

文章编号:1671-8860(2012)03-0269-05

文献标志码:A

多系统多频率的 EGNOS 系统完备性模拟分析

吴 云¹ 杨鑫春² 陈 慧³ 翟 广¹

(1 武汉大学测绘学院,武汉市珞喻路129号,430079)

(2 绵阳市测绘工程所,绵阳市沈家坝街15号,621000)

(3 中国地质大学(武汉)信息工程学院,武汉市鲁磨路388号,430074)

摘要:推导了 EGNOS 系统不同频率情况下的完备性算法。针对 GPS 和 GPS/Galileo 组合导航的情况,模拟计算了 EGNOS 增强系统能为多频用户提供的完备性能。分析结果表明,EGNOS 能够使 GPS/Galileo 系统的双频用户满足 Cat-I 飞行阶段的完备性要求。

关键词:EGNOS; 完备性; HPL; VPL

中图法分类号:P228.41

欧洲的 EGNOS 系统、美国的 WAAS 系统、日本的 MSAS 系统是当前三大空基增强系统。此类增强系统在为服务范围内的用户提供站星测量距离各项误差改正、改善定位精度的同时,还为用户提供完备性信息,为用户的生命安全提供了有效保障。近年来,国内外许多学者对 WAAS 系统在不同情况下的完备性进行了详细的模拟分析^[1-6],但对 EGNOS 系统在不同信号频率和不同导航系统组合导航时的完备性分析较少。因此,本文首先推导了不同信号频率的用户保护水平(XPL)的计算方法,然后将即将建成的 Galileo 导航系统纳入 EGNOS 增强系统中,分别模拟计算了 GPS 和 GPS/Galileo 组合导航系统在 EGNOS 提供增强服务情况下为用户提供的完备性能。

1 EGNOS 系统进展

欧洲静地导航覆盖服务(European Geostationary Navigation Overlay Service, EGNOS)是欧盟(EC)、欧洲空间局(ESA)和欧洲航空安全组织(Eurocontrol)合作研发建设的对 GPS 和 GLONASS 导航系统进行增强的空基增强系统。EGNOS 与美国的 WAAS、日本的 MSAS 两大空基增强系统相类似,由三大部分组成:空间部分、

地面部分和用户部分。

空间部分由三颗静地卫星组成:Inmarsat AOR-E(PRН 为 120)、ESA Artemis (PRН 为 124)和 Inmarsat IOR-W(PRН 为 126),它们分别在西经 15.5°、东经 21.5° 和东经 65.5° 上空。系统覆盖的范围包括欧洲全境、亚洲、澳洲、南美洲和北美洲的部分区域。三颗静地卫星除向覆盖区域的用户发送自身的导航电文、广域差分改正值外,还发送相应的完备性信息。

地面部分由覆盖 22 个国家的 46 个地面单元组成。34 个地面测距/完备性监测站 RIMS 接收到 GPS 和 GLONASS 卫星信号后,通过通讯网络 EWAN 将数据传输给 4 个控制站 MCC 处理,控制站计算出广域差分和完备性改正数后经 6 个地面导航站 NLES 上传到系统空间部分,最后通过 3 颗静地卫星将广域差分和完备性信息加载在 L₁ 载波传输给用户终端。此外,地面部分还包括两个支持站,用于对 EGNOS 系统性能的监测和维持^[7-9]。目前,还未实现对 GLONASS 导航系统的增强^[10]。

2 EGNOS 系统完备性算法

卫星导航系统导航时要满足的性能包括准确

收稿日期:2011-12-28。

项目来源:国家 863 计划资助项目(2009AA12Z301);武汉大学卫星与导航定位教育部国家重点实验室开放研究基金资助项目(CRC-2009008)。

度、连续性、可用性和完备性4个方面^[1]。4个性能指标同等重要,但完备性指标的实现最为困难。完备性是指导航系统发生任何故障或者误差超限、无法用于导航和定位时,系统向用户及时发出报警的能力。XPL是衡量EGNOS系统完备性的一个重要指标,它由可用性、完备性风险、卫星的几何和观测误差决定。XPL包含两方面的内容:平面保护水平(horizontal protection level, HPL)和垂直保护水平(vertical protection level, VPL)。由计算得到的XPL与告警门限值比较可知用户的完备性能是否满足要求^[4]。

