

EGNOS 系统进展情况

陈刘成

(解放军信息工程大学测绘学院, 河南郑州, 450052)

[摘要] EGNOS 是欧洲建设的第一个卫星导航系统, 它通过增强两个军用导航系统来向系统服务区内提供差分改正数据和系统完好性信息, 来满足高安全用户的需求。本文全面介绍了欧洲 EGNOS 系统总体设计、技术亮点、系统体系结构、工程现状、系统性能以及系统开发和走向等有关方面的最新情况, 为我们国家建设自己的卫星导航增强系统积累经验。

[关键词] EGNOS; ESTB; READ; EMS; IMAGE

[中图分类号] P228.4 [文献标识码] A [文章编号] 1001-8379(2004)04-0147-06

The Last Evolutions of EGNOS

CHEN Liu-cheng

(The Surveying and Mapping Institute of The Information Engineering University of PLA, Zhengzhou 450052, China)

Abstract: EGNOS is Europe's first venture into satellite navigation. It will augment the two military satellite navigation systems now operating, the US GPS and Russian GLONASS systems, and make them suitable for safety critical applications such as flying aircraft or navigating ships through narrow channels. This article expounds the designing overview, and the technical achievements, the configuration, the current status, the performance and the upgrade direction of EGNOS as well. From which, we can learn something to construct the satellite navigation system of our country better.

Key words: EGNOS; ESTB; READ; EMS; IMAGE

1 EGNOS 系统简介

1.1 系统的由来

EGNOS 系统是欧洲自主建设的第一个卫星导航系统, 它通过增强现在运行的两个军用系统: GPS 和 GLONASS, 来满足高安全用户的需求。它是欧洲 GNSS (global navigation satellite system) 计划的第一步, 是目前正在研发中的 Galileo 计划的前奏, 估计在今年进入实用阶段。

EGNOS 系统是欧洲空间局 (ESA)、欧盟 (EC) 和欧洲航空安全组织 (Eurocontrol) 联合规划的项目, 系统总经费 3 亿欧元, 欧空局出资 2 亿, 欧盟 1 亿。欧空局全面负责 EGNOS 系统的技术设计和工程建设, 并在 1999 年和法国阿尔卡特航天工业公司 (Alcatel Space) 为代表的开发集团签署了研发合同, 总金额 2.14 亿欧元。欧盟负责国际合作, 并且确保把各类用户对系统的要求融入到 EGNOS 系统的设计和实施中。欧洲航空安全组织设计民用航空需求, 并且在系统测试中扮演主要角色。

1.2 系统的需求

国际民航组织专家定义的 GNSS-1 系统, 就是通过增强 GPS 和 GLONASS 使其性能稳定地满足民用航空需要。EGNOS 系统用户的主要要求见表 1、表 2。

在世界范围内, 卫星导航系统都有大量的陆地用户, 包括: 车辆定位、编队管理、位置跟踪、紧急救援、防盗、农业作业、旅行信息和道路管理等。他们对系统服务精度要求从几百米到几米不等, 有的还要求改正数和完好性信息。

EGNOS 在服务区内还被要求提供一个稳定的、与 UTC 时间差在纳秒级的时间参考, 用于通信网络、VSAT、电力、Internet 网络节点的时间同步。

1.3 系统的组成

EGNOS 系统由四部分组成: 地面部分、空间部分、用户部分和支持系统。

EGNOS 空间部分包括 3 颗 GEO 卫星。两颗是 Inmarsat-3 卫星, 一颗在大西洋东部 (AOR-E), 另一颗在印度洋 IOR。还有一颗是 ESA 在非洲上空的地球同步通讯卫星 Artemis。

三颗卫星发播类 GPS 测距信号、增强服务区的卫星星座、广播 GPS、GLONASS 系统广域差分信号。

EGNOS 地面系统包括 MCC (主控制中心)、RIMS 站 (测距与完好性监测站) 和陆地导航地球站 (NLES)。

MCC 有四个分别位于 Torrejon、Gatwick、Langen 和 Ciampino, 功能有:

表 1 民航对导航性能要求

阶段	水平精度 (95%)	垂直精度 (95%)	完好性	报警 时间	连续性	可用性
平飞阶段	3.7km	NA	10^{-7} /小时	1 分钟	10^{-4} /小时 - 10^{-8} /小时	0.99 - 0.99999
末端	0.74km	NA	10^{-7} /小时	15 秒	10^{-4} /小时 - 10^{-8} /小时	0.99 - 0.99999
LNAV (NPA) 水平导航 (非精确进场)	220m	NA	10^{-7} /小时	10 秒	10^{-4} /小时 - 10^{-8} /小时	0.99 - 0.99999
LNAV/VNPA 水平/垂直导航	220m	20m	2×10^{-7} /一次进场	10 秒	8×10^{-6} /15 秒	0.99 - 0.999
LPV 垂直引导	16m	20m	2×10^{-7} /一次进场	10 秒	8×10^{-6} /15 秒	0.99 - 0.999
APV - II 垂直引导进场	16m	8m	2×10^{-7} /一次进场	6 秒	8×10^{-6} /15 秒	0.99 - 0.999
GLS/CAT I 精密进场	16m	6m - 4m	2×10^{-7} /一次进场 (150 秒)	6 秒	8×10^{-6} /15 秒	0.99 - 0.99999
CAT II and IIIa	6.9m	2m	10^{-9} /30 秒 (侧向) 10^{-9} /15 秒 (垂直)	1 秒	4×10^{-6} /15 秒	0.99 - 0.99999
CAT III	6.2m	2m	10^{-9} /30 秒 (侧向) 10^{-9} /15 秒 (垂直)	1 秒	2×10^{-6} /30 秒 (侧向) 2×10^{-6} /30 秒 (垂直)	0.99 - 0.99999

表 2 海洋运输对导航系统的要求

	水平精度	完好性报警极限	完好性报警时间	误警率 (每 3 小时)
深海	10m	25m	10 秒	10^{-5}
近海	10m	25m	10 秒	10^{-5}
近港和管制海域	10m	25m	10 秒	10^{-5}
港口	1m	25m	10 秒	10^{-5}
内陆水道	10m	25m	10 秒	10^{-5}

- 监测和控制 EGNOS 信号
 - 任务监控和记录日志
 - 软件系统: 提供 EGNOS 广域差分改正数据
 - 确保对用户提供的 EGNOS 系统完好性信息
 - 利用独立的 RIMS 通道来检查核对改正数据
- RIMS 站有 34 个, 站上设备包括 GPS、GLONASS、GEO 接收机, 一台原子钟。EGNOS 系统 RIMS 站工作网络的技术基础是 TCP/IP VSAT (甚小孔径终端) 和帧中继技术, 功能有:
- 解调空间广播 (GPS L1 and L2 + GEO/GLO L1) 信息, 同步观测数据
 - 削弱当地的多路径效应
 - 监测空间不正常信号
 - 把数据打包和由 EGNOS 广域差分网传送给

MCC

- 提供数据奇偶校验能力
- 提供 EGNOS 系统时间和 UTC 时间修正

EGNOS 第一阶段建设了 7 个高级的陆地导航地面站 (NLES), EGNOS 系统给每个 GEO 卫星转发器分配了两个 NLES 站, 还有一个用于测试和验证的目的。7 个站分别位于 Torrejon, Fucino, Aussaguel, Raisting, Goonhilly, Sintra, 主要功能:

- 生成类 GPS 信号并传送给 GEO 转发器;
- 把 GEO 卫星 L1 波段天线的信号输出同步到 EGNOS 时间 (ENT);
- 控制测距码和载波的一致性;
- 传送 GIC (格点电离层改正) 和 WAD (广域差分数据) 给静止轨道的卫星;

地面支持系统还包括 EGNOS 广域差分网 (EGNOS wide Area Network) 以及系统开发验收平台、工

程详细技术设计、系统性能评价以及问题发现等支持系统。

用户部分包括：

- 用于空间信号性能验证的 EGNOS 接收机，以及水运、空运和路运用户专用设备。

- 系统静态和动态平台测试，用于用户接收机验收、系统性能证明、定位误差比较分析。

1.4 系统应用前景

到 2005 年世界导航市场将达到 500 亿欧元的规模，EGNOS 系统工程会给欧洲培育市场提供机会并创造更多的工作岗位。EGNOS 给飞行和着陆提供辅助导航，帮助航空运输控制成本来应付竞争，在减少地面辅助设施的情况下提高安全性能。

