

## 差分数据通信格式 RTCM3.2 解码算法研究\*

李珊珊 杨 泳 徐开俊 吴佳益

(中国民航飞行学院 四川广汉 618307)

**摘 要:** RTCM SC-104 委员会制定的差分数据通讯标准是进行多系统数据融合、提供差分数据服务、实现 RTK 厘米级定位的关键和基础。针对最新的差分电文格式 RTCM3.2 版本的多信号信息组(Multiple Signal Message, MSM) 实时解码问题, 按照卫星信号标志量设计思想及数据分割原理, 以.net 基于面向对象的程序设计思路为基础, 提出 RTCM3.2 版本 MSM 类型电文的解码思路、流程及实现方法, 实现电文各字段的实时、完整提取。通过实测实验数据进行解码分析, 证明该方法的正确性和可靠性。

**关 键 词:** RTCM 差分数据 电文格式 多信号信息组 解码 数据分割

### Research on Differential Positioning Data Communication Format 3.2 Decoding Algorithm and Realization

Li Shanshan Yang Yong Xu Kaijun Wu Jiayi

(Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307 Sichuan China)

**Abstract:** The differential positioning data communication standards proposed by RTCM Special Committee SC-104 is the critical key and primary foundation of multi-constellation GNSS information fusion, differential data service and RTK cm level positioning implementation. To make latest RTCM3.2 message format compatible with previous versions and solve the analysis and decoding problem related with multi-GNSS multiple signal message, characteristics and algorithm were put forward based on net object-oriented programming technique. Decoding methods、Flowchart and implementation were presented against the RTCM3.2 version in corresponding to the design philosophy of satellite signal and the data division principle, finally messages were completely extracted in real time. The method is proved to be correct and consistent according to real-time observation data decoding and analysis.

**Keywords:** RTCM Differential data Message format Multiple signal message Decoding Data division

### 1 引言

随着各卫星导航系统的更新发展及应用范围的拓展延伸, 用户对 GNSS 定位的精度和可靠性的要求不断提高。采用差分定位技术可以极大满足 GNSS 系统高精度定位服务需求, 使用单频接收机即可以实时实现米级(测距伪码差分)或厘米级(载波相位差分)的定位精度, 是常用的增强技术, 得到越来越普遍的应用<sup>[1]</sup>。完整的差分 GNSS 系统由基准站、数据传输链和用户使用终端三部分构成, 在动态差分定位应用中, 用户使用终端与

基准站之间需要大量的差分电文传输, 因此数据传输链在差分系统起着关键性纽带作用。数据传输链的基本作用是将已知位置的差分基准站视界内的可见卫星形成的原始观测数据或改正数以某种标准数据传输协议传输给用户终端, 其中差分协议是数据链的重要组成部分, 是差分数据进行信息产生、存储和交换、流通的统一格式。目前, 局域差分系统(Local Area Differential GNSS, LA-DGNSS)协议包括 Trimble 公司提出的 CMR 协议和 RTCM SC-04 协议。CRM 协议传输数据量

\*中国民航飞行学院研究生创新科研项目(X2017-3), 2018 年中央高校教育教学改革专项(E20180301)

小,是 Trimble 公司针对 RTCM 格式的码发送率必须高于 4 800 b/s 这一不足而设计的用于 RTK 的定制差分格式标准,但目前只有天宝公司的设备才能播发和使用。RTCM SC-104 协议由海事无委会(RTCM)第 104 专门委员会制定的 DGPS 电文,已在国际上得到广泛认可和应用推广。