XPL和VPL的计算公式为^[11]:

$$HPL = k_h \sqrt{(\mathbf{G}^T \mathbf{W} \mathbf{G})_{11}^{-1} + (\mathbf{G}^T \mathbf{W} \mathbf{G})_{22}^{-1}} \quad (1)$$

$$VPL = k_v \sqrt{(\mathbf{G}^T \mathbf{W} \mathbf{G})_{33}^{-1}} \quad (2)$$

在精密进近时,横向比切向的保护要求高很多,所以认为HPL为横向的保护水平,并假定式(1)服从标准正态分布。式中, k_h 表示与给定的 P_{md} (P_{md} 表示误导信息漏检的概率)对应的置信分位数; k_v 表示垂直方向对应 P_{md} 的置信分位数; \mathbf{G} 为卫星与用户之间的观测矩阵; \mathbf{W} 为权矩阵。 \mathbf{G}, \mathbf{W} 可通过以下公式得到:

$$\begin{aligned} \mathbf{G}_i &= [-\cos(E_i)\cos(A_i) \\ &\quad -\cos(E_i)\sin(A_i) \quad -\sin(E_i) \quad 1] \end{aligned} \quad (3)$$

$$\mathbf{W}^{-1} = \begin{bmatrix} \sigma_i^2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \sigma_i^2 & & 0 \\ \vdots & & \ddots & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & \sigma_i^2 \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中, E_i 表示卫星的高度角; A_i 表示卫星的方位角; σ_i^2 为伪距方差。对于单频率和双频率来讲, σ_i^2 的计算公式不同。

2.1 基于单频率的 σ_i^2 算法

$$\sigma_i^2 = \sigma_{i,\text{flt}}^2 + \sigma_{i,\text{UIRE}}^2 + \sigma_{i,\text{air}}^2 + \sigma_{i,\text{tropo}}^2 \quad (5)$$

式中, $\sigma_{i,\text{flt}}$ 表示快速长周期改正中误差,包括卫星钟的快速变化改正中误差及星历和卫星钟慢变化改正,即长周期改正后的中误差; $\sigma_{i,\text{UIRE}}$ 为用户电离层延迟改正中误差; $\sigma_{i,\text{air}}$ 为接收机和多路径效应中误差; $\sigma_{i,\text{tropo}}$ 为对流层延迟改正中误差。

2.1.1 $\sigma_{i,\text{flt}}$ 的计算

$$\sigma_{i,\text{flt}}^2 = \begin{cases} (\sigma_{UDRE}\delta\sigma_{UDRE} + \epsilon_{fc} + \epsilon_{rrc} + \\ \epsilon_{lrc} + \epsilon_{er})^2, \text{RSS}_{UDRE} = 0 \\ (\sigma_{UDRE}\delta\sigma_{UDRE})^2 + \epsilon_{fc}^2 + \epsilon_{rrc}^2 + \\ \epsilon_{lrc}^2 + \epsilon_{er}^2, \text{RSS}_{UDRE} = 1 \end{cases} \quad (6)$$

