

DGNSS 数据传输格式 RTCM3.2 的介绍及解码研究

于晓东, 吕志伟, 王兵浩, 于合理, 闫建巧

(信息工程大学导航与空天目标工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 传统的网络 RTK 中数据中心和流动站的数据传输一般采用 RTCM SC-104 格式, 而数据中心和参考站之间一般采用接收机厂商自定义的实时数据格式。为了满足新一代网络 RTK 多系统, 多信息类型的实时数据传输, RTCM 委员会专门推出了最新的 RTCM 10403.2 数据格式。本文详细介绍了最新版的 RTCM3.2 电文特点, 新增的 MSM 电文, 编、解码方式以及对 BDS 系统的支持。给出了 MSM 电文组的解码流程, 通过对实时数据进行解码实验, 证明了算法的正确性和可靠性。

关键词: DGNSS; RTCM3.2; MSM; 解码; 北斗

中图分类号: P228.4

文献标志码: A

文章编号: 1008-9268(2015)03-0037-05

0 引言

随着我国北斗卫星导航系统(BDS)的发展、美国 GPS 的现代化、以及俄罗斯的 GLONASS 和欧盟的 GALILEO 的蓬勃发展, 差分 GNSS 得到了越来越广泛的应用^[1]。为了满足这些系统的高精度差分定位以及增强服务的需求, 国际海运事业无线电技术委员会(RTCM)第 104 专业委员会推出了一系列的差分导航全球卫星系统(DGNSS)数据通用格式。

自上世纪九十年代推出 RTCM2.X 以来, RTCM 格式目前已被广泛用于测绘、施工、运输、规划等多个领域来传输差分 GNSS 数据。但在使用中发现, RTCM2.X 在一些结构的设计上存在明显的缺陷, 例如在检验位的设置上对带宽造成了很大的浪费, 并且检校码之间不独立, 给解码造成了一定困难^[2-3]。为了克服 RTCM2.X 的这些缺陷, RTCM 委员会 2006 推出了 RTCM3.0 格式。同时为了满足日益增多的卫星导航系统以及多频的需求, 2013 年又推出了 RTCM3.2(RTCM standard 10403.2 differential GNSS Services-Version 3)^[2]。

RTCM 3.2 的制定和修正, 不仅弥补了之前版本中的缺陷, 还增加和扩展了多种网络 RTK 信息, 定义了包含 GPS、GLONASS、GALILEO 和 BDS 的多信号信息组(MSM), 拓宽了 RTCM 的应用领域。尤其值得强调的是 MSM 电文组可以对北斗系统提供支持, 这对北斗的高精度差分定位服务有着重要的意义^[4]。但是由于 RTCM3.2 标准公布的时间较短, 支持此标准的接收机较少, 对编码、解码流程研究的相关文献较少。因此本文重点对 RTCM3.2 格式中新增的 MSM 电文组进行研究, 并对 MSM 进行了解码程序设计, 采用实测实验数据进行验证。

1 RTCM 3.2 的电文内容

1.1 RTCM3.X 数据内容

RTCM3.X 标准包含应用层、表示层、传输层、数据链路层以及物理层。对于编码、解码最重要的是表示层和传输层^[2,5]。表示层对整个数据结构做出了详细的定义, 包含数据字段、消息类型等。传输层定义了传输的协议, 校验方式等。

RTCM3.X 为了达到较高的传输完整率, 一条标准的电文由一个固定的引导字、保留字、一个消

收稿日期: 2015-01-06

联系人: 于晓东 E-mail: yuxiaodong5@qq.com

信息的长度定义,一条消息和一个 24 bits 的周期冗余检校组成,具体的消息结构框架如表 1 所示。

表 1 Version 3 的电文框架结构

引导字	保留字	消息长度	可变长度消息	CRC 校验
8 bits	6 bits	10 bits	长度可变	24 bits
11010011	未定义(设为 0000000)	以比特为单位的消息	0~1 023 bytes	CRC-24Q 检校结果