RTCM SC-104 委员会自 1983 年以来陆续推出各种版本的差分导航全球卫星系统(DGNSS)差分数据格式来确定数据传输过程中差分信息的产生、存储和交换协议<sup>[2]</sup>。SC-104 于 1985 年发布了 RTCM V1.0 版本的建议文件,随后在丰富的研究资料基础上大量试验,对协议版本不断修改升级;1990 年 1 月颁布 V2.0 版本,该版本提高了差分改正数的抗差性能,增大了可用信息量,差分定位精度由 V1.0 版本的 8-10 m 提高到 2-3 m,但该版本中只有伪距差分信息,没有载波相位差分信息;1994 年公布 V2.1 版本,该版本保持基本数据格式不变,增加几类支持实时动态定位(Real Time Kinematic, RTK)的新电文满足载波相位差分定位技术的需求,即 18-21 类电文;1998 年发布 V2.2 版本,该版本增加了 GLONASS 差分导航电文的支持;2001 年发布了同时支持码基和基于载波相位的 V2.3 版本,定义 23 和 24 类电文,使该类型电文的实时动态定位精度优于 5 cm。自推出 RTCM2.x 版本以来,该格式被广泛应用于测绘、运输、规划、施工、监测等多个领域应用程序中并取得很大的成功。但在使用过程中,RTCM2.X 版本暴露出一些明显的缺陷<sup>[3]</sup>,主要体现在奇偶检校模式、校验码之间不独立、带宽造成较大浪费、解码困难等,难以适应最新定位技术网络 RTK 及多模融合定位的发展要求。为克服这些潜在的缺陷,RTCM 委员会于 2004 年发布 V3.0 版本,该版本增加了用于网络差分改正数传输的电文格式,并采用智能化的数据传输减少启动时间,逐渐取代 RTCM2.x 版本成为接收机制造商所采用的通用标准;随后,于 2006 年公布的 RTCM3.1 版本通过增加 GPS 网络差分改正数、发布 GPS、GLONASS 信息卫星轨道参数、提供 Unicode 文本格式数据信息、预留部分用户自定义

信息格式等增强系统的精度、可靠性和扩展性,但该格式只能支持 GPS、GLONASS 的 L1、L2 频率信号并且只能容纳每个频率的一个信号,不能有效地扩展以兼容其它 GNSS 系统信号;因此,随着更多 GNSS 及其增强系统的投入运营,针对日益增多的卫星导航系统及多频的应用需求,2013 年又推出 RTCM3.2 版本,该版本不仅弥补了之前版本的缺陷,还提供了对北斗 BDS 系统的支持,并进一步增加和扩展了多种网络 RTK 信息,定义了包括 GPS、GLONASS、GALILEO 和 BDS 系统的多信号信息组(Multiple Signal Message, MSM)<sup>[4]</sup>,利用各个 GNSS 系统观测量的相似特性实现以统一的数据存放和发送,从而达到多系统信息高度融合。

目前,针对 RTCM3.2 版本公布的文献资料甚少,完全支持该标准的接收机相对较少,对该版本协议的编码、解码公开文献也不多。因此,本文重点对该格式下新增的 MSM 电文组进行研究,提出按位对其格式进行解析,采用面向对象的编码原则借助 Windows 下 Visual Studio 2010 环境下的 C#语言,实现 RTCM3.2 格式数据的解码和算法实现,并通过实测数据进行验证。

## 2 RTCM3.2 数据格式

### 2.1 RTCM3.2 版本标准参考模型

按照 RTCM SC-104 公布的版本标准<sup>[4]</sup>,RTCM3.2 版本协议采用 OSI(Open System Interconnection)标准参考模型进行定义,即包含应用层、表示层、传输层、数据链路层和物理层 5 个层面。

应用层讨论确定协议信息在不同用户终端的应用,在广播式差分数据服务的主要特征下,明确差分数据信息是由差分服务商提供,实现陆、海、空高精度、高动态、可靠的导航定位服务;表示层规定了消息、数据要素和数据定义,其信息是以数据集中发布、基于数据库形式设计,且电文以位为存储单位,有效减少了传输数据长度,但无法强制要求每个数据区占用整个字节,要求数据供应商对于最后没有用完的字节位补 0;传输层定义了发送或接受 RTCM3.2 信息的框

架结构，同时定义了传输的协议和校验方式，为了方便解码和编码，通常以二进制位形式来传输数据；数据链路层定义了信息在物理层面上编码和传输方式，如采用 NTrip、TCP/IP 协议；物理层没有给出具体定义和要求，一般视用户具体情况而定。对于编码和解码而言最重要的是表示层和运输层，因此本文重点介绍 RTCM3.2 格式的电