式中, RSS_{UDRE} 是用户差分伪距误差和的平方根标记,可从静地卫星广播的信息MT10中得到; σ_{UDRE} 为用户实施快速改正和长周期改正后的伪

距中误差,可从MT2-6和MT24中得到,并且每6 s更新一次; $\delta\sigma_{UDRE}$ 为 σ_{UDRE} 的变化因子,可以从MT27或者MT28^[10]中得到。通过这些协方差阵,用户可以重新建立各自位置的误差限值,而不是利用服务范围内的最大限值,因此,通过MT28可以得到更为准确的 σ_{UDRE} 。若通过MT27和MT28均不能得到 $\delta\sigma_{UDRE}$,则认为此时 $\delta\sigma_{UDRE} = 1$ ^[11]。 ϵ_{fc} 是关于快速改正项的衰减因子,从MT7中得到; ϵ_{rrc} 是关于伪距改正速率的衰减因子,从MT10中得到; ϵ_{lrc} 是关于长期项改正的衰减因子或GEO导航信息数据的衰减因子,从MT10中得到; ϵ_{er} 为从远洋/本土航线到非精密进近阶段的衰减因子,从MT10中得到。为了方便模拟,假定 $\text{RSS}_{UDRE} = 0$,不考虑 ϵ_{fc} 、 ϵ_{rrc} 、 ϵ_{lrc} 、 ϵ_{er} 的影响,则得到:

$$\sigma_{i,\text{flt}}^2 = (\sigma_{UDRE} \times \delta\sigma_{UDRE})^2 \quad (7)$$

2.1.2 σ_{UIRE} 的计算

$$\sigma_{UIRE}^2 = F_{pp}^2 \sigma_{UIVE}^2 \quad (8)$$

其中, σ_{UIVE} 为用户的垂直延迟改正中误差; F_{pp} 为倾斜因子:

$$F_{pp} = [1 - (R_e \cos E_i / (R_e + h_1))^2]^{-\frac{1}{2}} \quad (9)$$

式中, R_e 为地球平均半径; E_i 为卫星高度角; h_1 为电离层的参考高度。根据电离层延迟格网修正法, σ_{UIVE} 的计算可采用以下两种内插法得到^[12]。

矩形内插法:

$$\sigma_{UIVE}^2(\Phi_{pp}, \lambda_{pp}) = \sum_{n=1}^4 W_n(x_{pp}, y_{pp}) \sigma_{n,\text{ionogrid}}^2 \quad (10)$$

三角形内插法:

$$\sigma_{UIVE}^2(\Phi_{pp}, \lambda_{pp}) = \sum_{n=1}^3 W_n(x_{pp}, y_{pp}) \sigma_{n,\text{ionogrid}}^2 \quad (11)$$

其中,

$$\sigma_{n,\text{ionogrid}}^2 = \begin{cases} (\sigma_{GIVE} + \epsilon_{iono})^2, \text{RSS}_{iono} = 0 \\ \sigma_{GIVE}^2 + \epsilon_{iono}^2, \text{RSS}_{iono} = 1 \end{cases} \quad (12)$$

式中, σ_{GIVE} 为电离层格网点垂直方向的改正中误差; ϵ_{iono} 为电离层延迟改正衰减因子; RSS_{iono} 是电离层延迟改正和的平方根标记,从MT10中得到。

$$\begin{aligned} \epsilon_{iono} &= \\ C_{iono-\text{step}} \lfloor (t - t_{iono}) / I_{iono} \rfloor + C_{iono-\text{ramp}} (t - t_{iono}) \end{aligned} \quad (13)$$

$C_{iono-\text{step}}$ 为电离层格网点延迟更新误差限值,从MT10中得到; $C_{iono-\text{ramp}}$ 为电离层格网点延迟变化率,从MT10中得到; t 为当前时间; t_{iono} 为MT26

中第一字段播发的时间; I_{iono} 为电离层延迟改正 MT26 更新的时间间隔, 从 MT10 中得到。为了方便模拟, 假定 $\text{RSS}_{\text{iono}} = 0$, 得到:

$$\sigma_{n,\text{ionogrid}}^2 = (\sigma_{\text{GIVE}} + \varepsilon_{\text{iono}})^2 \quad (14)$$

得到 L_1 频率的电离层改正误差后, 如果需要, 也可以得到 L_2 、 L_5 频率观测值的中误差:

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{UIVE-}L_2} &= 1.65^2 \sigma_{\text{UIVE-}L_1} \\ \sigma_{\text{UIVE-}L_5} &= 1.80^2 \sigma_{\text{UIVE-}L_1} \end{aligned} \quad (15)$$

2.1.3 σ_{air} 的计算

$$\sigma_{i,\text{air}}^2 = [0.074 1 + 0.18 \times e^{(-E_i/27.7)}]^2 \quad (16)$$

式中, E_i 表示卫星的高度角。

2.1.4 σ_{tropo} 的计算

$$\sigma_{i,\text{tropo}}^2 = (0.12 \cdot m(E_i))^2 \quad (17)$$

$$m(E_i) = 1.001 / \sqrt{0.002\ 001 + \sin^2(E_i)} \quad (18)$$

以上 4 个误差参数的计算除了 σ_{UIRE} 与频率相关以外, 其他三项改正 σ_{flt} 、 σ_{air} 、 σ_{tropo} 与频率无关。从式(15)中可以看出, L_1 频率下的用户电离层延迟改正中误差小于 L_2 和 L_5 频率下的中误差, 所以, 本文在进行单频率模拟时只考虑 L_1 频率的情况。

2.2 基于双频率的 σ_i^2 算法

双频用户可以采用双频改正法对电离层延迟进行有效的改正, 与单频用户比较, 双频用户可以获得更高的定位精度和完备性。对于双频用户来讲, 伪距方差 σ_i^2 的计算公式为:

$$\sigma_i^2 = \sigma_{i,\text{flt}}^2 + \sigma_{i,\text{UIRE}}^2 + \sigma_{i,\text{tropo}}^2 \quad (19)$$

式中, $\sigma_{i,\text{flt}}^2$ 为快速长周期改正方差, 与单频情况下相比, 还应包含卫星硬件延迟方差; $\sigma_{i,\text{tropo}}^2$ 所代表的含义和计算公式与单频情况一致; $\sigma_{i,\text{UIRE}}^2$ 表示双频用户电离层距离方差, 与单频情况下的计算公式不同。式(5)与式(19)相比并不包含 σ_{air} , 这是因为在双频组合的情况下, σ_{air} 已经被包含在 σ_{UIRE} 中^[2]。需要说明的是, 本文并没有考虑接收机硬件延迟对伪距方差计算的影响。

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{UIRE-}L_1 L_2}^2 &= [f_1^2 / (f_1^2 - f_2^2)]^2 [\sigma_{i,\text{air-}L_1}^2] + \\ &[f_2^2 / (f_1^2 - f_2^2)]^2 [\sigma_{i,\text{air-}L_2}^2] + \sigma_{\text{SV-}L_1 L_2}^2 \end{aligned} \quad (20)$$

式中, σ_{air} 是接收机和多路径效应中误差, 根据式(16)可以知道, 其计算公式频率是无关的, $\sigma_{\text{SV-}L_1 L_2}$ 为 L_1 、 L_2 频率硬件延迟误差。

文献[13]指出, $\sigma_{\text{SV-}L_1 L_2} = 0.192 \text{ m}$ 、 $\sigma_{\text{SV-}L_1 L_5} = 0.176 \text{ m}$ 、 $\sigma_{\text{SV-}L_2 L_5} = 0.290 \text{ m}$ 。通过对 $\sigma_{\text{UIRE-}L_1 L_2}^2$ 、 $\sigma_{\text{UIRE-}L_1 L_5}^2$ 、 $\sigma_{\text{UIRE-}L_2 L_5}^2$ 三者进行比较可以得到, 由 L_1 频率和 L_5 频率组成后的 σ_{UIRE} 最小, 故在进行双频率模拟时只对 L_1 - L_5 频率组合进行模拟分析。

