

# 基于 EGNOS 开放服务的接收机 关键技术分析

王 军<sup>1</sup> 董绪荣<sup>2</sup> 李晓宇<sup>1</sup> 帅玮祎<sup>1</sup> 贾蕊溪<sup>1</sup>

(1. 装备学院研究生管理大队 北京 101416; 2. 装备学院航天装备系 北京 101416)

**摘 要:** 星基增强系统(SBAS)中生命安全服务不仅能提高定位精度,也能改善系统完好性,目前在民航系统中已经进行相关的应用研究。RTCA DO 229D 文件中规定了 SBAS 接收机的性能标准,对于安全性要求较高的民航用户根据这个标准制定了相应接收机生产规范和指南。但对于安全性要求较低的用户接收机还没有形成相应的规范。除生命安全服务外,EGNOS 自 2009 年起就提供了开放服务(OS),接收机制造商也生产了相应的接收机产品,但存在接收机设计欠佳的缺点。主要研究基于开放服务的接收机设计的关键技术,为 GNSS 接收机制造商如何利用 EGNOS 广播信息来提高 OS 的定位精度制定一套明确的标准,同时,也为北斗星基增强系统接收机制造商提供了一定的借鉴意义。

**关键词:** 星基增强系统; EGNOS 开放服务; 地球静止卫星; 误差修正项

**中图分类号:** P228.4 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.604

## Receiver key technology analysis based on EGNOS open service

Wang Jun<sup>1</sup> Dong Xurong<sup>2</sup> Li Xiaoyu<sup>1</sup> Shuai Weiyi<sup>1</sup> Jia Ruixi

(1. Department of Graduate Management, Equipment Academy, Beijing 101416, China;

2. Department of Space Equipment, Equipment Academy, Beijing 101416, China)

**Abstract:** SBAS systems for safety of life (SoL) applications enhance the accuracy but above all improve the integrity. The related research has applied for the civil aviation at present. The RTCA DO 229D provides the performance standards of the SBAS receiver. Civil aviation requiring stringent safety formulates the corresponding guidelines of the receiver according to the standards, but users for lower security requirements has not formed a corresponding receiver standards. Besides the SoL service, the EGNOS open service (OS) has been available since 2009. Since then most manufacturers have partially followed the standards for the design of their products, but some implementations may not be optimal in some cases. According to the key technology analysis based on EGNOS open service receivers, the objective of this paper is to produce set of clear guidelines for GNSS receiver manufacturers on how to properly make use of the EGNOS broadcast messages to improve their positioning accuracy measurements for open service. Meanwhile the receiver manufacturers of BDSBAS have certain reference significance.

**Keywords:** satellite based augmentation systems; EGNOS open service; geostationary satellites; error corrections

### 1 引 言

星基增强系统由大量分布广泛的参考站组成,用以监测 GPS 和其他 GNSS 卫星的运行状态。参考站发送收集的 GPS 状态数据到主控站,主控站计算每一个被监测的卫星的差分修正信息和完好性信息。这些信息通过地面上行注入站上传到 GEO 卫星,GEO 卫星将这些信息广播

给用户终端。目前,SBAS 系统主要包括欧洲的地球静止导航重叠服务(EGNOS)、美国的广域增强系统(WAAS)、俄罗斯的差分校正和监测系统(SDCM)、日本的多功能星基增强系统(MSAS)和印度的 GPS 辅助静地轨道增强导航系统(GAGAN)。

从系统性能看,EGNOS 代表了当前广域增强系统的最高水平,无疑是当今最为成功的卫星增强系统之

一,其管理体制、运作模式、评价体系、推广合作的经验以及与已有技术的结合使用值得我们学习借鉴。近几年来,对于 EGNOS 系统生命安全应用的研究越来越多,例如航空用户不仅广泛地依赖于 EGNOS 系统提供高精度的定位,最为重要的可以使用 EGNOS 系统的完好性信息。根据 RTCA DO 229D 标准<sup>[1]</sup>,基于 EGNOS 生命安全应用的接收机已经被设计和制造。RTCA DO 229D 标准是被国际民航组织制定并且仅仅适用于对安全性要求很高的航空用户。然而,对于安全性要求不高的接收机还没有类似的标准存在,使其不用像航空用户那样需要严苛的算法。本文的研究目标是为安全性要求不高的接收机制造商如何更好地利用 EGNOS 广播星历制定一套相配套的实施方案。具体研究内容包括:

1)通过分析 SoL 规范以及市场上具有 EGNOS OS 功能的接收机,来确定 EGNOS OS 接收机的候选实施方案

和算法。

2)EGNOS OS 接收机原型样机的开发与测试。原型样机要包含上一步确定的候选实施方案和算法,可以同时处理 RINEX 文件和 EMS 文件,并独立进行 EGNOS OS 算法的测试。

3)针对定位精度、可用性、算法的复杂性以及其他性能指标,使用样机对候选的实施方案和算法进行测试。此项测试活动在欧洲不同的地区采用多个接收机进行。

## 2 EGNOS 系统和 EGNOS 开放服务

EGNOS 主要由地面部分和空间部分组成,地面部分包括 37 个测距完好性监测站(RIMS)、4 个主控站、6 个上行注入站、EGNOS 广域通信网,以及服务运行单元(SOU)和服务供应单元(SPU)<sup>[2-3]</sup>。站点分布如图 1 所示。

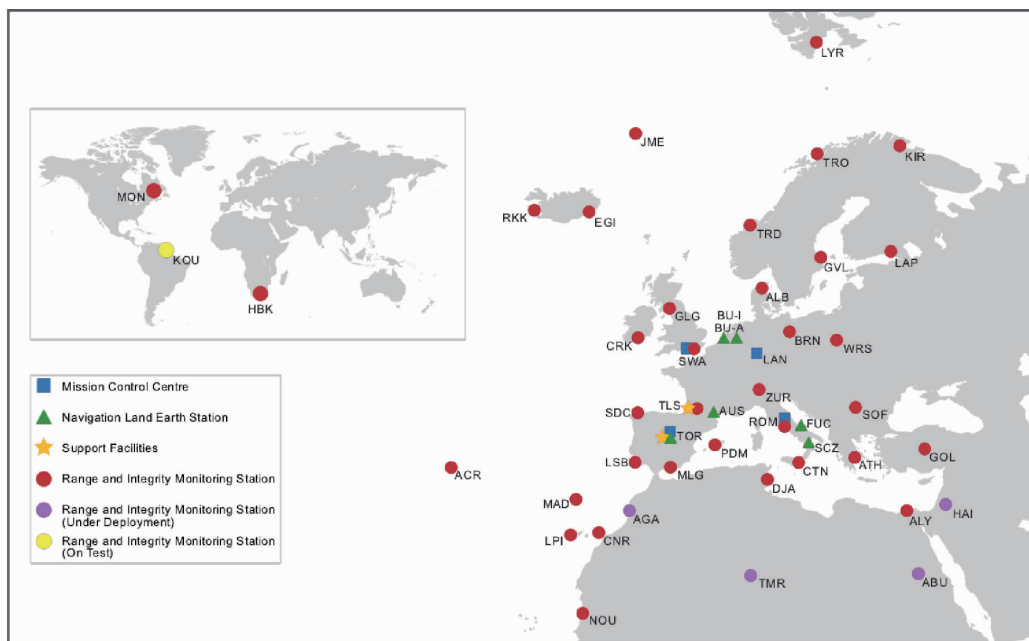


图 1 EGNOS 地面站点分布

EGNOS 的空间部分由 3 颗 GEO 卫星组成,其参数如表 1 所示。

表 1 EGNOS 系统中 CEO 卫星

卫星名称	伪噪声码代号	轨道位置	运行状态
INMARSAR AOR-E	PRN 120	15.5 W	工作
INMARSAT IOR-W	PRN 126	25.0 E	测试
ARTEMIS	PRN124	21.5 E	工作

EGNOS 主要提供 GPS 信号的差分修正信息和完好性信息,服务范围为欧洲区域。EGNOS 服务类型包

括:开放服务(OS),即本文所介绍的并可以免费利用的用户;生命安全服务(SoL),为需要履行生命安全职责的民航用户提供差分修正项和完好性信息;商业数据访问服务(CDD),为需要高性能的商业和专业用户提供服务<sup>[4-5]</sup>。