表 1 RTCM3.2 版本电文框架结构

引导字	预留字	消息长度	可变长度数据	CRC
8 bits	6 bits	10 bits	0~1023 bytes	24 bits
11010011	未定义 000000	以 bytes 为单位的 消息长度	具体数据内容	前面数据生成唯一 校验数据

表 2 RTCM3.2 版本 MSM 消息用途及长度计算

消息类型	数据字段	长度 (单位: bit)	用途
MSM1	伪距	$169+N_{sat}*(10+16*N_{sig})$	常规和高精度 DGNSS
MSM2	载波	$169+N_{sat}*(10+28*N_{sig})$	常规 RTK 模式
MSM3	伪距+载波	$169+N_{sat}*(10+43*N_{sig})$	
MSM4	伪距+载波+信噪比	$169+N_{sat}*(18+49*N_{sig})$	
MSM5	伪距+载波+多普勒+信噪比	$169+N_{sat}*(36+64*N_{sig})$	以完整 RINEX 格式保存观测值
MSM6	伪距+载波+信噪比 (高精度)	$169+N_{sat}*(18+66*N_{sig})$	扩展的高精度 RTK 模式，实时 网络数据流
MSM7	伪距+载波+多普勒+信噪比 (高精度)	$169+N_{sat}*(36+81*N_{sig})$	扩展高精度模式，传输完整 RINEX 格式观测值

2.3 RTCM3.2 多信号信息组 MSM

与 RTCM 之前版本中可变长度信息用分组及子类的表述方式不同，RTCM3.2 版本不仅保留之前版本各主要消息号及数据字段定义，同时为满足多卫星导航系统及多频的需求，版本又引入多信号电文组 MSM 对 GNSS 观测数据进行了统一组织。MSM 是 RTCM3.2 版本标准中的关键核心思想，能兼容原有格式中包含的各类差分 DGNSS/RTK 的信息，还能高效、实时地将 GNSS 系统的观测数据以标准统一格式呈现并传输，具有极强的通用型和扩展性，这种方式不仅适用于未来 GNSS 系统每颗卫星传输同样信号的充分发展运营阶段，也能够适用于现阶段各 GNSS 快速发展过程中不同卫星采用不同信号的过渡阶段，其诸多优点主要源于简洁的电文组数据块组织方法和科学的观测数据分割原理。

文框架、关键思想及算法实现。

2.2 RTCM3.2 版本电文框架结构

RTCM3.X 为了达到较高的数据传输完整率，一条标准的电文由一个固定的引导字 11010011、保留字、消息长度定义、一条可变长度消息和 24 bits 的周期冗余校验组成，具体信息结构框架如表 1 所示。

2.3.1 MSM 电文组

MSM 电文组由消息头(Message header)、卫星数据(Satellite Data)、信号数据(Signal Data)3 部分组成。其中，消息头包含了该条 MSM 信息的所有卫星和信号的基本信息，如消息编号、参考站信息、多系统标志位、卫星个数、历元时刻、钟差信息、卫星标志表 (Satellite mask)、信号标志表(Signal mask)、信号位图表(Cell mask)等内容，对于各类 MSM 消息其格式是固定的，详细可参见文献[4]；卫星数据和信号数据组成观测数据，卫星数据包含所有可见观测卫星的粗略观测值，字段存放顺序与消息头中卫星标志表中标志的卫星顺序相同；信号数据则包含所有卫星所有信号的精确修正值，字段存放顺序与消息头中信号标志表中标志位 1 位的信号顺序相同。这种以数据字段分块的方式与之前版本中以卫星信号分块的

方式大不相同,可以根据这些观测字段进行自由组合得到不同内容量和精度的 MSM 消息。目前,RTCM3.2 版本中已经定义的 MSM 消息有 7 种类型 MSM1-MSM7,各种类型具体的卫星数据格式和信号数据格式可以详细参见文献[4],归纳起来其用途及长度计算方法如表 2 所示,表中 Nsat 表示可见卫星个数, Nsig 表示卫星所有信号个数,其中 MSM6 和 MSM7 分别是 MSM4 和 MSM5 的升级版,包含相同的内容,但其精度更高。

