

УДК 629.7.07(043.2)

Павловський І.В., студент

Конін В.В., д.т.н., проф.

Національний авіаційний університет, м. Київ

## МОДЕЛЬ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУПУТНИКОВОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ БЕЗПЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

Основною функцією супутникової навігаційної системи (СНР) безпілотного літального апарату (БПЛА) є визначення координат, швидкості та часу. Легкі БПЛА із злітною масою кілька десятків кг та дальністю польоту до 50 км можуть функціонувати в умовах сильно пересіченої місцевості та складної заводової обстановки. При визначенні координат по сигналах навігаційних супутників головним параметром у вирішенні навігаційної задачі є дальність (псевдодальність) кожного супутника у зоні видимості. На помилки визначення псевдодальності впливають ефемериди супутників, іоносфера та тропосфера, перешкодова обстановка, розташування супутників щодо БПЛА, маневрування БПЛА. У цій доповіді наводиться модель оцінки позиції БПЛА з урахуванням похибок псевдодальностей, які ставляться статистично.

В основу моделі покладено ітераційний метод оцінки координат [1], об'єднаний зі статистичною моделлю псевдодальностей, яка додається до правої частини рівняння (4. 44) [1]. Статистична модель псевдодальності  $P(k)$  додається у вигляді

$$P(k) = p(k) + f(\mu, \sigma, k)P(k) = p(k) + f(\mu, \sigma, k),$$

де  $p(k)$  - виміряні псевдодальності до  $k$  супутників,  $f(\mu, \sigma, k)$  - генератор випадкових чисел,  $\mu$  - середнє значення випадкового числа,  $\sigma$  - стандартне відхилення.

Вхідними даними для проведення досліджень за запропонованою моделлю є ефемериди навігаційних супутників, псевдодальності, параметри генератора випадкових чисел. Вихідними даними можуть бути статистичні характеристики позиції в тривимірному просторі. У модель закладено можливість формувати довільну комбінацію двох супутникових систем, змінювати кут маски, виводити графічні дані результатів моделювання. Для ілюстрації роботи моделі наведемо два сценарії з результатами моделювання.

Як вхідні дані використовуються експериментальні значення ефемерид і псевдодальностей GPS і ГЛОНАСС.

Матриця ефемерид для 15 супутників має наступний вигляд:

Eph = [0.743969507931521 1.835943245181110 1.824205022459420  
1.320239946541640 1.265473192832610 1.913643631443840  
-0.350453372350397 2.277674219512480 1.340534817502060  
-1.628294545094400 -0.127069173493271 2.105294547927350  
0.691073942467448 -1.558169493777120 2.021021585506690  
1.991453909131120 1.130942349856910 1.344546297508410  
2.369773179922120 -0.776041642074437 0.923392825341097

```

0.996656645967017 -1.436313261124170 1.993763526256420
-1.692888811957120 0.166788670427429 2.093755983709060
1.233256010182990 2.367700964106590 -0.071202657299068
-1.650996681268890 1.085295610289370 1.803466000115140
-0.068190076000000 -1.613435565000000 1.972099924000000
-1.241174931000000 0.039757693000000 2.227131788000000
2.437598815000000 0.406305768000000 0.627283871000000
1.227906990000000 1.002612703000000 1.997446248000000]× 1.0e07.
    
```

Рядки 1-11 відносяться до супутників GPS, рядки 12-15 відносяться до ГЛОНАСС. Координати X, Y, Z супутників записані 1, 2, 3 стовпці відповідно. Експериментальні псевдодальності для 15 супутників представлені як:

```

P(k) = [2.142845384907509 2.022384662092726 2.346550318782243
2.576093739823005 2.360811083746415 2.068520592366336
2.286996688983165 2.318862603028191 2.597968254419408
2.401345415616430 2.550376275571986 2.372087393068987
2.350164697835089 2.089354978646578 1.905754132867241]× 1.0e07+
+ normrnd( $\mu$ ,  $\sigma$ , k),
    
```

де normrnd– генератор нормального розподілу випадкових чисел MatLab.

На рис. 1 (сценарій 1) зображені гістограми відхилень координат від номінального значення при використанні 15 супутників для  $\sigma = 4.2 м\sigma = 4.2 м$ , вугол маски рівен  $5^\circ$  і 1000 реалізацій генератора випадкових чисел.

На рис.2 (сценарій 2) наведено аналогічні результати для 5 супутників (1-GPS, 4-ГЛОНАСС). На рис.3 і рис.4 наведені відхилення координат по осях X, Y, Z в тривимірному просторі для цих сценаріїв.

На рис.3 і рис.4 наведені відхилення координат по осях X, Y, Z в тривимірному просторі для цих сценаріїв.

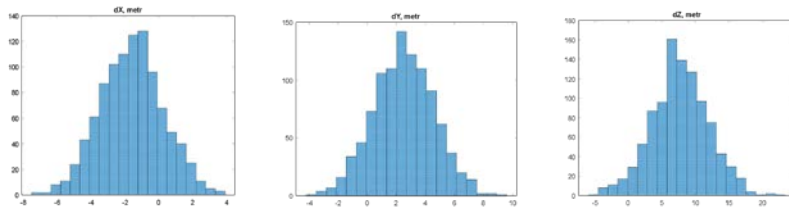


Рис. 1.

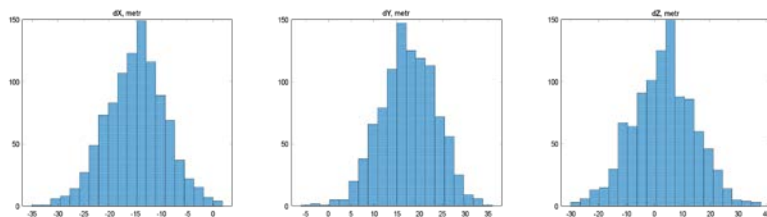


Рис. 2

GPS-11, GLONASS-4

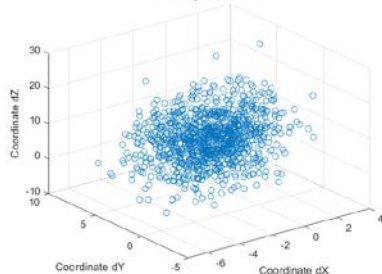


Рис. 3

GPS-1, GLONASS-4

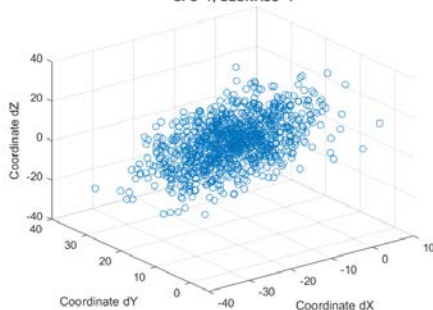


Рис. 4

Загалом запропонована модель є досить ефективною для дослідження можливостей навігації БПЛА у різних умовах.

Наприкінці зазначимо, що проєкт було виконано у лабораторії супутникової навігації НАУ у рамках дисципліни «Супутникова навігація».

#### Список використаних джерел

1. Конин В.В., Харченко В. П. Системы спутниковой радионавигации. – К.: Холтех, 210. – 520 с.