

В.В. Конін, д.т.н.
 О.С. Погурельський, к.т.н.
 Ф.О. Шишков
 (Національний авіаційний університет, Україна)

Методика моніторингу характеристик EGNOS із застосуванням програмного забезпечення PEGASUS

Описана методика регулярного моніторингу характеристик EGNOS із застосуванням приймального обладнання лабораторії супутникової навігації та програмного забезпечення PEGASUS. Приведені результати оцінки характеристик EGNOS.

Вступ.

З липня 2012 року функціонує Європейське широкозонне функціональне доповнення EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service). Це спільний проєкт ESA (European Space Agency), Європейської Комісії та EUROCONTROL. Основна мета його реалізації – покращення характеристик супутникової навігації для користувачів, розташованих в європейському регіоні за рахунок прийому додаткової інформації з одного з трьох геостационарних супутників. Для формування навігаційного повідомлення EGNOS використовуються результати мережі станцій RIMS (Range and Integrity Monitoring Stations), розподілені по континенту (рис. 1).

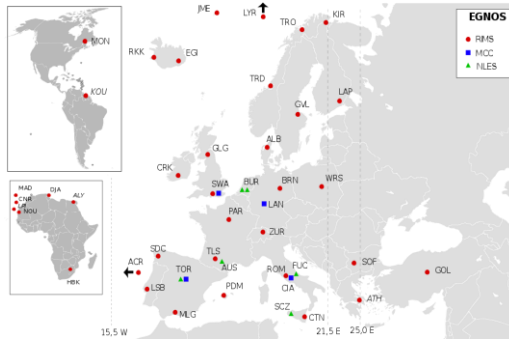


Рис. 1 Мережа станцій RIMS

Оскільки існуюча мережа наземних станцій є нерівномірною, то ефективність застосування корекцій EGNOS залежить від географічного розташування користувача, його віддаленості від найближчих станцій збору інформації. Можливість застосування повідомлень EGNOS в Україні обумовлена 100% доступністю геостационарних супутників, які їх транслюють. Навіть не зважаючи на те, що в Україні не встановлено власної RIMS станції, ефект від застосування інформації від цього функціонального доповнення відчутний і може бути досліджений.

Засоби та методика моніторингу.

Відповідно до вимог ICAO, наведених в Annex10 та ряді інших документів, для підтвердження можливості застосування EGNOS в якості SBAS (Satellite Based Augmentation System) параметрами до яких висуваються вимоги є точність, цілісність, безперервність та доступність SIS (Signal in Space) сигналу в просторі.

PEGASUS (Prototype EGNOS and GBAS Analysis System Using SAPHIRE) це спеціально створений програмний продукт для комплексного аналізу даних GNSS (Global Navigation Satellite System) із застосуванням інформації від різних SBAS та GBAS доповнень з використанням лише тих алгоритмів, які містяться в опублікованих офіційних стандартах. Цей інструмент було розроблено спеціально для моніторингу та аналізу показників ефективності EGNOS в процесі його розгортання та функціонування. Потенційними користувачами передбачені провайдери аеронавігаційного обслуговування, які зацікавлені в одержанні та постійному контролі цих оцінок.

PEGASUS містить ряд таких функцій, як розрахунок позиції методом симуляції роботи стандартного приймача та визначення додаткових оцінок показників, які можуть бути одержані при застосуванні функціональних доповнень: точність, цілісність, розрахунок траєкторних помилок, прогноз безперервності та доступності, а також симуляція алгоритмів обробки наземної станції GBAS.

Результати, які надає PEGASUS дозволяють:

- здійснювати перевірку відповідності стандартам ICAO, RTCA та EUROCAE GNSS;
- контролювати відповідність показників GNSS регіональним вимогам;
- здійснювати обмін відповідними результатами для накопичення статистичних даних;
- проводити незалежний від розробників функціонального доповнення моніторинг його показників ефективності.

Програмний комплекс PEGASUS не знаходиться у вільному доступі і був одержаний лабораторією супутникових технологій НАУ безпосередньо від EUROCONTROL після направлення офіційного запиту.

Для одержання експериментальних даних використовується приймальне обладнання лабораторії, до складу якого входить комплекс антен, розташованих на даху 11 корпусу НАУ (рис. 2) та супутниковий навігаційний приймач ProPackG2 в режимі прийому та застосувань повідомлень EGNOS (рис. 3).



Рис. 2 Антена на 11 корпусі НАУ



Рис.3 Інтерфейс приймача ProPackG2

Реалізація моніторингу із застосуванням PEGASUS полягає у виконанні наступних етапів:

1. *Забезпечення безперешкодного прийому сигналів основного сузір'я супутників GNSS та геостаціонарних супутників EGNOS.*

При виконанні цього етапу необхідно врахувати наступне. На поточний момент часу основним сузір'ям є супутники GPS однак в майбутньому EGNOS доповнюватиме європейську супутникову систему Galileo. Вимоги до розташування приймальної антени передбачають максимальну видимість небесної півсфери та мінімізацію багатопроменевого прийому. Кут піднесення геостаціонарних супутників становить для широти Києва не перевищує 30°.

