

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.02.021

引用格式:张春海,赵晓东,李洪涛.印度卫星导航系统概述[J].电讯技术,2014,54(2):231-235.[ZHANG Chun-hai,ZHAO Xiao-dong,LI Hong-tao.Overview of Indian Satellite Navigation System[J].Telecommunication Engineering,2014,54(2):231-235.]

印度卫星导航系统概述*

张春海**,赵晓东,李洪涛

(北京卫星导航中心,北京 100094)

摘要:详细介绍了印度 GPS 辅助 GEO 增强导航系统(GAGAN)和印度区域导航卫星系统(IRNSS 系统)的星座组成、信号体制、导航电文、地面系统以及发展现状,分析了印度卫星导航系统的发展计划。相关内容对我国卫星导航系统的发展建设及应用具有重要的参考意义。

关键词:GPS 辅助 GEO 增强导航系统;印度区域导航卫星系统;发展计划

中图分类号:TN967.1 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2014)02-0231-05

Overview of Indian Satellite Navigation System

ZHANG Chun-hai,ZHAO Xiao-dong,LI Hong-tao

(Beijing Satellite Navigation Center,Beijing 100094, China)

Abstract:The constellation, signal structure, navigation message, ground facilities of India's GPS Aided GEO Augmented Navigation (GAGAN) and India Regional Navigation Satellite System (IRNSS) are introduced in detail. The last development and future program are also given as a reference. The related content in this paper will be an important reference to the development and application of GNSS in China.

Key words:GPS aided GEO augmented navigation system;India regional navigation satellite system;development plan

1 引言

卫星导航系统(GNSS)能够为地球表面和近地空间的广大用户提供全天时、全天候、高精度的定位、导航和授时服务,是拓展人类活动、促进社会发展的重要空间基础设施。卫星导航正在使世界政治、经济、军事、科技、文化发生革命性的变化^[1]。2012 年 12 月,中国“北斗”卫星导航系统正式服务运行,成为继美国 GPS/WAAS、俄罗斯 GLONASS 后的第三个正式服务的卫星导航系统。另外,欧盟 GALILEO/EGNOS 系统、日本 QZSS/MSAS、印度 IRNSS/GAGAN 等系统也在建设中^[2-4]。多个卫星导航系统和增强系统的并存,已经打破美国 GPS 卫星导航系统的垄断局面,在民用领域形成百家争鸣,更好地为全球民用用户提供更精确、更安全的服务。

在印度,主要有印度空间研究组织(India Space

Research Organization, ISRO)和印度机场管理局(Airports Authority of India,AAI)联合组织开发的两个系统:一是 GPS 辅助 GEO 增强导航系统(GPS Aided Geo Augmented Navigation,GAGAN),它是印度建设的 GPS 星基增强系统,由印度空间研究组织和印度机场管理局共同实施,系统建设的目的是在印度提供满足民用和航空应用的精度和完好性要求的星基增强服务;二是印度区域导航卫星系统(India Regional Navigation Satellite System,IRNSS),由印度空间研究组织(ISRO)组织实施,它是一个独立的区域导航系统,可以在印度领土及周边 1 500 km 范围内提供定位精度优于 20 m 的服务。IRNSS 系统提供 SPS(标准定位服务)和 RS(限制服务)两种服务。

本文详细介绍了印度 GAGAN、IRNSS 两个系统

* 收稿日期:2013-11-14;修回日期:2014-01-28 Received date:2013-11-14;Revised date:2014-01-28

** 通讯作者:stevenznuds@sina.com Corresponding author:stevenznuds@sina.com

的星座组成、信号体制、导航电文格式以及地面站组成等,对全面了解印度导航系统的发展具有重要的参考价值。

2 星座组成

印度卫星导航系统的发展分为两部分,其中

GAGAN 系统为美国 GPS 系统的区域增强系统, IRNSS 系统为印度独立建设的区域定位系统。根据印度方面向我方提供的参考假设文件(RAD),其 IRNSS/GAGAN 系统的星座组成如表 1 所示,表中为截止 2013 年 11 月的指标。