2.3 置信分位数 k 值的确定

式(1)和式(2)中的置信分位数 k 与误导信息 MI 漏检 MD 概率 P_{md} 和每个给定时间单元内的独立样本数有关^[13]。误导信息是导航系统误差导致的定位误差大于 XPL 值的事件。为了建立 P_{md} 与完备性风险要求的关系, 应给出每个给定时间单元内的独立样本数。比如有 n 个独立的样本, 对应的完备性风险要求为 2×10^{-7} , 则 $P_{\text{mdXPL}} = 2 \times 10^{-7}/n$ 。一般认为 360 s 间隔的电离层改正值相互独立, 而一个进近需要 150 s, 所以一个进近内最多有一个独立的采样, 进而一个垂直引导或精密进近的时间段内, 漏检概率为 2×10^{-7} 。对于垂直引导和精密进近来说, 高程方向比平面方向上的完备性要求高很多, 所以, 将完备性风险分配为 $P_{\text{mdVPL}} = 1 \times 10^{-7}$ 和 $P_{\text{mdHPL}} = 2 \times 10^{-9}$ ^[13]。因此, 可以得到 APV-I、APV-II、Cat-I 飞行阶段与之对应的置信分位数 k_h 和 k_v 分别为 6.0 和 5.33。

3 模拟分析

本文按照以上 XPL 算法分别模拟计算了 EGNOS 的 GPS 单频和双频用户以及 GPS/Galileo 单频和双频用户的完备性。首先, 根据 GPS 和 Galileo 的 YUMA 历书(Galileo 的 YUMA 历书数据为模拟数据)计算得到 GPS 和 Galileo 的卫星轨道; 然后, 参考 EGNOS 系统的 EMS 服务播发的实时数据信息^[10], 以播发的各参数值为参考, 设置以下参数:所有的 GPS 卫星和 Galileo 卫星的用户差分伪距误差 $\sigma_{\text{UDRE}} = 3.75 \text{ m}$; EGNOS 的 3 颗静地卫星的 $\sigma_{\text{UDRE}} = 15 \text{ m}$; 电离层格网点垂直方向延迟改正误差 $\sigma_{\text{GIVE}} = 4.5 \text{ m}$ 。在模拟计算中, 假定系统各部分的可靠性为百分之百, 并不考虑各系统之间的系统差异。根据以上假设, 以采样间隔为 300 s 计算了 2010-08-27 全天 EGNOS 系统覆盖区域 $5^\circ \times 5^\circ$ 经纬格网点处用户的 XPL, 最后生成全天的可用性为 99% 的 XPL 等值域图。

3.1 单系统单频率模拟分析

EGNOS 系统在 GPS 单系统单频率(L_1)的情况下为欧洲地区用户提供的可用性为 99% 的 HPL 和 VPL, 如图 1 所示。图 1 中结果表明, 用户的 HPL 均小于 20 m, 部分地区优于 15 m; VPL 均小于 40 m, 在欧洲中部地区 VPL 的值优于 25 m。与 APV-I 飞行阶段的 H/VAL 值比较, 可以得到在 GPS 系统的单频(L_1)情况下 EGNOS 系统满足欧洲地区用户提供 APV-I 飞

行阶段的完备性要求。

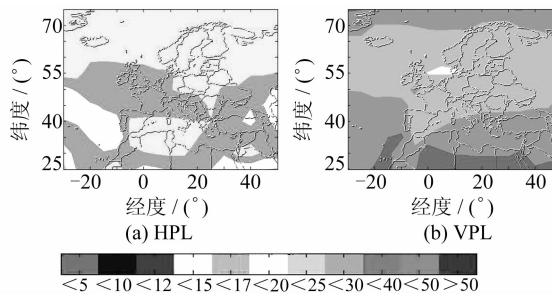


图 1 单频率用户在 GPS 系统下的 HPL 和 VPL

Fig. 1 Single-Frequency User's HPL and VPL Under GPS

3.2 双系统单频率模拟分析

图 2 是 GPS/Galileo 双系统单频率(L_1)用户的 HPL 和 VPL 值。模拟结果表明, HPL 值在绝大部分欧洲地区均小于 10 m; 只在东南部极少的区域大于 10 m; VPL 值在欧洲的绝大部分地区均小于 20 m, 在北纬 50°~65° 间甚至优于 15 m, 只是在东经 10°~25° 之间的极少部分区域大于 20 m。所以 GPS/Galileo 双系统单频率(L_1)用户得到的完备性可以满足 APV-II 飞行阶段的要求。