### 2.3.2 MSM 观测数据分割原理

对于 MSM1-MSM5,以米为单位的完整的标准精度观测值构建方法如公式(1)所示:

$$\begin{aligned} Pseudorange(i) &= c / 1000 * (Nms + Rough\_range / 1024 + 2^{-24} * Fine\_Pseudorange(i)) \\ PhaseRange(i) &= c / 1000 * (Nms + Rough\_range / 1024 + 2^{-29} * Fine\_Pseudorange(i)) \end{aligned} \quad (1)$$

$$PhaseRangeRate(i) = Rough\_PhaseRangeRate + 0.0001 * Fine\_FineRangeRate(i)$$

对于 MSM6-MSM7,以米为单位的完整的高精度观测值构建方法如公式(2)所示:

$$\begin{aligned} Pseudorange(i) &= c / 1000 * (Nms + Rough\_range / 1024 + 2^{-29} * Fine\_Pseudorange(i)) \\ PhaseRange(i) &= c / 1000 * (Nms + Rough\_range / 1024 + 2^{-31} * Fine\_Pseudorange(i)) \end{aligned} \quad (2)$$

$$PhaseRangeRate(i) = Rough\_PhaseRangeRate + 0.0001 * Fine\_FineRangeRate(i)$$

在公式(1)、(2)中,某颗卫星 j 的粗略观测值对该卫星是唯一固定的,表示信号从卫星到接收机传播时间除以 1ms 后得到的整数部分,在解码过程中重新作为该卫星统一的基准构建观测数据,没有实际的物理意义<sup>[5]</sup>;而不同信号之间的精确修正值是不同的,由这两者之和构建完整的该卫星某种信号下的观测值。使用这种观测数据分割方法既能大大减少数据传输,又摒弃了以往版本中对观测数据采用“观测量分先后”的捆绑式策略,大大提高了数据结构和应用方式的灵活性,具有极强的实用性和扩展性,为后续增强版本中对 BDS 系统和 Galileo 系统数据信号的支持奠定理论基础。

### 2.3.3 MSM 解码流程

按照前文介绍的 RTCM3.2 版本电文的数据结构及编码方式,设计详细的算法解码流程,如图

在 RTCM3.2 版本 MSM 消息传输中,通过引入粗略观测值和精确改正值的概念将观测数据进行有效分割并依此进行高效传输。在 RTCM3.2 之前的版本中,差分数据格式进行数据压缩时通常是以 L1 观测量为基础,而其它观测值则是在此基础上构建,这种以某一观测量为中心的观测量数据构建思想在更多的导航系统和更多的新信号投入使用时已经不再适用,已经造成带宽大量的浪费<sup>[4]</sup>。针对这种情况,MSM 引入粗略观测值和精确改正值构建卫星信号的观测值,按照精度不同,观测值构建的公式略有差异。

1 所示。算法实现时采用面向对象的设计原则,以 Windows 操作系统平台下基于 .net 技术和 Visual Studio10 开发环境设计、开发 RTCM3.2 解码平台。

### 3 数据解析结果验证

为了验证本文给出的 RTCM3.2 差分数据格式理论和解码流程及算法实现的正确性,本文采用与四川九州集团导航事业部合作建立的单基站连续运行参考站 CORS 系统作为数据采集系统。该 CORS 系统建设如图 2 所示,兼容了 GPS/GLONASS/BDS 系统各频点信号,项目于 2017 年 9 月安装调试成功,有效覆盖半径 40km。本次实验以自建单基站 CORS 系统为基础,在有效作用范围内选取针对单基站 CORS 提供的差分数据问题展开研究。