表 1 印度 IRNSS/GANGA 系统星座组成

Table1 Constellation parameters of India's IRNSS/GAGAN system

系统	星座组成		偏心率		轨道倾角/(°)		轨道半径/km	
	GSO	IGSO	GSO	IGSO	GSO	IGSO	GSO	IGSO
IRNSS	3 颗 GSO 卫星, 分别位于 131.5°E、83°E、32.5°E	4 颗 IGSO 卫星, 分布在两个轨道面上, 升交点分别位于 55°E、111.75°E	0	0	0	29	42,164.2	42,164.2
GAGAN	3 颗 GSO 卫星: GSAT-8 (55°E)、GSAT-10、(83°E)、GSAT-15(93°E)		0		0		42,164.2	

IRNSS 系统空间段由 7 颗卫星组成,3 颗 GSO 卫星分别位于东经 32.5°、东经 83°和东经 131.5°;4 颗 IGSO 卫星轨道倾角为 29°,升交点分别位于东经

55°、111.75°,IRNSS 星座在 ECEF 坐标系中的星下点轨迹如图 1 所示。

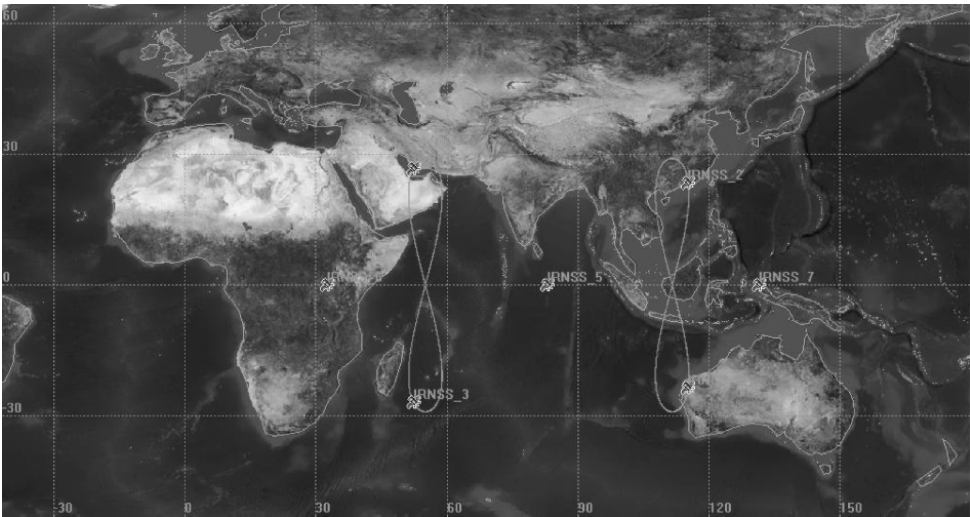


图 1 印度 IRNSS 系统星座组成图
Fig. 1 Satellite constellation of India's IRNSS system

3 信号体制

3.1 GAGAN 系统

GAGAN 是印度建设的 GPS 星基增强系统,由印度空间研究组织和印度机场管理局共同实施,系统建设的目的是在印度提供满足民用和航空应用的精度和完好性要求的星基增强服务。GAGAN 的空间信号覆盖整个印度大陆,能为用户提供 GPS 信息

和差分改正信息,用于改善印度机场和航空应用的 GPS 定位精度和可靠性,是一个典型的 GPS 星基增强系统(SBAS)。

GAGAN 系统的信号体制与 GPS/WAAS 保持高度一致,其使用的扩频码也是和 GPS/WAAS 同一码组,并且是向美国国防部申请授权得到的。GAGAN 系统的详细信号特性如表 2 所示,表中为截止 2013 年 11 月的指标。

表 2 GAGAN 系统信号特性		
Table 2 Signal parameters of GAGAN system		
参数	L1 频段	L5 频段
中心频点/MHz	1575.42	1176.45
调制方式	BPSK	BPSK
码速率/(Mchip/s)	1.023	10.23
数据/符号速率/(b/s)	250/500	250/500
扩频码周期/ms	1	1
最小接收信号功率/dBW	-159.35	-159.44
最大接收信号功率/dBW	-154.13	-154.16

