

УДК 629.78

І.О. Кашаєв¹, Р.В. Пугачов², І.В. Шуба², Є.І. Кашаєв¹¹Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків²Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКОВОЇ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ BEIDOU ДЛЯ ПОТРЕБ УКРАЇНИ

Наведено методику та результати моделювання стану супутникової навігаційної системи (СНС) Beidou з метою виявлення можливості її використання для потреб України. У якості критеріїв оцінювання застосовується найгірше за кількістю (мінімум) сузір'я навігаційних супутників та найгірше значення геометричного фактору (максимум).

Ключові слова: супутникова навігаційна система, сузір'я навігаційних супутників, геометричний фактор.

Вступ

У грудні 2012 року Китай офіційно заявив про початок повноцінної роботи національної СНС Beidou (Великий ківш) для потреб Азіатсько-Тихоокеанського регіону. У той же час на офіційному сайті системи було опубліковано інтерфейсний контрольний документ [1].

На сьогоднішній день система Beidou надає свої послуги державним (порятунок і пошук людей, оптимізація дорожнього руху), військовим користувачам і промисловості. У січні 2013 р. влада Китаю розпорядилася впроваджувати бортові навігаційні приймачі на базі Beidou на транспорті, що належить китайським автотранспортним підприємствам в дев'яти провінціях країни. Також приймачі з Beidou було вказано встановлювати на всі нові китайські вантажівки і трейлери, вироблені в цих провінціях.

Таким чином, на ринку космічної навігаційної інформації з'являється новий гравець, тому дослідження можливостей його використання для вирішення національних потреб, у тому числі й безпеки та оборони держави є актуальним питанням.

Основний матеріал

На жаль на сьогодні у відкритому доступі не розповсюджується альманах СНС Beidou (за прикладом ГЛОНАСС чи GPS), тому для прогнозу орбітального угруповання системи було використано каталог космічних об'єктів NORAD, який містить кеплерівські елементи орбіт усіх апаратів, що знаходяться у навколосезному середовищі.

Актуальні каталоги космічних об'єктів можна отримати на сайті [2], де можна завантажити альманах усієї системи, вибравши її назву у переліку (рис. 1), або на сайті [3], де можна вибрати різновид параметрів орбіти, але необхідно вводити номер кожного супутника згідно міжнародного каталогу. Параметри орбіти супутників системи Beidou наведено нижче (рис. 2).

| Space Track Data Access | | |
|--|---------------------|---------------------|
| Supplemental TLE Data | | |
| Space Track TLE Retriever 3 | | |
| needed to use the web services API on the new Space Track since 2013 F | | |
| Special-Interest Satellites | | |
| Last 30 Days' Launches | | |
| Space Stations | | |
| 100 (or so) Brightest | | |
| FENGYUN 1C Debris | | |
| IRIDIUM 33 Debris | | |
| COSMOS 2251 Debris | | |
| BREEZE-M R/B Breakup (2012-044C) | | |
| Weather & Earth Resources Satellites | | |
| Weather | | |
| NOAA | GOES | |
| Earth Resources | | |
| Search & Rescue (SARSAT) | | Disaster Monitoring |
| Tracking and Data Relay Satellite System (TDRSS) | | |
| Communications Satellites | | |
| Geostationary | | |
| Intelsat | | |
| Gorizont | Raduga | Molniya |
| Iridium | Orbcomm | Globalstar |
| Amateur Radio | Experimental | Other |
| Navigation Satellites | | |
| GPS Operational | Glonass Operational | |
| Galileo | Beidou | |
| Satellite-Based Augmentation System (WAAS/EGNOS/MSAS) | | |
| Navy Navigation Satellite System (NNSS) | | |
| Russian LEO Navigation | | |
| Scientific Satellites | | |
| Space & Earth Science | | |

Рис. 1. Сторінка з вибором альманаху навігаційної системи

Згідно офіційних даних на початок березня 2014 року успішно функціонують 15 супутників СНС Beidou: 5 – на геостационарних орбітах (GEO), 5 – на геосинхронних (IGSO) та ще 5 на середньовисотних (MEO), один з них працює у тестовому режимі. У планах до 2020 року повне розгортання системи – 30 супутників (5 супутників GEO, 22 супутника MEO і 3 супутника IGSO) [1].