水上应用方面，欧洲已经建立一个组织来调查全球导航卫星系统可能的应用，包括：导航、交通管理、制导、海港运作、事故鉴定、海上勘探和开发、渔业等。一旦 EGNOS 系统开通运行并能满足大部分需求，它就将用来补充已有的海事无线电台服务。

陆地运输方面，不管是公路、铁路还是内陆河运，EGNOS 都可以在管理陆上运输中派上大用场。不仅可以提高车辆的安全性和运输能力，EGNOS 系统还可以让人们全程了解运输车辆、警车、救护车、出租车等运输工具的位置。

还有，在农业方面可以帮助农场主的飞机喷洒农药、渔民捕鱼；授时服务方面，全球数字和无线通讯网络需要精确的时间同步，通常是参考“世界电话报时服务”，EGNOS 将能够可靠地发播精度空前的时间参考标准。

为了在世界范围内提供无间隙的增强服务，目前 EGNOS 系统、美国的 WAAS 系统、日本的 MSAS 系统进行合作，现在已经成立了协调工作组在不同开发团体间协调工作。在 2003 年 4 月，EGNOSTB 为了提高系统兼容性，已经将信号切换到通用的标准格式。

除了国际合作以外，EGNOS 还在 GEO 卫星服务区内的非洲、拉丁美洲、远东、俄罗斯、中国、乌克兰、印度地区扩大服务范围。

1.5 其他问题

在 EGNOS 系统正式开通之前还有许多问题要解决：

- 在 EGNOS 系统能够产生巨大效益之前还需要

经历时间相当长的过渡期，欧洲相关部门必须在过渡期前后大力支持 EGNOS 系统的运作。

- 还要经历一个针对特殊用户的技术开发和验证的阶段。在这个阶段可能需要公共投资，尤其是在那些安全性需要长时间验证和调整的领域，例如民航。

- ESA 成员国还准备实施 post - ORR 运行框架，这个阶段的关键是成立几个机构：EGNOS 董事会、系统管理和提供服务。现在有关方面正在制定将 EGNOS 系统资产所有权转给未来董事会的计划。系统管理主要负责根据制定的业务要求，维护 EGNOS 正常运行，发播 EGNOS 信号 (SIS)。服务提供主要是根据用户不同的应用模式，为特定领域的用户开发相应的服务。

- 还需要成立一个具体负责系统规章制度的机构。这方面没有公开报道，但是可能会在全欧洲 GNSS 大会上提出来。ESA 成员国已经建立了一个工作组，来具体规定法律框架和程序。

2 系统测试床 (ESTB)

为了支持 EGNOS 系统的开发，EGNOS 系统研制开发了测试床 (ESTB)，从 2000 年 2 月开始在欧洲范围内提供 GPS 增强服务。ESTB 被开发来支持检验 EGNOS 的细节设计合理性，研究和验证系统测试技术，将来用于 EGNOS 系统性能分析和提升，也是被用来向欧洲用户证明 EGNOS 系统性能的关键工具。ESTB 信号也可以被用作开发 EGNOS 系统的试验信号。

ESTB 是 EGNOS 一个实时全覆盖的雏形，它的系统组成是：空间部分 (Inmarsat - III AOR - E & IOR 星载转发器)，十个 RIMS 站网络，两套中央处理装置 (生成用户信息)，一个操作控制和处理中心 (生成 GEO 测距数据) 以及一个陆地导航地球站 (NLES)，通过一个实时通讯网络把系统连接成一个整体。

使用 ESTB，欧洲用户在 95% 的时间内水平定位精度小于 3 米，高程优于 5 米。ESTB 通过提供垂直和水平保护精度来提供完好性服务，并且符合 $2 \times 10^{-7}/150$ 秒可用度的报警要求。在较少参考站工作和当前强太阳活动的情况下，全欧洲 ESTB 测试获取的结果有效地证明了 EGNOS 设计的超前性。

根据系统不同的工作状态，ESTB 设计了如下工作模式：

- 仅测距
- 仅钟差改正
- 钟差改正和测距 (模式 3)
- 仅仅没有轨道改正数 (模式 2)
- GIC/WAD 改正数
- GIC/WAD 改正数和测距 (模式 0)