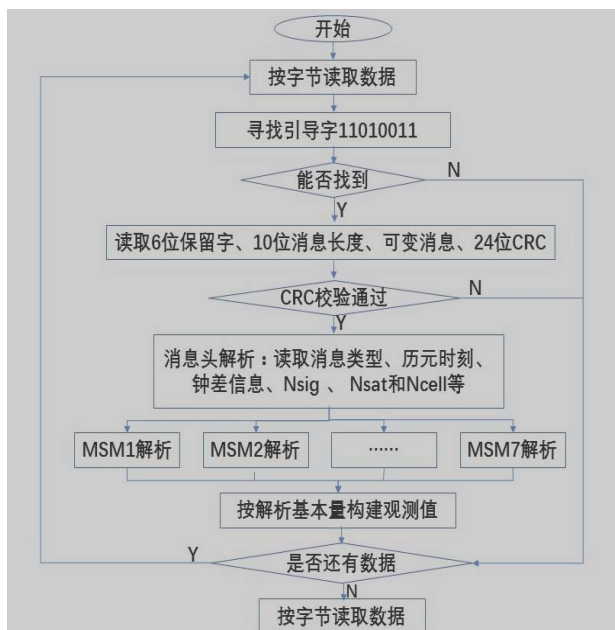


图1 RTCM3.2 MSM 解码流程图

表3 电文解码数据

卫星号	伪距(单位: m)		载波相位(单位: 周)		SNR1	SNR2
	1C	2P	1C	2P		
4	21973539.185	21973550.424	115478362.884	89980310.91	42	31
8	23303713.453	23303724.943	122460391.513	95425017.909	51	41
9	21305465.341	21305476.134	111959685.405	87250185.641	54	44
12	22684148.79	22684159.332	119214826.183	92894483.758	51	40
13	22087855.258	22087865.533	116075578.378	90451120.059	51	41
17	23184209.43	23184220.08	121842010.397	94938495.061	56	46
19	21992769.809	21992780.227	115579863.459	90055445.765	50	39
21	22622052.005	22622063.673	118891800.085	92642569.862	51	51
23	23164675.979	23164686.075	121732851.885	94856794.609	47	37
26	24341266.049	24341287.671	127920599.766	99673536.063	56	45

数据服务通过 CORS 基准站的测量型天线采集,在数据中心处理后以 RTCM3.2 格式差分数据通过 TCP/IP 网络方式向外播发,流动站通过差分型接收机接收,内容包括差分改正数和多系统信息 MSM。实验中,流动站采用高精度差分型 JZ-BD-R600 接收机进行数据采集,采样率为 0.5 秒,解码时同时保存 RINEX 格式观测数据与解码结果进行对比,通过两者的一致性验证算法的准确性。

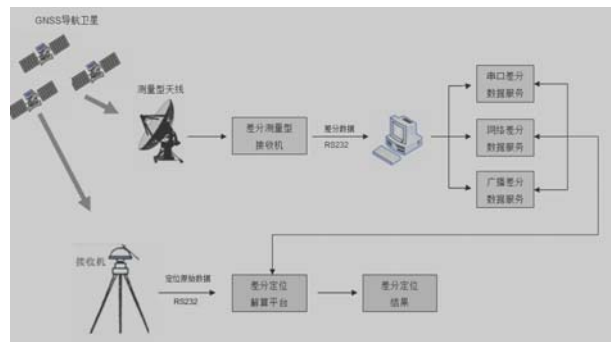


图2 CORS 站建设示意图

```

D3 00 A7 43 20 01 7A 45 88 36 00 00 08 CC 55 20 00 00 00 00
20 20 00 00 7F FF FA 4A 6A 3A 5A 4A 6A 4A 5A 6A 8A 5B 76 88
95 55 6A AA AD EE B2 26 62 FB FC E3 68 9E E5 53 FF E8 4B
42 9F 46 65 9A 00 38 7F 38 1E 82 DE 7E 3D 45 40 F6 43 33 1F
ED 44 45 5F 8E E4 EE 3F FE 4F 8F 88 87 77 66 65 33 28 29 36
3E 3F 4F 5E 58 59 6F 73 72 6E 6B 72 75 66 68 72 7E EF F3 3E
39 4F 42 41 48 FE F2 FB E6 E8 E9 93 96 66 65 55 58 5B 56 5E
53 FF FF FF FF FF FF FF FF FF FF 00 00 54 FE 74 ED 66 74
67 4F 17 65 3E 74 DF 2F 16 B0
    
```