| | | | | | | | | | |
|---|-------------|----------|----------------|------------|----------|----------|--|--|--|
| 1 | 31115U | 07011A | 13300.77405970 | -.00000075 | 00000-0 | | | | |
| | 00000+0 | 0 | 315 | | | | | | |
| 2 | 31115 | 053.8249 | 010.4565 | 0000660 | 223.9204 | 134.0913 | | | |
| | 01.77379773 | 44537 | | | | | | | |
| 1 | 36287U | 10001A | 13300.68163110 | -.00000289 | 00000-0 | | | | |
| | 10000-3 | 0 | 873 | | | | | | |
| 2 | 36287 | 001.5668 | 356.2138 | 0003371 | 204.7687 | 220.5383 | | | |
| | 01.00277630 | 13902 | | | | | | | |
| 1 | 36590U | 10024A | 13300.99689374 | -.00000358 | 00000-0 | | | | |
| | 10000-3 | 0 | 9331 | | | | | | |
| 2 | 36590 | 001.6202 | 031.3293 | 0002849 | 303.8454 | 170.7863 | | | |
| | 01.00269753 | 12500 | | | | | | | |
| 1 | 36828U | 10036A | 13300.92081278 | -.00000168 | 00000-0 | | | | |
| | 10000-3 | 0 | 8507 | | | | | | |
| 2 | 36828 | 054.4976 | 206.7111 | 0032018 | 185.7990 | 091.3504 | | | |
| | 01.00305164 | 11931 | | | | | | | |
| 1 | 37210U | 10057A | 13300.61703778 | -.00000116 | 00000-0 | | | | |
| | 10000-3 | 0 | 7982 | | | | | | |
| 2 | 37210 | 000.7883 | 038.5928 | 0007290 | 163.5424 | 216.1324 | | | |
| | 01.00273519 | 11020 | | | | | | | |
| 1 | 37256U | 10068A | 13299.91920860 | -.00000214 | 00000-0 | | | | |
| | 10000-3 | 0 | 7605 | | | | | | |
| 2 | 37256 | 054.5521 | 326.6063 | 0022028 | 198.6897 | 319.9517 | | | |
| | 01.00258107 | 10511 | | | | | | | |
| 1 | 37384U | 11013A | 13300.85540439 | -.00000109 | 00000-0 | | | | |
| | 10000-3 | 0 | 6752 | | | | | | |
| 2 | 37384 | 056.2663 | 086.8892 | 0025414 | 177.5493 | 200.1634 | | | |
| | 01.00264790 | 9406 | | | | | | | |
| 1 | 37763U | 11038A | 13299.96614377 | -.00000109 | 00000-0 | | | | |
| | 10000-3 | 0 | 5199 | | | | | | |
| 2 | 37763 | 054.8193 | 208.8824 | 0024812 | 193.1164 | 076.2220 | | | |
| | 01.00285236 | 8354 | | | | | | | |
| 1 | 37948U | 11073A | 13300.76034029 | -.00000155 | 00000-0 | | | | |
| | 10000-3 | 0 | 5072 | | | | | | |
| 2 | 37948 | 054.6616 | 326.0204 | 0025996 | 198.0917 | 241.3861 | | | |
| | 01.00273522 | 7121 | | | | | | | |
| 1 | 38091U | 12008A | 13300.57511850 | .00000050 | 00000-0 | | | | |
| | 00000+0 | 0 | 4732 | | | | | | |
| 2 | 38091 | 001.0146 | 329.7593 | 0002096 | 197.9738 | 134.1106 | | | |
| | 01.00274624 | 6192 | | | | | | | |
| 1 | 38250U | 12018A | 13300.05648457 | .00000057 | 00000-0 | | | | |
| | 10000-3 | 0 | 4762 | | | | | | |
| 2 | 38250 | 055.3969 | 098.9628 | 0025063 | 188.1189 | 206.9139 | | | |
| | 01.86233562 | 10323 | | | | | | | |
| 1 | 38251U | 12018B | 13301.07266545 | .00000062 | 00000-0 | | | | |
| | 10000-3 | 0 | 4878 | | | | | | |
| 2 | 38251 | 055.3308 | 098.4382 | 0028343 | 182.7854 | 218.1353 | | | |
| | 01.86234366 | 10344 | | | | | | | |
| 1 | 38774U | 12050A | 13300.64761976 | -.00000034 | 00000-0 | | | | |
| | 00000+0 | 0 | 3519 | | | | | | |
| 2 | 38774 | 054.8611 | 218.6528 | 0023899 | 189.8348 | 076.5325 | | | |
| | 01.86233006 | 7712 | | | | | | | |
| 1 | 38775U | 12050B | 13300.57317610 | -.00000034 | 00000-0 | | | | |
| | 00000+0 | 0 | 3570 | | | | | | |
| 2 | 38775 | 054.9653 | 218.2034 | 0016977 | 212.5371 | 049.2446 | | | |
| | 01.86233116 | 7709 | | | | | | | |
| 1 | 38953U | 12059A | 13300.56893339 | -.00000143 | 00000-0 | | | | |
| | 10000-3 | 0 | 2679 | | | | | | |
| 2 | 38953 | 001.0829 | 277.2001 | 0001867 | 296.1660 | 107.5881 | | | |
| | 01.00272316 | 378 | | | | | | | |