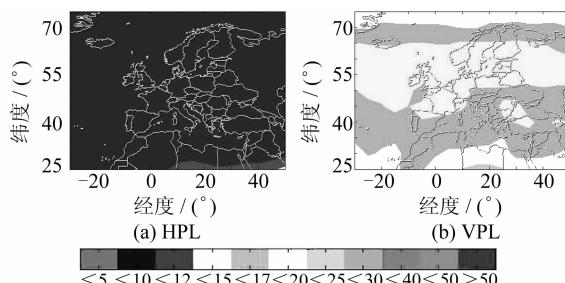


图 2 单频率用户在 GPS/Galileo 系统下的 HPL 和 VPL

Fig. 2 Single-Frequency User's HPL and VPL Under GPS/Galileo

3.3 单系统双频率模拟分析

单系统双频率(L_1-L_5)用户的 HPL 和 VPL 如图 3 所示。模拟结果表明, EGNOS 系统提供的 HPL 值在欧洲的绝大部分地区小于 10 m。图 3 (b) 中所给出的 VPL 值在欧洲的绝大部分地区小于 15 m, 最大的 VPL 值也小于 20 m, 所以, GPS 单系统双频率(L_1-L_5)用户在 EGNOS 系统下得到的完备性好于单系统单频率用户, 能为欧洲地区用户提供 APV-II 飞行阶段的完备性导航。

3.4 双系统双频率模拟分析

图 4 是 GPS/Galileo 双系统双频率(L_1-L_5)情况下 EGNOS 系统所提供的 HPL 和 VPL。可以看出, HPL 值在欧洲的绝大部分地区均小于 5

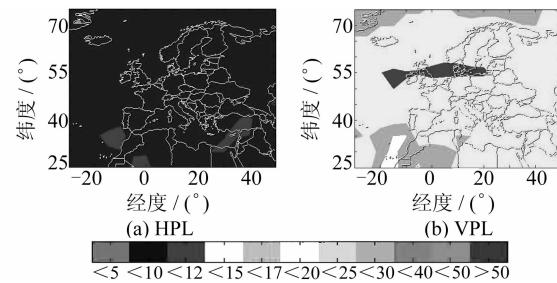


图 3 双频用户在 GPS 系统下的 HPL 和 VPL

Fig. 3 Double-Frequency User's HPL and VPL Under GPS

m, 少部分地区大于 5 m 但小于 10 m; VPL 值都小于 12 m。由 Cat-I 飞行阶段的 HAL=40 m、VAL=12 m 的要求可知, EGNOS 系统可以为 GPS/Galileo 双系统双频率(L_1-L_5)用户提供 Cat-I 飞行阶段的完备性导航。

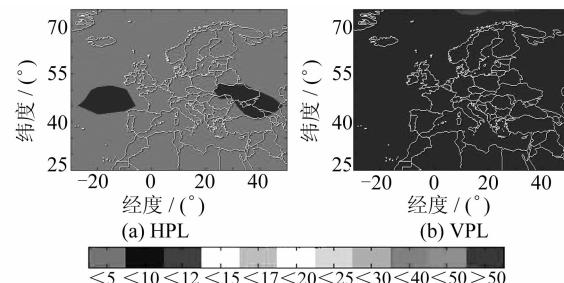


图 4 双频用户在 GPS/Galileo 系统下的 HPL 和 VPL

Fig. 4 Double-Frequency User's HPL and VPL Under GPS/Galileo

4 结语

- 1) 在 GPS 单系统单频率(L_1)的情况下, EGNOS 系统能为欧洲地区提供 APV-I 飞行阶段的完备性导航。

- 2) 在 GPS/Galileo 双系统单频率(L_1)的情况下, EGNOS 系统能为绝大部分欧洲地区用户提供 APV-II 飞行阶段的完备性导航。

- 3) 在 GPS 单系统双频率(L_1-L_5)的情况下, EGNOS 系统能满足欧洲地区用户 APV-II 飞行阶段的完备性能要求, 其完备性能与 GPS/Galileo 双系统单频率(L_1)的完备性能相当。