1.2 RTCM3.2 新增 MSM 电文组内容

为了满足日益增多的卫星导航系统以及多频的需求,RTCM3.2 在保留了之前版本各电文定义外,又引入了多信号电文组(MSM)。MSM 电文组不仅能支持原有格式中包含的 DGNSS/RTK 的信息,还能实时传输、保存基于网络的 RINEX 格式观测值。表 2 示出了 RTCM3.2 中的各 MSM 电文组的用途,其中 MSM6 和 MSM7 分别与 MSM4

表 2 RTCM3.2 中的 MSM 电文组的用途

电文类型	设计用途
MSM1	传统及改进的 DGNSS
MSM2	
MSM3	
MSM4	
MSM5	以标准 RINEX 格式保存观测值
MSM6	扩展 RTK 模式,实时网络数据流
MSM7	以扩展模式传输 RINEX 格式观测值

和 MSM5 中包含的电文内容是相同的,只是 MSM6 和 MSM7 包含的数据内容精度更高,可以为更高精度的应用而服务。

MSM 电文组由于其通用性更好,便于编码、解码,未来将是实时 GNSS 数据传输的重要方式。然而由于它是最新提出的一种电文类型,相关介绍文献也较少,因此下面对 MSM 电文组进行介绍。

MSM 电文组由三部分组成,分别为电文头(Message Header),卫星数据(Satellite Data)和信号数据(Signal Data)。

1.2.1 电文头

各 MSM 电文组的电文头是相同的,包含了该条消息的基本情况,通过解码电文头,可以得到消息类型,参考站信息,各观测值信息,电文长度等。表 3 示出了各 MSM 电文组的消息头的详细内容定义。

表 3 各 MSM 电文组的消息头包含内容

数据字段	数据类型	比特数	备注
消息编号	uint12	12	
参考站 ID	uint12	12	
GNSS 星历时刻	uint30	30	各系统不同
多消息标志位	bit(1)	1	1:该条消息不是该参考站当前历元的结尾; 0:该条消息是该参考站当前历元的结尾;
站描述信息(IODS)	uint3	3	
保留位	bit(7)	7	
接收机钟差处理标志	uint2	2	0:未对钟差进行处理 1:对钟差进行了截断处理
外接钟使用标志	uint2	2	
GNSS DFree 平滑标志	bit(1)	1	
DFree 平滑间隔	bit(3)	3	
GNSS 卫星标志组	bit(64)	64	各系统不同
GNSS 信号标志组	bit(32)	32	各系统不同
GNSS Cell 标志组	bit(X)	X (X≤64)	
总计		169+X	

表 3 中 uint3 表示该数据字段是占二进制位 3 位的无符号整型,范围大小是 0~7。uint(3)表示三个独立标志位。int15 表示该数据字段是占二进制位 15 位的整型,范围大小是±16 383。

1.2.2 卫星数据

卫星数据描述了卫星到测站概率距离的信息,排列顺序按照电文头中定义的卫星标志组。不同 MSM 电文组包含的信息不同,以支持网络 RTK

中所需观测值信息的最常用的 MSM4 电文为例,介绍电文的卫星数据的组成,如表 4 所示。

表 4 MSM4 中的卫星数据

数据字段	数据类型	比特数
Nms	uint8	$8 \times N_{\text{sat}}$
RoughRange	uint10	$10 \times N_{\text{sat}}$
合计		$18 \times N_{\text{sat}}$

1.2.3 信号数据

MSM 电文组的信号数据是以 Cell 为单位进行排列,它的排列顺序根据 GNSS Cell 标志组(Masks)来排列的。GNSS Cell 标志组是一个存放卫星编号及频率编号的二维数组。它的第一行存放的是卫星标志组中第一颗观测卫星各信号的标志,以此类推。因此它的大小 N_{cell} 是由卫星和信号的个数来决定的, $N_{\text{cell}} = N_{\text{sat}} \times N_{\text{sig}}$, 其中 N_{sat} 是卫星个数, N_{sig} 是信号个数。

MSM 的信号数据不同于传统的电文类型,传统电文采用以卫星为单位,每颗卫星的数据结构相同,重复 N_{sat} 次。MSM 采用同一数据字段重复 N_{cell} 次,采用每个数据字段内部循环的方式来存放数据^[6]。