EGNOS 误差修正项可以分为 3 类:快变修正项(FC),慢变修正项(SC)和电离层修正项(IC)<sup>[6]</sup>。EGNOS 修正项使用一套预定义的导航电文,包含 64 个电文类型,目前定义了 20 个电文类型。其中 18 条被 EGNOS 所使用。EGNOS 的电文类型<sup>[7]</sup>如表 2 所示。

表2 EGNOS 电文类型

电文类型	内容	说明
0	保留	用于 EGNOS 测试
1	PRN 标识	卫星号
2~5	快变修正数	顺序播发 13 颗卫星的快变修正数, Type2 为 1~13 号星的修正数, Type3 为 14~26 号星的修正数, 以此类推
6	完好性信息	所有卫星的完好性信息(误差范围, UDRE)
7	快变修正数的退化因子	快变修正数随时间变化的退化参数
9	GEO 导航电文	GEO 卫星星历(X, Y, Z, Time)
10	非快变修正数退化因子	其他修正数(电离层, 慢变修正数, 伪距变化率, GEO)随时间变化的退化参数
12	EGNOS 网络时间和 UTC 时间	GPS 周计数和周内秒计数, 与 UTC 的时间偏差
17	GEO 卫星历书	包括 3 颗 GEO 卫星的历书
18	电离层网格 IGP 标识	显示每个分带(全球 9 个分带) IGP 活跃点
24	混合快变/慢变修正数	与卫星相关误差, 包括 1 组 6 颗卫星的快变修正数和 2 颗卫星的慢变修正数
25	慢变修正数	2~4 颗卫星的慢变修正数, 包括误差变化率。
26	电离层延迟修正数	提供每个分带中 15 个 IGP 的电离层延迟修正数和 GIVE
27	EGNOS 增值服务信息	在 EGNOS 的重点服务区内增加 UDRE 修正信息
63	空帧	无内容

所有的能够接收 EGNOS 信号和数据的接收机都能够免费的利用 EGNOS 的差分修正信息。相比于单独的 GPS, EGNOS OS 提高了定位精度<sup>[8]</sup>。EGNOS 开放服务的最小精度指标如表 3 所示。

表3 EGNOS 开放性服务的最小定位精度

精度	定义
水平方向优于 3 m	最差用户位置水平方向 95%置信区间二维位置误差
垂直方向优于 4 m	最差用户位置垂直方向 95%置信区间一维位置误差

EGNOS OS 的接收机应该具有以下功能: 利用 GEO 卫星的测距功能, 解码并应用卫星钟差修正项、卫星星历修正项和电离层延迟修正项, 使用 EGNOS 完好性告警信息, 通过时间偏移参数确定统一的时间基准。同时可以处理以下的电文类型(MT): MT1, MT2-MT5, MT6, MT24, MT25, MT18, MT26。现有的 EGNOS 系统中地球静止卫星不具有测距功能, 如果将来这个功能能够使用, 那么也需要处理 MT9 和 MT17 电文类型。

### 3 EGNOS OS 接收机研究现状分析

最初 SBAS 标准的制定是为了民用航空领域的应用。因此, 能够处理 SBAS 信息的接收机也一直应用于民用航空领域。这意味着 SBAS 接收机需要一整套性能指标和实施方案来确保所提供位置的完好性<sup>[9]</sup>。虽然这些标准被证明在民航领域极具价值, 但是在其他领域的直接应用效果却不太明显。主要目的是借鉴

SBAS 标准的经验, 探索基于 EGNOS OS 接收机关键技术的应用标准。

最初为民航应用划分的这些标准不能直接应用到非生命安全, 必须找到其他的方法来实现 EGNOS OS。适当的选择并有效地利用这些修正项是当前研究的主要内容。

### 4 候选的实施方案

参考 SBAS 标准的制定, 针对 EGNOS OS, 确定 4 个方面的研究内容:

- 1) 选择合适的修正项组合;
- 2) 新的超时值推导;
- 3) 混合使用校正和未校正的卫星;
- 4) 电离层内插法。

#### 4.1 选择合适的修正项组合

EGNOS 的误差修正项以快变修正项(FC), 慢变修正项(SC)和电离层延迟修正项(IC)的形式表示。根据 SBAS 的标准, 不同的修正项组合可能适用于不同的设备。例如, 使用 EGNOS 的快变修正项和慢变修正项, 并且使用 GPS 的电离层延迟代替 EGNOS 的电离层修正项。