2. *Запис комплексного набору даних.*

Перелік даних, необхідних PEGASUS для розрахунків та формування звітів міститься в Receiver Configuration Document. Для запису використовується інтерфейс навігаційного приймача. Як було виявлено експериментально існує можливість запису даних з різною частотою, що дозволяє одержувати на коротших інтервалах часу більшу виборку для статистичних оцінок.

3. *Обробка експериментальних даних інструментарієм PEGASUS.*

Для обробки використовується комплекс програм попередньо встановлених на ПК. Налаштування передбачають введення необхідних для розрахунків даних, таких як точні координати розташування приймальної антени, тип аналізу який має бути виконаний за отриманими даними.

4. *Формування звіту*

Результатом роботи PEGASUS є формування звіту з яким може виконуватись поглиблене дослідження. Серед можливостей зокрема передбачені автоматична передача звіту в центр збору статистичної інформації, виведення та видозміна усіх сформованих графіків, виведення розширених даних по ряду оцінюваних параметрів.

5. *Оприлюднення результатів моніторингу*

Сформовані PEGASUS звіти можуть бути переведені в компактний формат PDF-файлу та опубліковані. Налаштування передбачають автоматичне зазначення в спеціальних полях інформації про місце його одержання звіту та виконавців дослідження.

Результати моніторингу.

За наведеною методикою лабораторія супутникових технологій НАУ виконує постійний моніторинг EGNOS з середини 2016 року. Стандартні звіти, одержані після обробки 6-10 годинних записів даних, оприлюднюються на сайті аерокосмічного центру НАУ (рис. 4) і доступні для вільного поширення. До обробки значного об'єму накопиченої інформації про поточне функціонування EGNOS долучаються студенти кафедри аеронавігаційних систем в рамках курсового та дипломного проектування. Проведення моніторингу EGNOS і в подальшому перспективне з огляду на плани розробників системи по розширенню мережі наземних станцій на Україну, а також по переходу до роботи із сузір'ям Galileo.

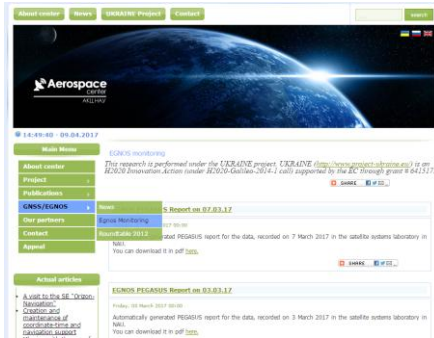


Рис. 4 Організація доступу до результатів моніторингу EGNOS на сайті Аерокосмічного центру НАУ (<http://www.asc.nau.edu.ua>)

Звіти містять докладну інформацію по кількості кожного з типу прийнятих повідомлень (MT), статистичні оцінки показників ефективності EGNOS в точці запису файлу даних (рис. 5).

| Broadcast SBAS Messages : | | Accuracy statistics : | | | | | |
|---------------------------|--------------------|-----------------------|---------|---------|---------|-------|---------|
| MT | number of messages | % | Valid | APV-1 | LPV-200 | CAT-1 | APV-35m |
| MT 0 | 0 | 0 | 1.85531 | 1.77209 | 1.77742 | NaN | 1.77742 |
| MT 1 | 224 | 1.24438 | NaN | 4.50594 | 4.54987 | NaN | 4.54987 |
| MT 2 | 4427 | 24.5931 | 1.5473 | 1.41003 | 1.35841 | NaN | 1.35841 |
| MT 3 | 4509 | 25.0486 | NaN | 3.15898 | 2.22114 | NaN | 2.22114 |
| MT 4 | 4460 | 24.7764 | | | | | |
| MT 5 | 0 | 0 | | | | | |
| MT 6 | 19 | 0.10555 | | | | | |
| MT 7 | 223 | 1.23882 | | | | | |
| MT 9 | 225 | 1.24993 | | | | | |
| MT 10 | 221 | 1.22771 | | | | | |
| MT 12 | 96 | 0.53304 | | | | | |
| MT 17 | 89 | 0.494417 | | | | | |
| MT 18 | 469 | 2.60541 | | | | | |
| MT 24 | 0 | 0 | | | | | |
| MT 25 | 927 | 5.14971 | | | | | |
| MT 26 | 2022 | 11.2327 | | | | | |
| MT 27 | 90 | 0.499972 | | | | | |
| MT 28 | 0 | 0 | | | | | |
| MT 62 | 0 | 0 | | | | | |
| MT 63 | 0 | 0 | | | | | |
| Total | 18001 | 100 | | | | | |