信号数据中数据是按数据字段类型排列,第一部分是存放所有卫星、所有信号的伪距,排列顺序是按照电文头中 Cell Mask 定义的卫星号、信号顺序排列,重复 N_{cell} 次。剩下的载波值、半周模糊度标志位、信噪比以此类推。

MSM4 的信号数据如表 5 所示。

表 5 MSM4 中的信号数据

数据字段	数据类型	比特数
GNSS 伪距	int15	$15 \times N_{\text{cell}}$
GNSS 载波相位值	int22	$22 \times N_{\text{cell}}$
载波相位失锁标志	unit4	$4 \times N_{\text{cell}}$
半周模糊度标志	bit(1)	$1 \times N_{\text{cell}}$
信号信噪比	unit6	$6 \times N_{\text{cell}}$
总计		$48 \times N_{\text{cell}}$

1.3 RTCM3.2 对 BDS 的支持

RTCM 3.2 的制定和修正,不仅弥补了之前版本中的缺陷,还增加和扩展了多种网络 RTK 信息,定义了多个系统的多信号电文组(MSM)^[6]。

2013 年 7 月有机构提出了 BDS 差分电文的提案,为 MSM 电文组。目前 RTCM3.2 中对 BDS 定义的 MSM 电文组为 1121-1127,仅能支持个别

应用,不支持 SSR、ABDS 等应用。2014 年,为了提出能支持多种位置服务功能的差分电文格式,武汉导航与位置服务工业技术研究院在中国海事局的支持下,向 RTCM 委员会提交了 BDSRTCM-10403.2 差分电文,并被顺利接受,进入讨论环节^[4,6]。如果提案能够通过,RTCM 将针对 BDS 推出类似 GPS 的各种差分电文格式,有利于完善北斗的高精度差分增强服务。

2 MSM 电文组的解码程序设计

根据前文介绍的 RTCM3.2 电文的数据结构及编码方式,对 RTCM3.2 的解码流程进行了设计,如图 1 所示。

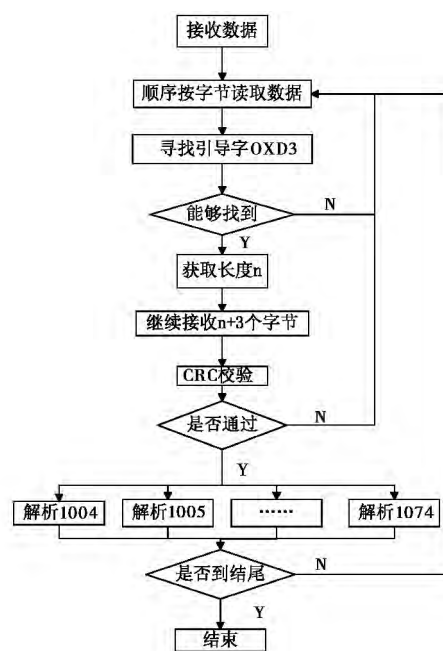


图 1 RTCM3.2 的解码流程

对于传统的电文类型如 1004,1005 等研究较多,对于包含 MSM4 电文组的 1074,1084 等电文类型研究较少,在此重点给出了包含 MSM4 电文组的 GPS1074 的具体解码流程,如图 2 所示。

在 MSM4 电文解码过程中,有以下几点需要注意:

1) 卫星数据由两个数据字段组成,第一部分为 N_{ms} , 表示的是信号从卫星到接收机传播时间除以 1 ms 后得到的整数部分。第二部分为 $RoughRange$, 表示的是信号从卫星到接收机传播时间除以 1 ms 后保留十位的小数部分。通过这两个值就可以恢复伪距的概略值。伪距概略值 R 为

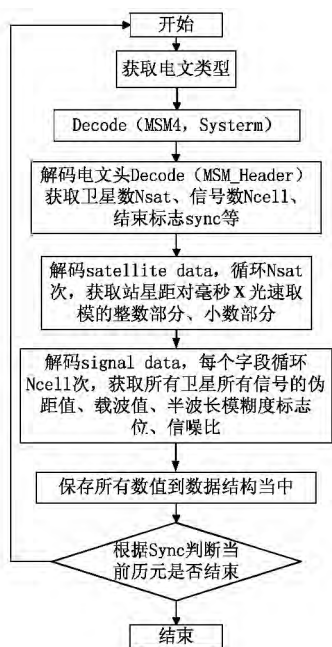


图2 MSM4 电文组解码流程

$$R[i] = (Nms + RoughRange/2^{-10}) \times C/1000,$$

其中, C 为光速, 单位 m/s .