当使用全部 EGNOS 误差修正项时能够获得最佳的性能, 选择不同组合的 EGNOS 修正项将获得不同的性能, 下一节将验证几种修正项组合, 并将结果进行分析比较。

#### 4.2 超时间隔的选择

RTCA DO 229D 文件中给出了一套超时间隔的定

义,超时间隔从消息接收的结束起算。超时间隔是导航类型的函数,超出时间间隔,不能使用误差修正项。虽然在航空设备中也定义了超时间隔,但它并不适合于所有应用<sup>[10]</sup>。

另外,RTCA DO 229D文件中声明误差修正项在超时周期之后禁止使用,但可以根据不同性能需求设置不同的超时间隔。例如一些非航空应用的制造商在它们的接收机中设置一系列的超时间隔。在民航领域中接收机使用RTCA DO 229D文件中定义的超时间隔,其他的接收机允许使用RTCA DO 229D文件中不存在的超时值。对于EGNOS OS来说,在不影响精度的情况下,应该尽可能的延长超时值,增加EGNOS OS的可用性。在下一节中,将研究延长超时值的方法。

超时间隔的目的是避免使用未更新和可能降低定位解的误差修正项。因此,强烈建议EGNOS OS接收机制造商应该根据具体的应用设置相应的接收机的超时值。一般来说,对生命安全要求不高的应用就可以适当的延长超时值。适当的延长超时值,是为了在保证定位精度的前提下,以最大限度的提高EGNOS OS的可用性。

4.3 混合使用校正和未校正的卫星

在正常情况下,在EGNOS的覆盖范围内,所有的卫星都应该有可利用的EGNOS修正项。然而,可能因为一些原因一些卫星没有这些修正项。如果在可视范围内没有修正项的卫星数量比较多,那么由EGNOS解算的定位、测速和授时(PVT)比仅有GPS要糟糕的多。这种情况极有可能发生在EGNOS覆盖区域的边缘,由于可视卫星数量极少,EGNOS的定位解算DOP值较高。

在这样的情况下可以采取以下的措施:

- 1)仅利用GPS进行定位;
- 2)混合使用校正和未校正卫星的进行定位解算。

在这种极端的情况下,如果想要混合使用校正和未校正的卫星进行定位解算,就必须在接收机导航模型中统一EGNOS和GPS两者之间的时间基准,并附加未知的时间偏移参数。

4.4 电离层内插法

在EGNOS系统中,获得电离层修正项的方法非常的严格。当视线方向电离层穿透点(IPP)周围存在三、四个电离层网格点(IGP)时,可以计算电离层偏移延迟估计和模型方差。

为了提高精度和可用性,提出3种实施方案和算法:

1)当EGNOS电离层修正项不可用时,使用EGNOS的FC+SC组合与GPS的电离层模型混合方案,避免仅用GPS进行定位。

2)即使超时值结束之后,仍然使用以前的电离层修正项。

3)通过EGNOS提供的IGPs的偏移延迟和模型方差计算值,内插推算IGPs的值,提高未监测的网格的可用性。

5 实验结果

利用接收机样机对上述候选实施方案进行验证,得到初步的实验结果。接收机样机同时处理RINEX观测值文件和EMS误差修正项验证方案性能。如图2所示为EGNOS接收机样机的接口。



图2 EGNOS OS接收机样机接口

接收机样机输出结果包括3类:

- 1)GPS LSA(least squares algorithm 最小二乘算法)的PVT;
- 2)GPS+全部EGNOS修正项的PVT;
- 3)GPS+EGNOS的快变,慢变和电离层修正项的任意组合的PVT。

采用荷兰欧洲空间技术中心的欧洲导航实验室提供的EGNOS PRN 120卫星数据,使用加权最小二乘定位算法对不同EGNOS修正项组合的定位精度进行分析,结果如表4所示,对单GPS定位精度的改善程度如表5所示。

表4 不同组合的修正项在95%置信区间内水平和垂直定位精度 m

组合序号	水平方向	垂直方向	快变修正	慢变修正	电离层修正	GPS电离层改正
1	1. 18	2. 03	✓	✓	✓	×
2	1. 64	2. 77	✓	✓	×	×
3	2. 69	4. 40	×	✓	✓	×
4	1. 55	2. 41	×	×	✓	×
5	1. 94	3. 70	×	×	×	✓