3.2 IRNSS 系统

IRNSS 由印度空间研究组织 (ISRO) 实施,IRNSS 系统是一个独立的区域导航系统,可以不依靠 GPS 为印度领土的用户提供独立的导航定位服务。空间卫星采用 3 个频段作为载波:C 频段、S 频段和 L 频段。其中 C 频段频率主要用于测控,使用 L5 频段和 S 频段发射卫星下行导航信号,中心频点分别为1 176.45 MHz、2 492.028 MHz,SPS 服务采用 BPSK-R(1)调制,RS 服务采用 BOC(5,2)调制,分为导频和数据两个通道^[5]。其详细的信号参数分别如表 3 和表 4 所示,表中为截止 2013 年 11 月的指标。

表 3 IRNSS 系统 L5 频段信号特性			
Table 3 Signal parameters of IRNSS system L5 band			
参数	SPS	RS	
		数据	导频
载波频率/MHz		1176.45	
调制类型	BPSK	BOC _s (5,2)	
码速率/(Mchip/s)	1.023	2.046	2.046
扩频码类型	Gold 序列	保密	保密
扩频码周期/ms	1	保密	保密
数据/符号速率/(b/s)	25/50	25/50	NA
传输带宽/MHz		24	
最小接收信号功率/dBW	-159.30	-159.30	-156.30
最大接收信号功率/dBW	-153.69	-153.69	-150.69

表 4 IRNSS 系统 S 频段信号特性			
Table 4 Signal parameters of IRNSS system S band			
参数	SPS	RS	
		数据	导频
载波频率/MHz		2 492.028	
调制类型	BPSK	BOC _s (5,2)	
码速率/(Mchip/s)	1.023	2.046	2.046
扩频码类型	Gold 序列	保密	保密
扩频码周期	1 ms	保密	保密
数据/符号速率/(b/s)	25/50	25/50	NA
传输带宽/MHz		16.5	
最小接收信号功率/dBW	-162.8	-162.8	-159.8
最大接收信号功率/dBW	-157.0	-157.0	-154.0

图 2 为 IRNSS 系统信号的功率谱密度(PSD)。

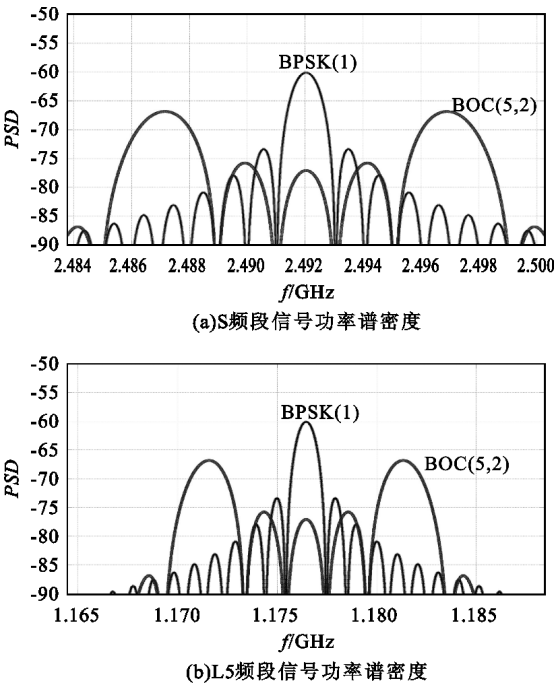


图 2 IRNSS 系统信号功率谱密度
Fig.2 PSD of IRNSS signals

4 导航电文

4.1 GAGAN 系统

为了确保所有空基增强系统(SBAS)的互操作性,国际民航组织(International Civil Aviation Organization,ICAO)标准与建议书行动组(Standards and Recommended Practices,SARPs)制定了 SBAS 系统的技术标准,以保证机载设备可以接收 WAAS /EGNOS /MSAS /GAGAN 等不同系统的信号,印度 GAGAN 系统的导航电文设计也严格遵循这一规范,因此其电文格式可参考美国 WAAS 系统的接口控制文件^[6]。