2) 信号数据中的伪距和载波值存放的都是小数部分, 以伪距 Pr 为例, Pr 中存放的是伪距小于 2^{-10} (光速 $\times 0.001$) 的部分, 真实的伪距 P 要通过和卫星数据中的伪距概略值相结合来计算:

$$P[i] = Pr[i] \times 2^{-24} + R[i].$$

3) 半周模糊度表示的是接收机是否因内部原

因造成载波发生了半周的周跳。如果该标识设为 1, 表示发生了周跳, 数据处理软件应加以处理。

4) 结束标识 Sync 表征该电文组是否是当前历元的最后一组电文。如果该标志位值为 1, 表示当前历元的电文组还没有结束; 如果值为 0, 表示可以结束当前历元的解码流程。

3 实验分析

为了验证本文给出的解码流程的正确性, 以华测 N71 接收机 2014 年某天产生的 RTCM 数据为例对算法进行了验证。试验中华测 N71 接收机同时保存的 RINEX 格式观测数据文件进行比对。通过比较两者的关系来验证算法的正确性。

图 3 示出了包含 GPS 观测值信息 MSM4 的 1074 电文。

```
D3 00 8A 43 20 33 5B 36 96 02 00 00 00 0B 26 C0
00 00 00 00 20 20 00 00 7F FF A4 A6 A5 A1 A5 24
A3 26 9F 03 DF B3 2D 77 E1 90 52 78 99 56 36 0E
1E CC 4A 66 59 BC E7 9A AC B6 0C 1E E5 41 82 61
A0 CB C7 5A BE F5 FB 57 B8 7E 89 51 90 2C A8 30
48 F3 01 3D D9 7D 44 44 03 C1 2F C1 5F DF 2D F7
08 45 D2 24 27 80 73 4E C1 FC 7E 01 4C C6 15 6A
57 D8 28 A0 47 32 FF FF FF FF FF FF FF 80 00
63 05 6C 5E FE 74 58 CE 50 E7 35 8B 00
```

图3 1074 原始电文

表 6 示出了对实测数据进行解码后得到的数据信息。将解码的数据与接收机保存的 RINEX 文件进行了对比, 得出了一致的结果, 验证了算法的正确性。

表6 解码后的 1074 数据信息

卫星号	C1	P2	L1	L2	SNR1	SNR2
12	21 957 571. 318	21 957 579. 056	115 388 103. 071	89 912 945. 876	49	32
14	23 120 064. 713	23 120 072. 021	121 497 013. 426	94 673 027. 973	43	24
15	22 772 688. 190	22 772 695. 642	119 671 655. 826	93 250 916. 032	47	31
18	20 262 242. 404	20 262 248. 801	106 478 938. 282	82 970 648. 637	51	40
21	22 465 545. 881	22 465 554. 387	118 057 293. 227	91 992 753. 403	44	25
22	21 899 599. 383	21 899 604. 244	115 083 277. 775	89 675 336. 714	50	33
24	20 997 428. 205	20 997 437. 426	110 342 603. 333	85 981 553. 098	51	38
25	23 154 490. 654	23 154 507. 219	121 677 878. 122	94 814 200. 931	44	22

图 4 示出了包含 GLONASS 观测值信息 3M4 的 1084 电文。由于 MSM 电文组就是为了多系统多信号的数据所设计的, 所以不同系统之间的解码流程是一致的, 采用和 GPS 相同解码流程, 同样可