图3 原始电文

差分数据在客户端采用 TCP 方式接收并以 16 进制存储于数据文件中,采用文中介绍的解码算法结算平台对多段原始电文进行解码,并将解码结果与接收机保存后得 RINEX 文件该历元的数据进行了对比,得出完全一致的结果,验证了算法的准确性。图 3 列出了某一时刻的原始电文观测值,消息为 GPS 的 MSM4 标准精度 1074 电文,解码结果如表 3 所示。

(下转第 73 页)

#### 4 结论和讨论

(1) 此次个例评估研究表明, 基于葵花-8 号卫星资料的 CINS 预报产品能够有效预报区域内的对流初生事件且预报准确率较高, 但有一定的空报率。

(2) 基于葵花-8 号卫星资料的 CINS 预报产品提前预报对流初生的时间平均为半小时, 结合葵花-8 号卫星资料高时空分辨率的特性, 该预报产品在民航气象预报业务工作中具有很大的可用性。

(3) 此次仅利用对流初生临近预报系统(CINS)做了个例的研究和分析评估, 后续期望能够利用该系统进一步做大范围、长时间的分析评估和开发利用。

(4) C波段雷达对云滴不很敏感, 但是毫米波天气雷达对云滴、雾滴反应明显, 考虑这种基于卫星资料的对流初生临近预报的思路是否能够

移植到雷达资料的二次开发应用中。

#### 参考文献

- [1] 寿邵文, 杜秉玉, 肖稳安等. 中尺度对流系统及其预报[M]. 北京: 气象出版社, 1993: 182-192
- [2] Mecikalski J R, Bedka K M. Forecasting convective initiation by monitoring the evolution of moving cumulus in anytime GOES imagery. Monthly Weather Review, 2006, 134: 49-78
- [3] 刘京华, 王彬, 韩雷, 王洪庆. 京津地区一次强对流天气的初生预警技术研究[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2012(1):42-46
- [4] 覃丹宇, 方宗义. 利用静止气象卫星监测初生对流的研究进展[J]. 气象, 2014(1):7-17
- [5] 李五生, 王洪庆, 王玉, 吴琼. 基于卫星资料的对流初生预报及效果评估[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2014(5):819-824

(上接第 69 页)

#### 4 结论

本文介绍了最新的差分电文格式 RTCM3.2 版本的多系统统一编码多信号信息组(下转第 73 页)电文实时解码问题, 重点介绍了其核心的电文格式、卫星信号设计思想及数据分割原理, 以.net 技术和 Visual Studio10 开发环境设计为基础, 提出 RTCM3.2 版本 MSM 类型电文的解码思路、流程及算法, 实现电文中各字段的实时、完整提取, 建立 RTCM3.2 解码平台, 并通过自建的单 CORS 系统实现的 RTCM3.2 MSM 广播差分信息对实测实验数据进行解码分析, 证明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):3-8
- [2] 张九宴, 刘晖, 黄其欢. 常用 GPS 载波相

位差分电文格式分析与比较[J]. 测绘信息与工程, 2003(5): 29-30

[3] 史小雨, 程鹏飞, 蔡艳辉, 李为乔. 差分 GPS 数据通信格式 RTCM3.1 及其解码算法的实现[J]. 测绘通报, 2012(6):4-6

[4] RTCM. RTCM special committee no.104. RTCM standard 104 3.2 for differential GNSS[S]. Arlington: Radio Technical Commission for Maritime Services, 2013

[5] Boriskin, A., Kozlov, D. & Zyryanov, G. The RTCM Multiple Signal Messages: A New Step in GNSS Data Standardization, Proceedings of the 25th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2012), Nashville, TN, Sep, 2012, pp 2947-2955