4.2 IRNSS 系统

IRNSS 的导航电文由帧、子帧组成,其中一个帧包含 4 个子帧,每个子帧的长度为292 b,经过 FEC 编码后的长度为584 b,加上16 b的同步头,每个编码后的子帧长度为 600 b,一个主帧的长度为 2 400 b,按照50 b/s的符号速率传输,传输一个主帧所需要的时间为48 s。4 个子帧中,第 1、2 子帧为固定格式,用于传输历书和钟差参数,第 3、4 子帧为信息格式。IRNSS 系统帧结构如图 3 所示。

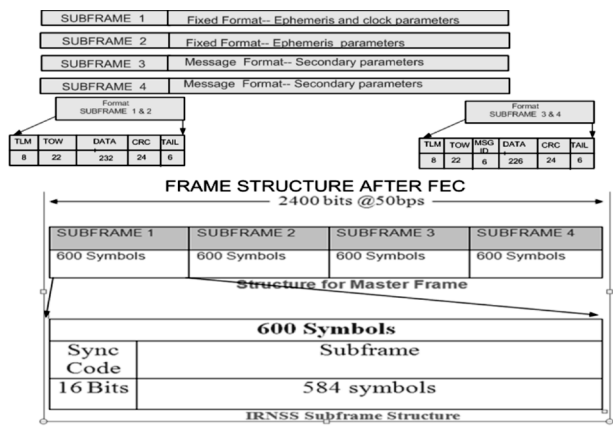


图3 IRNSS 系统帧结构
Fig.3 Frame structure of IRNSS system

5 地面系统

5.1 GAGAN 系统

GAGAN 地面系统由主控站 (Master Control Center, INMCC)、上行注入站 (Indian Land Uplink Stations, INLUS)、参考站 (India Reference Stations, INRES) 和通信链路 (Communication links) 组成, 如图 4 所示。

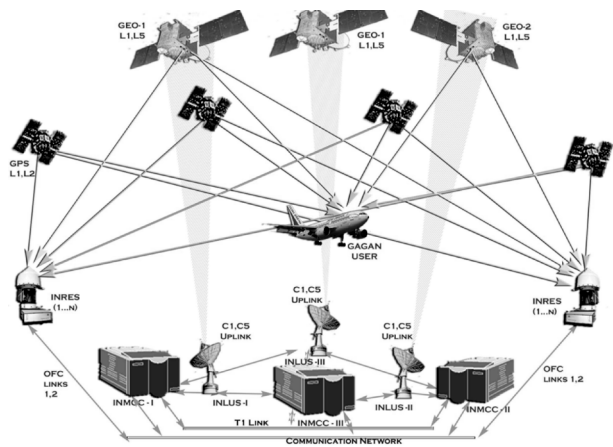


图4 GAGAN 地面系统结构图
Fig.4 Structure of GAGAN system ground segment

GAGAN 系统 3 个地面主控站分别对应 3 颗 GEO 卫星, 所有参考站的数据都通过通信链路传输到主控站进行结算, 并由主控站生成差分改正信息, 通过上行注入站 (INLUS) 分别注入 3 颗卫星。GAGAN 卫星载荷采用透明转发的工作机制, 因此要生成 L1、L5 两个频段的差分信息, 需要上行注入站使用 C1 (中心频点 6 715.42 MHz)、C5 (中心频点 6 676.45 MHz) 两个频段与卫星之间建立馈线链路^[7]。

5.2 IRNSS 系统

IRNSS 系统地面段包括 9 个卫星控制地球站 (IRNSS Satellite Control Earth Stations, SECS)、2 个导航中心 (Navigation Center, INC)、2 个卫星控制中心 (Satellite Control Center, SCC)、17 个测量与完好性监测站 (Range & Integrity Monitoring Stations, IRIMS)、2 个时间中心 (Network Timing, IRNWT)、4 个 CDMA 测距站 (CDMA Ranging Stations, IRCDR)、2 个数据通信网 (Data Communication Network, IRDCN) 以及 1 个激光测距站 (Laser Ranging Station, LRS) 等^[8], 如图 5 所示。