表5 单GPS情况下的精度改善程度

组合序号	%					
	水平方向上	垂直方向上	快变修正	慢变修正	电离层修正	GPS电离层改正
1	39	45	√	√	√	×
2	15	25	√	√	×	√
3	-39	-19	×	√	√	×
4	20	35	×	×	√	×

从表中可以看出,采用全部的 EGNOS 修正项(FC+SC+EIC)定位精度最高,同时可得:

1)除组合3外,使用 EGNOS 修正项会提高定位精度。所有使用 EGNOS 修正项的定位精度(除了组合3)都比仅有 GPS 提供的定位精度高。

2)采用 SC 无 FC 组合会降低定位精度,这说明 FC 和 SC 应该同时使用。

3)仅仅采用 EGNOS 轨道和钟差修正项(FC+SC)或者 EGNOS 电离层修正(EIC)仍能提供比仅有 GPS 更高的定位精度。而且,EIC 在改善定位精度的贡献大于仅有 FC+SC 的情况。

## 6 结论

现在市面上的 EGNOS OS 接收机主要是根据 RTCA DO 229D 标准由生产商做了部分改进。为了合理利用 EGNOS 增强信息,本文通过分析了 EGNOS 开放服务接收机关键技术,提出了一套如何实现 EGNOS OS 功能的接收机标准。并采用接收机样机对不同方案的定位精度进行测试分析。结果表明,相比于仅有 GPS 进行定位的情况下,采用 EGNOS 修正项组合会在一定程度上提高接收机的定位精度,但部分 EGNOS 修正项需要配套使用。另外,与安全性要求较高的航空用户接收机相比,EGNOS OS 接收机具有算法更加简单、实现更加容易、信号质量要求较低、设备成本低廉的优势,更加有利于扩展一般的用户群体使用 EGNOS 系统。

为了进一步验证候选实施方案和算法,下一步将进行混合使用校正/未校正的卫星和电离层内插法的验证,在保证系统精度的前提下进一步提高系统的可用性。

应用是北斗系统建设的出发点和落脚点,卫星导航应用只局限于人们的想象力。做好北斗系统的应用推广和产业化,加强卫星导航增强系统建设,在做好地基增强系统建设的同时,积极推进星基增强系统(SBAS)论证和实施。同时,借鉴本文介绍的基于 EGNOS 开放服务接收机关键技术的经验,打造北斗系统高精度服务优势。

## 参考文献

- [1] RTCA DO 229D Minimum operational performance standards for GPS WAAS Airborne Equipment. RTCA [J]. Inc., Washington, DC, 2006.
- [2] JIANG D, SHAN Y, WANG D Y, etc. Research on magnetic levitation absolute vibration measurement method in vehicles[J]. Instrumentation, 2014, 1(2): 38-49.
- [3] 樊多盛,施韶华,李孝辉. 基于 GPS 接收机的铷原子钟驱动方法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(10): 980-985.
- [4] 闫利军,连帅,高志远. 基于北斗和 GPS 导航系统的电离层延迟仿真分析[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(7): 73-75, 88.
- [5] 杜娟,马辉,姚飞娟,等. 北斗高精度兼容接收机精度测试与分析[J]. 电子测量技术, 2013, 36(5): 97-100, 104.
- [6] Rachid ElAssir. 全球导航卫星系统及其广泛应用[J]. 国外电子测量技术, 2013, 32(7): 1-5, 9.
- [7] 伍洪俊,张辉,庄儒耀,等. 基于速度数据的 GPS 时间延迟精确测量方法[J]. 电子测量技术, 2014, 37(11): 106-108.
- [8] 唐达,苏亮亮,岳前进. 基于 DGPS 的海洋平台运动轨迹测量装置研究[J]. 电子测量技术, 2013, 36(6): 20-24.
- [9] 涂刚毅,金世俊,祝雪芬,等. 基于改进粒子滤波算法的 GPS 非高斯伪距误差修正[J]. 电子测量与仪器学报, 2009, 23(6): 24-28.
- [10] 怀洋,邵琼玲,路振民. 北斗/GPS 混合定位模块 UM220 应用研究[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(3): 76-79.

## 作者简介

王军,1989 年出生,硕士研究生,主要研究方向为卫星导航定位技术。  
E-mail: 42199718@qq.com