

ВИЗНАЧЕННЯ ЦІЛІСНОСТІ СИГНАЛІВ У ПРОСТОРІ СУПУТНИКОВОЮ СИСТЕМОЮ ПОСАДКИ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН

В.В. Конін. О.В. Куценко

Національний авіаційний університет, Україна

Вступ

Безпека та ефективність польотів повітряних суден забезпечується системами організації повітряного руху. Як зазначено в [1], складовими частинами даних систем, які виконують основні функції, є зв'язок навігація та спостереження. В сучасній інтерпретації глобальні системи з функціями зв'язку, навігації, спостереження визначаються як системи CNS/ATM. До нових основних вимог, які висуваються в навігації – це широке використання глобальної системи супутникової навігації GNSS для всіх стадій польоту з метою забезпечення основної економічної переваги систем CNS/ATM, а саме: виводу з експлуатації матеріалоємної частини існуючої навігаційної системи. Супутникова система посадки складається з навігаційних супутників GNSS, а також з наземної та бортової підсистем. Наземна підсистема складається з кількох (від двох до чотирьох) опорних навігаційних приймачів апаратури передачі даних на бортову підсистему та контрольну апаратуру. Бортова підсистема складається з навігаційного приймача, апаратури прийому даних з наземної підсистеми та контрольної апаратури.

Актуальність досліджень

Етапу посадки повітряного судна приділяється особлива увага, як одному з найбільш небезпечних етапів польоту. Велика увага приділяється цілісності сигналів у просторі супутникової системи посадки. Відповідно до [2] цілісність – це міра довіри, яку можна віднести до правильності інформації, що надається системою в цілому. Цілісність включає в себе здатність системи забезпечити користувача своєчасними і достовірними попередженнями (спрацюваннями сигналізації) в тих випадках коли система не повинна використовуватися для наміченої операції чи етапу польоту.

Постановка задачі

Сигнали у просторі визначаються в [3] як вихідні дані ідеалізованого безпомилкового бортового навігаційного приймача. Даний приймач визначається як такий, що не може мати збоїв роботи, які впливають на цілісність. При цьому варто зазначити, що відсутність збоїв зовсім не означає відсутності похибок визначення позиції. Тут мається на увазі, що приймач не має затримок та помилок при обробці отриманих даних. Це дозволяє розглядати цілісність просторових сигналів в сфері позиції повітряного судна враховуючи тільки наземну підсистему та передачу даних.

Бортова підсистема провадить моніторинг навігаційного приймача окремо від моніторингу сигналів у просторі за для забезпечення задовільного рівня цілісності системи в цілому.

Наземною підсистемою провадиться моніторинг корекцій псевдовідстаней, а також моніторинг параметрів наземного і космічного сегментів GNSS з метою забезпечення вчасного визначення та індикації неправильної роботи супутникової системи посадки чи інші обставин які можуть спричинити небезпеку при використанні сигналів у просторі. За результатами моніторингу наземна підсистема забезпечує передачу на борт параметрів цілісності описаних в [4].

Вимоги що до цілісності визначення позиції включають три елементи:

1. ймовірність того, що похибка визначення позиції більша ніж допустима похибка, яка не спричиняє спрацювання сигналізації;
2. проміжок часу до спрацювання сигналізації;

3. величина гранично допустимої похибки яка не спричиняє спрацювання сигналізації.

Для супутникової системи посадки умова, яка спричиняє спрацювання сигналізації, визначається як похибка визначення позиції більша гранично допустимої похибки протягом часу який більше за час до спрацювання сигналізації. Нажаль, справжню похибку визначення позиції визначити не можливо. Довірчий інтервал похибки розраховується на основі параметрів похибок наданих наземною підсистемою та визначених характеристик бортового безпомилкового приймача і називається рівнем захисту.

Поняття недостовірної інформації, яка може міститися в сигналах у просторі, має велике значення при визначенні похибки місцезнаходження повітряного судна. Залишкові похибки скоректованої псевдовідстані проєктуються в локальну систему координат пов'язану злітно-посадковою смугою з урахуванням геометрії навігаційних супутників в будь-який момент часу. Унікальним аспектом використання супутникової системи посадки являється зміна в часі характеристик системи внаслідок зміни геометрії розташування навігаційних супутників. Також система підлягає впливу ряду факторів, які спричиняють похибки різних джерел походження. За походженням, джерела похибок поділяються на наступні категорії: навігаційні супутники, середовище розповсюдження сигналів, опорні приймачі наземної підсистеми, власне обладнання наземної станції та обладнання бортової підсистеми. До джерел похибок навігаційних супутників відносяться: дрейф шкали годинника, неточність переданих ефемерид, збої передавача навігаційного супутника, зсув переданого коду відносно фази несучої та деформація переданого сигналу. До джерел похибок середовища розповсюдження сигналу відносяться: іоносферні просторовий та короткотерміновий градієнти, тропосферна затримка, інтерференція сигналів біля опорних приймачів та повітряного судна, а також помилки, що виникають при прийомі диференційних поправок. До джерел похибок наземних опорних приймачів відносяться: апаратура наземних антен та приймачів, а також дзеркальна та розсіяна багатопроменевість при прийомі сигналів. До джерел похибок наземної станції відносяться: збої програмного забезпечення, збої передавача диференційних поправок та зміщення фазових центрів антен опорних приймачів як спільне так і окремо кожного. До джерел похибок обладнання бортової підсистеми відносяться: апаратура бортових приймача і антени, збої програмного забезпечення, а також багатопроменевість при прийомі сигналів від супутників та наземного обладнання.