从 2003 年 4 月开始, 信号模型升级到 RTCA MOPS (Minimum Operational Performance Standards) Do-229C 标准, 工作模式 0/2。系统的实时工作模式可以在下列网页查到: <http://esamultimedia.esa.int/docs/egnos/estb/broadcast.htm> (五分钟更新一次)。

ESTB 实际运行情况可以从 <http://esamultimedia.esa.int/docs/egnos/estb/results.htm> 查询。

3 SISNet 技术

SISNet 技术是一个将卫星导航技术和 Internet 技术紧密联系在一起的新技术, 它允许用户实时访问 Internet, 获取 EGNOS 广域差分数据和完好性数据。在 2001 年下半年, ESA 就已经开发 SISNet 工程, 并在 2001 年 8 月建立了工程原型, 从 2002 年 2 月开始试运行, 通过 Internet 发播 EGNOS 数据。

SISNet 的优点是无论 GEO 卫星是否工作正常, 或者是在卫星信号干扰严重的城市、峡谷地区, 用户不必投资 EGNOS 接收机就可以通过无线上网技术稳定获取 EGNOS 系统数据。使用 SISNet 技术可以实时通过 Internet 监视 ESTB 系统性能, 实时分析 ESTB 信息, 实时监视系统和卫星信号状态 (访问地址

<http://www.esa.int/estb>)。任何用户都可以发送申请到 SISNet@esa.int, 都可能获得通过 Internet 实时获取 ESTB 数据的权力。

SIS (空间信号状态) 每 5 分钟更新一次, VPL (垂直保护精度水平) 每 15 分钟更新一次。

4 IMAGE (独立空间信号监测)

IMAGE 是 EGNOS 工程办公室为了独立监测和评价 EGNOS 空间信号质量而采取的措施。

5 READ (RIMS Entities Assistance Desk)

当 ESA 开始接受开发 EGNOS 的任务时, 它就需要全欧洲或者全世界范围内的合作伙伴能够允许部署精确的测距网络和完好性地面监测站。这个目的达成不仅需要直接拥有 50% 的 EGNOS RIMS 站投资者的支持, 也需要其他的合作伙伴的配合。ESA 允许合作伙伴监督系统建设, 这样把整个欧洲都调动起来参与 GNSS 系统的建设。

由 EGNOS 办公室发起的 READ 活动目的是把 EGNOS 投资者和系统开发的进程紧密地联系起来, 推动早期 RIMS 的部署工作, 以支持系统的验收和测试工作。它的最主要的角色是简化和推进 RIMS 投资者和 EGNOS 研制者之间的信息交流。

6 EGNOS Message Server (EMS)

为了能够提供 24 小时的 EGNOS 存档信息, ESA 已经发起了一种新的服务: EGNOS 信息服务 (EMS)。EMS 可以不受限制访问, 在 Internet 上只需要一个网址用 FTP 的方式访问就可以了。

