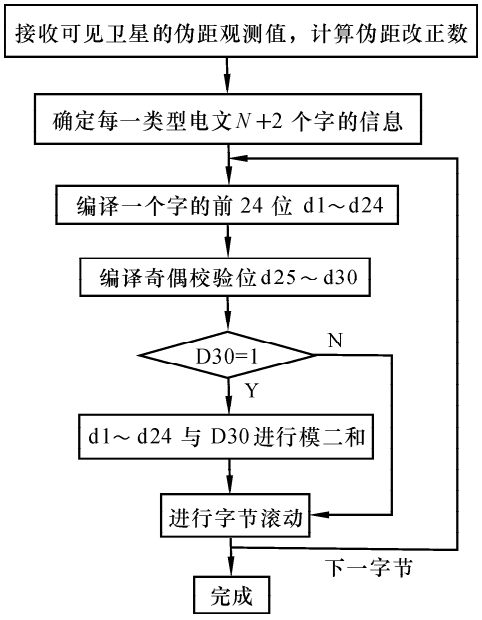


图 3　RTCM 电文编码流程图

Fig. 3　RTCM coding flow diagram

4　结束语

DGPS 差分电文 RTCM 发送方式的选择，主要根据 DGPS 所需要达到的区域范围、环境状况以及经济承受力. 差分精度主要靠基准站传输的 RTCM 电文进行修正，在传输过程中，对电文的奇偶校验码编码与解码非常重要，对二进制代码进行奇偶校验，只能判断出数据传输过程发生的错误为奇数，因为若发生的次数为偶数，电文中“1”或“0”的个数没变化，而且无法对误码进行修正. 在 RTCM 电文编码上，如何提高数据的可用率，尚需进一步探讨.

参考文献

[1] 周忠谟，易杰军，周　琪. GPS 卫星测量原理与应用［M］. 北京：测绘出版社，1995.

[2] 李洪涛，许国昌，薛鸿印，等. GPS 应用程序设计［M］. 北京：科学出版社，1999.

[3] 张九宴. GPS 差分协议及基准站算法研究［D］. 武汉：武汉大学，2003.

[4] 王广运，郭秉义，李洪涛. 差分 GPS 定位技术与应用［M］. 北京：电子工业出版社，1996.

[5] RTCM Special Committee No. 104. RTCM Recommended Standards For Differential GNSS［S］.

Analysis and application on RTCM format for differential GPS

LIU Zhi-min[1], LIN Wen-jie[1], TANG Wei-ming[2]

(1. *Department of Civil Engineering*, *Guilin Institute of Technology*, *Guilin* 541004, *China*;
2. *Research Center of GPS*, *Wuhan University*, *Wuhan* 430079, *China*)

Abstract: Real-time differential GPS (RTDGPS) technique is widely used to improve positioning accuracy and reliability. The DGPS information is transmitted to GPS users on a standard data format and received in RTDGPS positioning. RTCM is an international general format and is applied earliest. RTCM data format is introduced in detail. Furthermore, RTCM coding application is discussed: to select different ways to transmit DGPS codes; to take on the RTCM parity check coding method in order to make sure the correct rate of the DGPS information and to use byte rolling to keep the consecution of RTCM codes.

Key words: DGPS; RTCM; data format