Рис. 2. TLE-параметри орбіт супутників системи Beidou

Спрощений алгоритм розрахунку поточного положення супутників з використанням TLE параметрів (незбурений рух) полягає у послідовному виконанні наступних дій для кожного супутника [4]:

1) обчислюється середня аномалія на заданий момент часу;

2) обчислюється ексцентрична аномалія за отриманою середньою аномалією. Для спрощення розрахунків замість ітераційного рішення рівняння Кеплера використовувалося розкладення у ряд до третього члена;

3) обчислюється істинна аномалія та аргумент широти за отриманою ексцентричною аномалією та аргументом перигею;

4) обчислюється геоцентричний радіус космічного апарату;

5) перехід від сферичних до геоцентричних координат.

Далі за отриманими геоцентричними координатами супутників та за відомими координатами точки земної поверхні обчислюється кут підвищення EI_m супутника над лінією горизонту [5]:

$$EI_m = \arccos \frac{R^2 + D_m^2 - R_m^2}{2RD_m} - 90^\circ;$$

$$R_m = \sqrt{x_m^2 + y_m^2 + z_m^2};$$

$$R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2};$$

де x_m, y_m, z_m – геоцентричні координати супутників;

D_m – прямолінійна дальність до супутників;

x, y, z – геоцентричні координати точки земної поверхні.

Для кожної точки земної поверхні на заданий час розраховувалося сузір'я навігаційних супутників, тобто із усього космічного угруповання обиралися ті, кут підвищення яких більше, ніж мінімально заданий. Розрахунки повторюються із заданим кроком за часом на протязі доби. Фіксується найгірше сузір'я на добовому інтервалі. Далі на карті Землі наносяться зони з однаковим значенням обраного критерію.

Початкові умови для моделювання:

кут підвищення – 10 градусів;

крок за координатами – 5 градусів;

крок за часом – 5 хвилин.

Результати моделювання для північної півкулі східної довготи наведено на рис. 3.

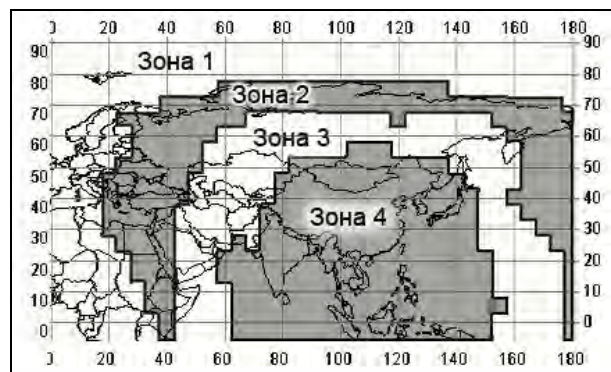


Рис. 3. Результати моделювання

Зона 1 відповідає найгіршому сузір'ю 1-3 супутника,
 зона 2 – 4-5 супутників,
 зона 3 – 6-7 супутників,
 зона 4 – не менше 8 супутників.