以得到正确的结果。

表 7 示出了 GLONASS 1084 电文解码解码之后的结果。同样与保存的观测文件对比, 结果相同。

表 7 解码后的 1084 数据信息

卫星号	C1	P2	L1	L2	SNR1	SNR2
1	21 228 893. 719	21 228 902. 993	120 686 620. 818	93 867 297. 253	48	31
7	22 405 562. 591	22 405 570. 900	119 506 658. 279	92 949 678. 112	42	31
8	19 747 089. 032	19 747 094. 018	117 881 573. 275	91 685 756. 536	51	39
10	20 129 444. 364	20 129 452. 083	106 303 799. 382	82 680 963. 236	52	33
11	19 465 079. 504	19 465 086. 706	0. 000	0. 000	49	35
12	23 382 306. 295	23 382 334. 617	117 781 215. 903	91 607 690. 793	37	28

通过对实测包含 GPS 观测值的 1074 电文和包含 GLONASS 观测值的 1084 电文进行实验验证,证明了解码算法的正确性。同时也证明了 MSM 电文组在传输多系统多信号数据时的通用性。

```
D3 00 6D 43 C0 33 0B 62 FA 62 00 00 41 B8 00 00
00 00 00 00 20 40 00 00 7F FA 32 52 0D 0A 1A 02
6E 7F 79 EF 44 A7 6F FD 9D 16 3E 3B 99 1B 40 B8
3D 10 9D 01 1C 03 10 73 3F E9 A5 DB A3 E8 C8 49
B3 22 13 38 7D B4 0B FE 24 F8 44 F9 00 99 15 08
AB A0 19 A3 AF 79 15 A0 46 56 7B 84 FB FE ED 97
FF FF FF FF FF F8 00 6D FD 4F E7 3E 90 E3 1C AE
00
```

图 4 1084 原始电文

4 结束语

本文介绍了 RTCM3. 2 的电文内容、特点,重点介绍了与之前版本相比增加的 MSM 电文组,以及对 BDS 系统的支持情况等。根据协议内容,设计了电文的解码流程。并通过对华测 N71 接收机实时传输的 GPS 和 GLONASS RTCM 数据分别进行解码实验,得出了正确的解码结果,验证了算法的正确性和可靠性。

参考文献

[1] 宁津生. 全球导航卫星系统发展综述[J]. 导航定位学报,2013,1(1):3-8.

[2] RTCM. RTCM special committee no. 104. RTCM-standard 10403. 2 for differential GNSS[S]. Arlington; Radio Technical Commission for Maritime Services,2013.

[3] 史小雨,程鹏飞,蔡艳辉,等. 差分 GPS 数据通信格式 RTCM 3. 1 及其解码算法的实现[J]. 测绘通报,2012(6):4-6.

[4] 吴海玲,李作虎,刘 晖. 关于北斗加入 RTCM 国际标准的总体研究[J]. 全球定位系统,2014,39(1):27-33.

[5] 朱静然,潘树国,孔丽珍. DGPS 数据格式 RTCM3. 1 介绍及编解码方法[C]//第四届中国卫星导航学术年会电子文集,2013.

[6] 陈 振,王 权,秘金钟,等. 新一代国际标准 RTCM V3. 2 及其应用[J]. 导航定位学报,2014,2(4):87-93.

作者简介

于晓东 (1990—),男,硕士生,主要从事网络 RTK 相关算法的研究。

吕志伟 (1974—),男,副教授,主要从事卫星精密定位方向的研究。

王兵浩 (1989—),男,硕士生,主要从事网络 RTK、GNSS 融合相对定位相关方面研究。

The Introduction of DGNSS Data Communication Format
RTCM3. 2 and the Decoding Research on It

YU Xiaodong, LÜ Zhiwei, WANG Binghao, YU Heli, YAN Jianqiao
(College of Navigation and Aerospace Engineering, Information Engineering
University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The standard of RTCM SC-104 has been widely used in transmitting the data between analysis center and mobile stations. However, the traditional communication between analysis center and reference stations usually use the self-defining standard made by the GNSS receiver producer. The least version RTCM3. 2 was made to support the DGNSS data transmission. This paper introduced the message type, the added MSM, the main information packaged in the message, and the part related to the BDS. A practical coding and decoding method of converting GNSS observation data between binary data was proposed. The method is proved to be correct and effective.

Key words: DGNSS; RTCM3. 2; MSM; decoding; BDS