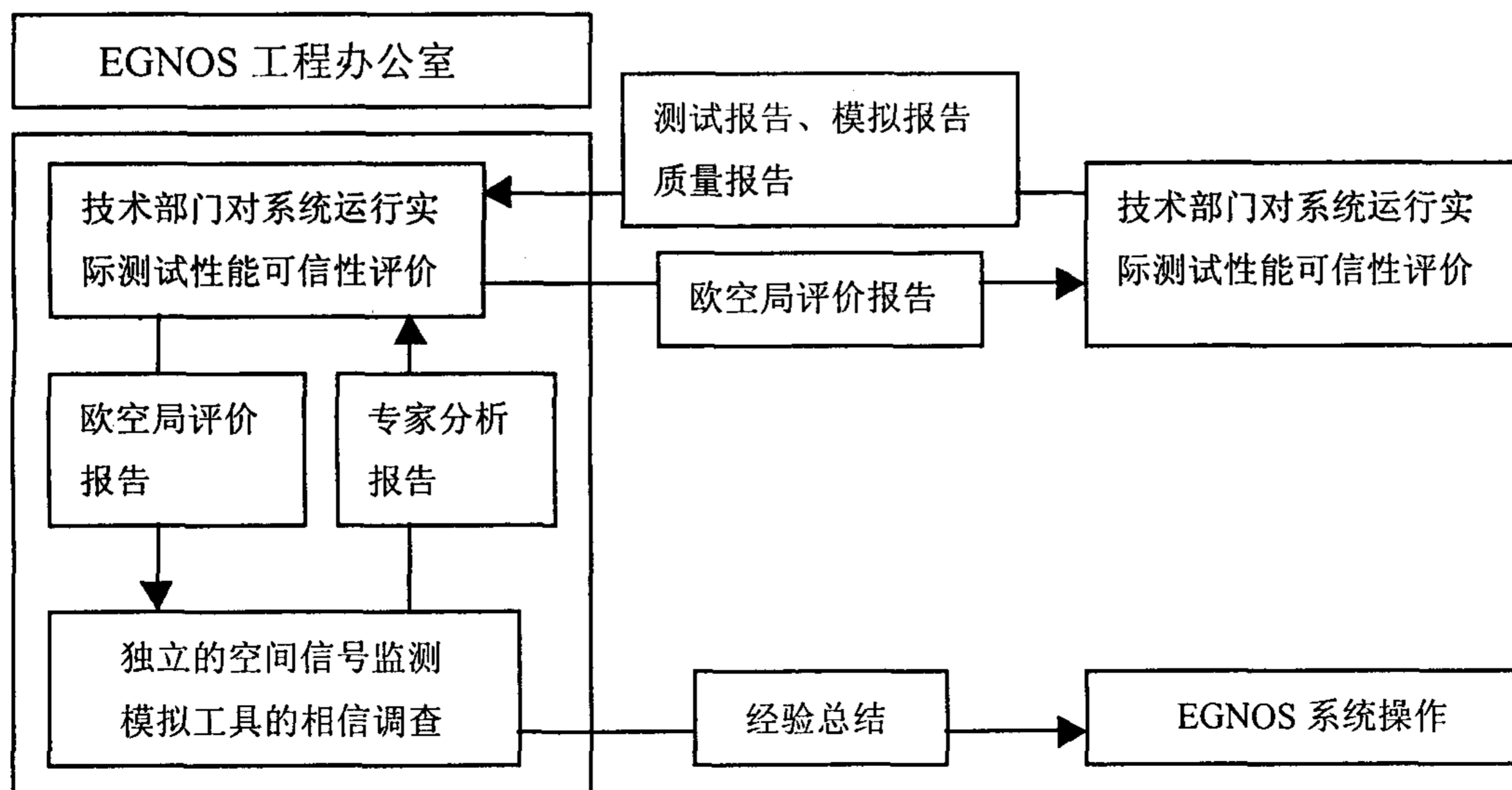


图 1 EGNOS 系统监测过程

EMS 每小时存储一次 EGNOS 广播的增强信息，保存在预先设定多层次目录下。EMS 服务为 EGNOS 和 Internet 的联合使用又开通了一道大门，加强了 ESA SISNet 项目的功能。SISNet 可以实时访问 EGNOS 广播数据，EMS 可以允许用户访问大量数据，并可以：

- 可以在给定的时间段内自动分析 EGNOS 系统性能
- 同时接受 IGS 站 GPS 数据和 EMS 提供的 EGNOS 数据，通过内差算法，可以方便地得到欧洲范围的 EGNOS 性能图

·可以通过 GPS 接收机接收 GPS 数据，事后获得 EMS 提供的 EGNOS 数据来测试 EGNOS

·EMS 数据可离线使用，这样它可以用来模拟 EGNOS SIS 来监测 EGNOS 接收机

·测试带有 SISNet 访问功能的 EGNOS 接收机。用 EMS 数据模拟离线 SISNet 信号，节省联调的通信费用。

7 系统测试

为了有效地测定 EGNOS 的性能，欧空局使用 ESTB 组织了多次测试，部分测试情况如下：

7.1 比利时军用直升飞机评估 EGNOS 增强性能

表 3 后处理结果：DGPS 和 EGNOS 在不同飞行方式下的精度（单位：米）

	GPS alone	DGPS	EGNOS + GPS	说明
平均误差	22.6382	2.0982	2.0658	三维
标准差	7.7615	0.6493	0.6696	三维
平均误差	1.3641	1.3442	1.2123	高程
标准差	0.9686	0.9567	0.9712	高程

结论：

- 在部分战术飞行阶段、部分高动态对硬件造成压力，不能锁定 SBAS 信号
- 重力作用对跟踪 SBAS 信号锁定没有显著作用
- 静态测试：HPL6m、VPL8m