У якості другого критерію застосовується найгірше значення геометричного фактору сузір'я навігаційних супутників для кожної точки земної поверхні на тому ж добовому інтервалі.

Проте для неповністю розгорнутої супутникової навігаційної системи даний критерій не завжди може бути застосований через виродження матриці, за якою розраховується значення геометричного фактору.

Висновки

Таким чином, аналіз результатів моделювання орбітального угруповання на середньодобовому інтервалі показав, що супутникова навігаційна система Beidou забезпечує безперервне цілодобове навігаційне поле із прийнятними значеннями геометричного фактору для регіону до 60 градусів північної широти та від 20 до 180 градусів східної довготи, тобто у тому числі на території України.

Що стосується апаратури споживачів навігаційних сигналів, то більшість виробників уже сьогодні анонують можливість навігаційних визначень за змішаними сузір'ями (у тому числі й Beidou), наприклад, навігаційний приймач NV08C від національного виробника ЗАО «КБ НАВИС».

Крім того, багато комерційних виробники приймачів вже випустили прошивки, що дозволяють працювати з Beidou, серед них:

ublox (<http://www.u-blox.com>),
 Septentrio (<http://www.septentrio.com/>),
 javad (<http://javad.com/>)

та ін.

У якості напрямку подальших досліджень слід визначити аналіз особливостей сумісного використання супутників усіх існуючих на сьогоднішній час навігаційних систем з урахуванням розбіжностей систем координат та систем відліку часу, які використовуються в різних супутникових навігаційних системах та прийнятих у державі.

Список літератури

1. BeiDou Navigation Satellite System. Signal In Space. Interface Control Document. Open Service Signal B1I (Version 1.0). – China: Satellite Navigation Office, 2012. – 81 p.
2. Space Track Data Access. Supplemental TLE Data [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://celestrak.com/NORAD/elements/>.
3. Historical TLE search. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.space-track.org/#/tle>.
4. Дубошин Г.Н. Небесная механика. Аналитические и качественные методы. Учебное пособие для студентов университетов / Г.Н. Дубошин. – М.: Наука, 1978. – 456 с.
5. Комлексирование информации в интегрированной навигационной системе при неполном рабочем созвездии спутников / А.А. Фомичев, А.Б. Колчев, П.В. Ларионов, Р.В. Пугачев, В.Б. Успенский // Гирокоспия и навигация. – 2007. – №1 (56), – С. 3 – 16.

Надійшла до редколегії 12.03.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ BEIDOU В ИНТЕРЕСАХ УКРАИНЫ

И.А. Кашаев, Р.В. Пугачев, И.В. Шуба, Е.И. Кашаев

Приведена методика и результаты моделирования состояния спутниковой навигационной системы Beidou с целью выявления возможности ее использования для нужд Украины. В качестве критериев оценки применяется наилучшее по количеству (минимум) созвездие навигационных спутников и наилучшее значение геометрического фактора (максимум).

Ключевые слова: спутниковая навигационная система, созвездие навигационных спутников, геометрический фактор.

EVALUATION OF USE SATELLITE NAVIGATION SYSTEM BEIDOU NEEDS TO UKRAINE

I.A. Kashayev, R.V. Puhachov, I.V. Shuba, Ye.I. Kashayev

The method and results of modeling of satellite-based navigation system Beidou to identify its use for the purposes of Ukraine. As the evaluation criteria used by the number of the worst (minimum) a constellation of navigation satellites and the worst value of the geometric factor (maximum).

Keywords: satellite navigation system, a constellation of navigation satellites, DOP.