

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.

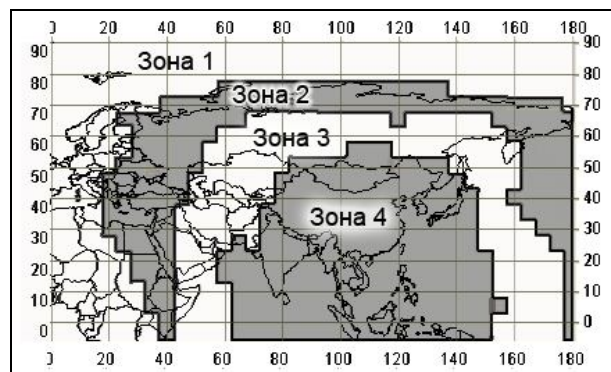


Рис. 3. Результати моделювання

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 анонсують 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. Комплексование 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.