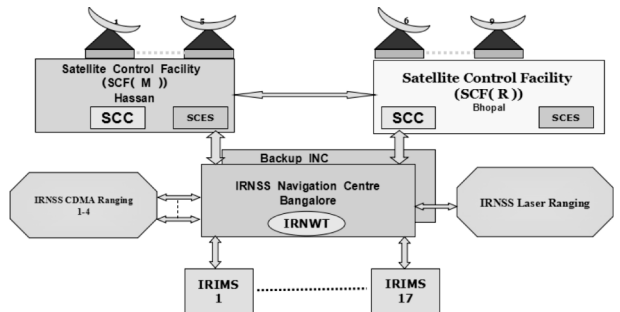


图5 IRNSS 系统地面段结构图
Fig.5 Structure of IRNSS system ground segment

测量与完好性监测站 (IRIMS) 用于进行 IRNSS 卫星的连续单向距离测量、星座完好性监测, IRIMS 连续跟踪 IRNSS 星座的导航信号, 并将解调的数据、伪距、载波相位等信息发送给 INC。导航中心 (INC) 的主要功能为计算卫星星历、卫星钟差改正数、电离层误差改正数以及相应的完好性信息, 并将计算结果传送给卫星控制中心 (Satellite Control Facility, IRSCF), 并通过卫星控制地球站 (SECS) 注入到卫星。卫星空间控制中心 (SCC) 主要负责空间卫星正常工作的管理、控制和维护。CDMA 测距站和激光测距站 (LRS) 负责采集 IRNSS 卫星的距离信息, 进行修正后传送给 INC^[9]。

6 现状及发展计划

从印度卫星导航系统发展战略来看, 印度卫星导航系统的建设和发展仿效欧盟的思路, 先建设增强系统, 为自主导航系统建设积累技术技术和经验, 然后发展自主的卫星导航系统, 因此 GAGAN 系统的建设进度要先于 IRNSS 系统。

6.1 GAGAN 系统

GAGAN 系统的建设分为两个阶段, 第一个阶段是技术演示系统 (TDS), 第二阶段为全操作阶段

(FOP), GAGAN 系统在 FOP 阶段包括 15 个参考站、2 个主控站、2 个上行注入站,数据通信依靠专用光纤网和 VSAT 链路。

2010 年 4 月 15 日,印度的第一颗 GAGAN 卫星 GSAT-4 在印度使用 GSLV-D3 运载火箭发射失败;2011 年 5 月 20 日,第二颗 GAGAN 卫星 GSAT-8 在法国 Kourou 使用 Ariane-5 卫星发射成功,并定点在 55°E;2012 年 9 月 28 日,印度的第三颗 GAGAN 卫星 GSAT-10 发射成功,并定点在 83°E;下一颗 GAGAN 卫星 GSAT-15 计划于 2014 ~ 2015 年之间发射。GAGAN 系统计划完成稳定运行测试后,2013 年 7 月完成验收,目前仍未见相关测试报告和新闻报道。图 6 给出了 GAGAN 系统的服务区域。

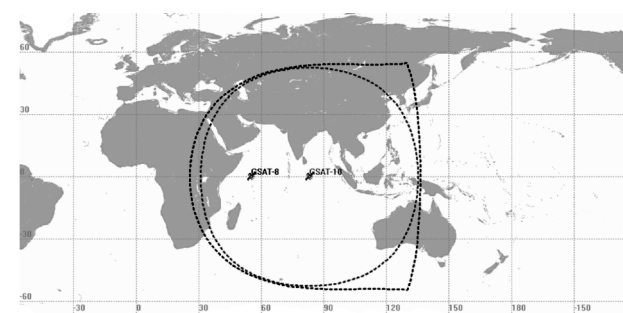


图 6 GAGAN 系统服务区

Fig. 6 Service area of GAGAN system

6.2 IRNSS 系统

2013 年 7 月 1 日,印度的第一颗 IRNSS 系统卫星 IRNSS-1A 发射成功,该卫星是一颗 IGSO 卫星,实际倾角 27.1°,升交点位置为东经 55°,设计寿命 10 年。印度原计划 2015 年完成 IRNSS 系统所有卫星的发射,实现全星座运行,根据目前其系统建设进展估计,下一颗卫星至少在 1 年后发射,如果一切顺利,之后按照每半年发射一颗卫星估计,IRNSS 系统至少要在 2017 年底才可能具备全星座运行的能力。