- 飞行方式的不同不会影响 EGNOS 定位精度
- EGNOS 精度好于 DGPS (95%可信度)
- 可以考虑打破军用、民用系统界限，可以将 EGNOS 导航系统引入军用（专家个人观点）。

7.2 陆地定位试验

表 4 2000-9-21 在图卢兹静态测试结果（单位：米）

	GPS	EGNOS + GPS	备注
垂直精度	3.56 ± 2.48	-0.25 ± 2.53	静态
水平精度	2.74 ± 0.99	1.66 ± 0.73	静态

表 5 在 2000 年 2 月 SA 关闭之前，测试组在热那亚进行静态测试结果（单位：米）

	GPS	EGNOS + GPS	备注
纬度方向精度	-2.93 ± 25.71	-0.96 ± 1.97	静态
经度方向精度	-3.55 ± 19.54	-0.37 ± 0.90	静态

结论：EGNOS 系统性能比 GPS 稳定、一致性要好。

7.3 挪威高纬度地区飞行试验

为了确定 SBAS 在 EGNOS 服务区高纬度的可用性，试验在 Tromso、Bardufoss、Trondheim 三个山区进行。其中 Bardufoss 山区，AOR-E 高度角 8.2 度，航向轨迹 100 度；Tromso 山区，AOR-E 高度角 8.8 度，试验航向 190 度。

测试结果：

- 观测到三次 AOR-SIS 中断；
- 机星连线大于 50 度转弯会引起信号明显中断；
- 在着陆和起飞阶段没有信号中断；
- 没有地形的遮挡，99.68%SBAS SIS 可用（三颗 GEO 卫星服务时可用性更高）；
- 地形不是显著问题，在精密着陆时没有 SIS 信号失锁（机身的屏蔽影响应该在 SBAS 处理中考虑）。

7.4 EGNOS 中国测试

2003 年底, EGNOS 在中国进行了测试。在中国北京房山 (115.89° 39.61°), 武汉九峰 SLR 站 (114.36° 30.53°), 上海佘山 (121.60° 31.10°) 布设了 3 个 RIMS 站, 在延津、繁昌、高密、泗县、宁津、临汾进行了静态测试。2003 年 12 月, 中国专家在长江武汉段对伽利略计划的前期系统 EGNOS 进行了首次动态测试。

从测试结果来看, EGNOS 在中国地区正常的静态定位精度大约在 1 ~ 2 米, 动态测试精度在 1 ~ 2.5 米。

8 结束语

从 EGNOS 的系统性能看, EGNOS 也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和已有技术的结合使用值得我们在建设自己国家的卫星导航系统中学习

借鉴。

参考文献

- [1] EGNOS: the first European implementation of GNSS [M], Rene Oosterlinck, Laurent Gauthier.
- [2] ESTB SIS User interface Description [Z], esa, 2000 - 6 - 20.
- [3] EGNOS System Test Bed: Achievement and ongoing upgrades [M], Andres Cruz.
- [4] An Introduction to the EGNOS Central Processing Facility [M], H. Blomenhofer, J. Westbrook.
- [5] Architecture, mission and signal processing aspects of the EGNOS system: the first European implementation of GNSS [M], J. Ventura - Traveset, P. Michel and L. Gauthier.

[收稿日期] 2004 - 07 - 09

[作者简介] 陈刘成 (1977 -), 男, 江苏盐城人, 汉族, 助理工程师, 硕士学位, 研究方向: 卫星定轨, 卫星导航。

《测绘与信息化》报告获“四川省第二届 博士专家论坛”优秀论文一等奖

由四川省科学技术协会、电子科技大学、中国科学院成都分院共同主办的“四川省第二届博士专家论坛”2004 年 11 月 13 日在电子科技大学举行。《论坛》主题为“信息化与新跨越”, 《论坛》围绕省委、省政府的工作中心, 对公众关心的信息化与经济建设和社会发展的重大问题进行探讨, 为党和政府建言献策。作为本次论坛的特邀报告, 四川省测绘局局长和四川省测绘学会理事长张建国作的《测绘与信息化》专题报告, 充分利用论坛提供的机会, 对测绘工作在信息化中的作用作了有力宣传, 并提出两个对测绘和信息化有深远影响的建议。该报告最后被大会评为优秀论文一等奖。

四川省测绘学会办公室供稿