| Availability : | | | | | | |
|-----------------|----------|----------|----------|-------|----------|--|
| | Valid | APV-1 | LPV-200 | CAT-1 | APV-35m | |
| Signal in Space | 0.974156 | 0.85257 | 0.770654 | 0 | 0.770654 | |
| measurements | 0.958185 | 0.838593 | 0.758019 | 0 | 0.758019 | |
| Operational | 1.76778 | 1.54714 | 1.39849 | 0 | 1.39849 | |

| Discontinuity events : | | | | | | |
|------------------------|------------|------------|-----------|-------|-----------|--|
| | Valid | APV-1 | LPV-200 | CAT-1 | APV-35m | |
| All | 47 | 155 | 254 | -- | 254 | |
| Long | 8 | 37 | 80 | -- | 80 | |
| Independent | 8 | 19 | 26 | -- | 26 | |
| P(disc.) | 0.00296699 | 0.00805153 | 0.012189 | NaN | 0.012189 | |
| P(slide) | 0.0165286 | 0.052674 | 0.0703682 | NaN | 0.0703682 | |

| extremes : | | | | | | | |
|-------------|--------|---------|---------|-----------|-----------|---------|-----------|
| | Epoch | HPE | HPL | HPE/HPL | VPE | VPL | VPE/VPL |
| max normHor | 569510 | 1.5201 | 10.5684 | 0.143835 | -0.119931 | 19.4671 | 0.0061607 |
| max normVer | 553833 | 1.43134 | 16.3131 | 0.0877415 | -2.6544 | 23.4031 | 0.113421 |
| max HPE | 563191 | 4.18834 | 192.599 | 0.0217464 | 6.2105 | 374.242 | 0.0165949 |
| max VPE | 551797 | 3.70121 | 304.4 | 0.012159 | -8.18083 | 501.696 | 0.0163064 |
| min HPL | 558988 | 1.19385 | 9.52778 | 0.125302 | -0.737556 | 18.5599 | 0.0397392 |
| min VPL | 566771 | 1.03611 | 15.878 | 0.0652547 | 0.400843 | 14.5684 | 0.0275146 |

Рис. 5 Представлення числових результатів оцінки показників EGNOS

Також сформовані звіти містять значну кількість інформації, представленої у графічному вигляді, на яких відтворюються зміни спостережуваних параметрів протягом інтервалу запису (рис. 6), представлення розподілу помилок місце визначення (рис. 7), стенфордський графік класифікації стану навігаційної системи (рис. 8) та зміни відношення сигнал/завад (рис. 9).

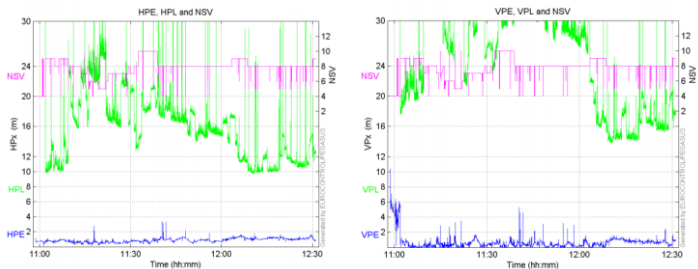


Рис. 6 Зміна протягом спостереження значень HPE, HPL, VPE, VPL

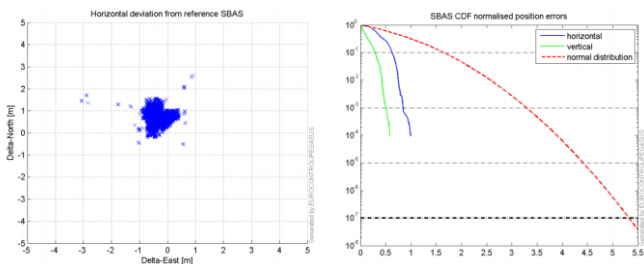


Рис. 7 Розподіл помилок місцевизначення із застосуванням EGNOS

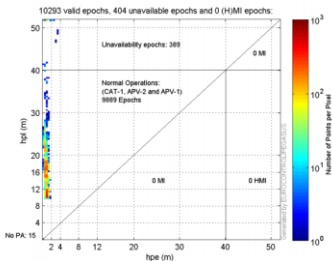


Рис.8 Стенфордський графік стану навігаційної системи

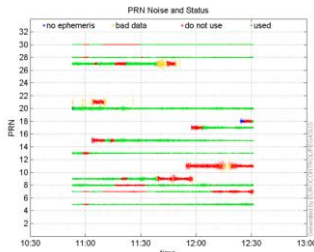


Рис. 9 Зміна відношення сигнал/завада

Висновки.

Моніторинг характеристик EGNOS із застосуванням програмного забезпечення PEGASUS дозволяє відслідковувати якісні зміни, які відбуваються з супутниковою навігацією з позицій користувачів, розташованих в Києві. Поширення цієї інформації через мережу Internet та її порівняльний аналіз з аналогічними результатами одержаними в інших точках надає основу для планування майбутнього розширення мережі наземних станцій на територію України.

Список літератури

1. Konin V., Shyshkov F. InsideGNSS, Jan-Feb 2015, P.50 - 54.