- 4) 在 GPS/Galileo 双系统双频率(L_1-L_5)的情况下, EGNOS 系统能够满足欧洲地区 Cat-I 飞行阶段的完备性能要求。

参 考 文 献

- [1] Jan S S, Chan W, Walter T, et al. MATLAB Simulation Toolset for SBAS Availability Analysis[C].

- [1] ION GPS2001, Salt Lake City, 2001
- [2] Jan S S. Analysis of a Three-Frequency GPS/WAAS Receiver to Land an Airplane[C]. ION GPS 2002, Portland ,2002
- [3] 何骞,王天应,施闯.浅析 WAAS 完好性算法[J].地理空间信息, 2007,5(6):54-56
- [4] 吴云.GNSS 接收机自主完备性监测研究[D].武汉:武汉大学,2009
- [5] 秘金钟,赵春梅,李玮. Galileo 中国区域完备性监测指标 SISMA 研究[J]. 武汉大学学报·信息学版, 2009,34(10):1 172-1 175
- [6] 吴云.GNSS 粗差检测的“快照”法与“滤波”法的比较研究[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2010, 35 (6):649-652
- [7] Lyon A W, Westbrook J, Guida U. Operating EGNOS [C]. ION GNSS the 18th International Technical Meeting of the Satellite Division, Long Beach ,2005
- [8] Berenguer X, Ruf C, Levy J C, et al. EGNOS Performance at System ORR[C]. ION GNSS the 18th International Technical Meeting of the Satellite Division, Long Beach ,2005
- [9] 倪育德,刘瑞华. EGNOS 系统增强服务的原理与实现[J]. 中国民航大学学报. 2007, 25(5):25-28
- [10] European Space Agency. EGNOS Message Server [EB/OL]. <http://www.egnos-pro.esa.int/ems/index.html>, 2010
- [11] RTCA SC-159. RTCA DO-229D Minimum Operational Performance Standard for Global Positioning System/Wide Area Augmentation System Airborne Equipment [S]. Washington D C, USA: RTCA, 2006
- [12] Jan S S. Aircraft Landing Using a Modernized Global Positioning System and the Wide Area Augmentation System[D]. Stanford: Stanford University, 2003
- [13] Roturier B, Chatre E, Ventura-Traveset J. The SBAS Integrity Concept Standardised by ICAO: Application to EGNOS [C]. GNSS' 2001, New York, 2001

第一作者简介:吴云,副教授,博士,现从事 GNSS 接收机的自主完备性监测算法研究。

E-mail:ywu@sgg.whu.edu.cn

Simulation and Analysis of EGNOS System's Integrity Under Multi-system with Multi-frequency

WU Yun¹ YANG Xinchun² CHEN Hui³ ZHAI Guang¹

(1) School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

(2) Mianyang Geomatics Engineering Institute, 15 Shenjiaba Street, Mianyang 621000, China)

(3) Faculty of Information Engineering, China University of Geosciences, 388 Lumo Road, Wuhan 430074, China)

Abstract: The algorithm of integrity with different frequencies of the EGNOS system is deduced. The regional integrity of EGNOS system is simulated under GPS and GPS/Galileo systems with different frequencies. The results show that the EGNOS can provide Cat-I integrity requirement in case of GPS/GALILEO systems with double-frequency.

Key words: EGNOS;integrity;HPL;VPL

About the first author: WU Yun, associate professor, Ph.D., majors in GNSS RAIM algorithm.

E-mail: ywu@sgg.whu.edu.cn