7 结束语

印度由于所处经度基本在我国范围内,其 GAGAN 和 IRNSS 系统的信号能够覆盖我国大部分领土,因此深入研究印度卫星导航系统的发展,解决好其与我国“北斗”卫星导航系统的兼容与互操作问题非常重要:首先是兼容性问题。印度 IRNSS 系统是我国“北斗”系统之外唯一实际使用 S 频段 (2 483.5 ~ 2 500 MHz) 的系统,其新增信号对我国“北斗”系统 RDSS 业务的影响还需要进一步深入进行分析;另外,印度 IRNSS/GAGAN 系统的建设运行也大大增加了亚洲-太平洋地区可见导航卫星的颗

数,通过有效利用其差分改正信息,可以显著提升 GPS 接收机的定位性能。因此,进一步跟踪研究印度卫星导航系统的发展是十分必要的。

参考文献:

- [1] 中国卫星导航系统管理办公室. 北斗卫星导航系统发展报告(蓝皮书)2.0[R]. 北京:中国卫星导航系统管理办公室,2011.
Satellite Navigation Office. Report on the Development of Beidou (COMPASS) Navigation Satellite System[R]. Beijing: Satellite Navigation Office, 2011. (in Chinese)
- [2] ICG. Current and planned Global and Regional Navigation Satellite Systems and Satellite-based Augmentations Systems [M]. New York: United Nations, 2010.
- [3] 谭述森. 卫星导航定位工程[M]. 2 版. 北京:国防工业出版社,2010.
TAN Shu-sen. The Engineering of Satellite Navigation and Positioning [M]. 2nd ed. Beijing: National Defense Industry Press, 2010. (in Chinese)
- [4] 谭述森. 北斗卫星导航系统的发展与思考[J]. 宇航学报, 2008, 29(2): 391-396.
TAN Shu-sen. Development and Thought of Compass Navigation Satellite System [J]. Journal of Astronautics, 2008, 29(2): 391-396. (in Chinese)
- [5] Rao V G, Lachapalle G, Vijaykumar S B. Analysis of IRNSS over India subcontinent[C]//Proceedings of 2011 ION ITM. San Diego: ION, 2011: 1150-1162.
- [6] FAA-E-2892b, Specification for the Wide Area Augmentation System (WAAS) [S].
- [7] Ganeshan A S. GAGAN: Status and Update [J]. Coordinates, 2012, VIII(9): 1-5.
- [8] Rao V G, Lachapelle G. Combining GAGAN with IRNSS [J]. Coordinates, 2013, IX(4): 1-5.
- [9] 高为广, 陈金平, 王楠. 印度卫星导航系统最新进展[J]. 全球定位系统, 2008, 33(1): 42-45.
GAO Wei-guang, CHEN Jin-ping, WANG Nan. The Progress of Indian Navigation Satellite System [J]. GNSS World of China, 2008, 33(1): 42-45. (in Chinese)

作者简介:



张春海 (1976—), 男, 河北石家庄人, 2006 年于国防科学技术大学获工学博士学位, 2008 ~ 2012 年在北京理工大学雷达技术研究所从事博士后科研工作, 主要研究方向为全球卫星导航系统兼容与互操作性, 高动态、抗干扰等高性能卫星导航接收机关键技术。

ZHANG Chun-hai was born in Shijiazhuang, Hebei Province, in 1976. He received the Ph. D. degree from National University of Defense Technology in 2006. His research concerns GPS navigation system compatibility and interoperability, high dynamic and anti-interference of navigation receiver.

Email: stevenznudt@sina.com