Похибки від деяких джерел повністю усуваються в наземній чи бортовій підсистемі, а також за допомогою авіоніки, що не відноситься до супутникової системи посадки. Проте, в більшості випадків після диференційних корекцій, згладжування фазою несучої та інших засобів в даних все ж присутні залишкові похибки, за якими ведеться моніторинг. Відповідно до результатів моніторингу встановлюються показники точності наземного (GAD) та бортового (AAD) обладнання. GAD являє собою комбінацію літери та цифри. Літера А – представляє точність досягну при використанні доступних на даний момент приймачів та обмежених методик придушення багатопроменевості. Літера В – представляє точність досягну при використанні високоточних навігаційних приймачів та кращих методик придушення багатопроменевості. Літера С – представляє точність досягну при використанні найкращих на даний момент навігаційних приймачів та методик придушення багатопроменевості. Цифра представляє кількість навігаційних приймачів наземної підсистеми GBAS. AAD являє собою літеру. Літера А – представляє точність досягну при використанні доступних на даний момент приймачів. Літера В – представляє точність досягну при використанні найкращих на даний момент навігаційних приймачів.

Задача моніторингу цілісності сигналу в просторі полягає в тому, щоб переконатися, що ймовірність того, що недостовірна інформація буде надана повітряному судну не бортовими елементами супутникової системи посадки є суттєво низькою. Дана задача частково виконується за допомогою розрахунку довірчого інтервалу сукупної похибки навігаційної системи (NSE) для даної геометрії розташування навігаційних супутників і порівняння отриманого значення з деякими визначеними порогоми спрацювання сигналізації, а саме вертикальним (VAL) та боковим (LAL) порогом спрацювання сигналізації. Якщо поточна похибка навігаційної системи більша ніж поріг спрацювання сигналізації протягом проміжку часу до спрацювання сигналізації то вважається що присутня недостовірна інформація. Якщо ймовірність недостовірної інформації не є суттєво низькою, то цілісність системи не забезпечується.

Оскільки істина позиція повітряного судна не відома, то і дійсну похибку визначення позиції теж не можна визначити. Верхні межі довірчих інтервалів похибки визначення позиції по вертикалі і по боку можуть бути визначені з використанням даних наданих наземною підсистемою та характеристик бортового безпомилкового приймача, і називаються рівнями захисту по вертикалі (VPL) і по боку (HPL). При цьому розглядається дві гіпотези збою супутникової системи посадки:

- H_0 – описує так звані умови нормальних вимірювань коли вважається, що відсутні збої в роботі усіх наземних опорних приймачів та усіх навігаційних супутників.
- H_1 – описує так звані умови вимірювань з помилками коли вважається, що присутній збій в одному і тільки одному опорному приймачі, який не відслідковуються наземною підсистемою спричиняє спотворення в переданій наземною підсистемою інформації і вносить похибку в визначення позиції бортовою підсистемою.

Відповідно розглядається рівні захисту за умови гіпотези H_0 та H_1 , з яких обирається більше значення

$$VPL = \text{MAX}\{VPL_{H_0}, VPL_{H_1}\}, \quad LPL = \text{MAX}\{LPL_{H_0}, LPL_{H_1}\}.$$

Відповідно до [2] рівні захисту за умови гіпотези H_0 визначаються за виразами

$$VPL_{H_0} = K_{ffmd} \sqrt{\sum_{i=1}^N (s_vert_i^2 \times \sigma_i^2)};$$

$$LPL_{H_0} = K_{ffmd} \sqrt{\sum_{i=1}^N (s_lat_i^2 \times \sigma_i^2)},$$

а за умови гіпотези H_1

$$VPL_{H_1} = \text{MAX}\left\{ \left| \sum_{i=1}^N (s_vert_i \times B_{i,j}) \right| + K_{md} \sqrt{\sum_{i=1}^N (s_vert_i^2 \times \sigma_{H1_i}^2)} \right\};$$

$$LPL_{H_1} = \text{MAX}\left\{ \left| \sum_{i=1}^N (s_lat_i \times B_{i,j}) \right| + K_{md} \sqrt{\sum_{i=1}^N (s_lat_i^2 \times \sigma_{H1_i}^2)} \right\}$$

де: N - кількість навігаційних супутників;

M - кількість опорних навігаційних приймачів наземної підсистеми;

K_{ffmd} - це множник отриманий з ймовірності не виявлення збою за умови гіпотези

H_0 ;

K_{md} - це множник отриманий з ймовірності не виявлення збою за умови гіпотези

H_1 ;

$$s_lat_i = s_{y,i};$$

$$s_vert_i = s_{v,i} + s_{x,i} \times tg(GPA);$$

$s_{x,i}, s_{y,i}, s_{v,i}$ - часткові похідні похибки по позиції по осям системи координат зв'язаної з посадковою смугою відносно похибки по псевдовідстані для і-го навігаційного супутника, які можна отримати як елементи матриці проєкції S яку можна визначити за допомогою виразу

$$S = \begin{bmatrix} s_{x,1} & s_{x,2} & \dots & s_{x,N} \\ s_{y,1} & s_{y,2} & \dots & s_{y,N} \\ s_{v,1} & s_{v,2} & \dots & s_{v,N} \\ s_{t,1} & s_{t,2} & \dots & s_{t,N} \end{bmatrix} = (G^T \times W \times G)^{-1} \times G^T \times W$$

де $G_i = [-\cos(El_i) \quad \cos(Az_i) - \cos(El_i) \quad \sin(Az_i) - \sin(El_i) \quad 1]$ - рядок матриці G для і-го навігаційного супутника, $W = (diag[\sigma_1 \quad \sigma_2 \quad \dots \quad \sigma_N])^{-1}$;

$\sigma_i = \sqrt{\sigma_{pr_gnd,i}^2 + \sigma_{res,i}^2 + \sigma_{multipath,i}^2 + \sigma_{tropo,i}^2 + \sigma_{iono,i}^2}$ - похибка визначення псевдовідстані і-го навігаційного супутника;

$\sigma_{pr_gnd,i}$ - параметр що передається наземною підсистемою і являє собою похибку яку вносить наземна підсистема для і-го навігаційного супутника;

$\sigma_{tropo,i}$ - залишкова тропосферна невизначеність для і-го навігаційного супутника;

$\sigma_{iono,i}$ - залишкова іоносферна невизначеність для і-го навігаційного супутника;

$\sigma_{res,i}$ - похибку приймача бортової підсистеми для і-го навігаційного супутника;

$\sigma_{multipath,i}$ - похибку в наслідок багатопроменевості від корпусу повітряного судна для і-го навігаційного супутника;

El_i - кут місця і-го навігаційного супутника;

Az_i - азимут і-го навігаційного супутника який відраховується по годинниковій стрілці від осі x системи координат пов'язаної з злітно-посадковою смугою;

GPA - кут глісади для кінцевої ділянки заходу на посадку;

$B_{i,j}$ - параметр що передається наземною підсистемою і являє собою різницю між переданою поправкою до псевдовідстані та поправкою отриманою при виключенні j -го навігаційного супутника з розрахунку для і-го навігаційного супутника;

$\sigma_HI_i = \sqrt{\frac{M}{M-1} \sigma_{pr_gnd,i}^2 + \sigma_{res,i}^2 + \sigma_{multipath,i}^2 + \sigma_{tropo,i}^2 + \sigma_{iono,i}^2}$ - похибка визначення псевдовідстані і-го навігаційного супутника з урахуванням гіпотези HI .

Висновки

В даному огляді представлені особливості визначення цілісності супутникової системи посадки, а саме класифікація обладнання наземної та бортової підсистем, огляд похибок, які можуть виникнути при функціонуванні системи та методику визначення рівнів захисту.

ЛІТЕРАТУРА

1. В.В. Конин, В.П. Харченко Системы спутниковой навигации .- К.Холтех, 2010. – 250 с.

2. ICAO Приложение 10 Авиационная электросвязь том 1 шестое издание, 2006. – 606 с.
3. RTCA DO - 245A MINIMUM AVIATION SYSTEM PERFORMANCE STANDARDS FOR THE LOCAL AREA AUGMENTATION SYSTEM (LAAS) 2004. - 226 с.
4. Методика оцінки параметрів цілісності авіаційною контрольно-корегувальною станцією / В.В. Конін, О.В. Куценко. // Вісник Інженерної Академії України, №1, 2009.