

УДК 629.783

# СПОСОБ ИДЕНТИФИКАЦИИ НАВИГАЦИОННЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ ПРИ НЕПОЛНОТЕ ИНФОРМАЦИИ ДАЛЬНОМЕРНОГО КОДА

Д. Г. Грошелев  
Аспирант\*

А. М. Кулабухов

Кандидат технических наук, профессор, доцент\*

\*Кафедра систем автоматизированного управления  
Днепропетровский национальный университет  
им. Олеса Гончара  
пр. Гагарина, 72, Днепропетровск, Украина, 49000  
E-mail: dimadp2@rambler.ru

*Розглянуто способи ідентифікації навігаційних космічних апаратів з використанням частоти зсуву Доплера несучої навігаційного сигналу в умовах неповноти інформації далекомірного коду. Виконано порівняльний аналіз розглянутих способів. Показано, що найбільш важливими факторами, які впливають на вірогідність ідентифікації, є: параметри руху центрів мас навігаційних і цільового космічних апаратів і кутове положення цільового космічного апарату*

*Ключові слова: космічний апарат, ідентифікація радіомаяків, навігація, кутова орієнтація, псевдовипадкова послідовність*

*Рассмотрены способы идентификации навигационных космических аппаратов с использованием частоты смещения Доплера несущей навигационного сигнала в условиях неполноты информации дальномерного кода. Выполнен сравнительный анализ рассмотренных способов. Показано, что наиболее важными факторами, влияющими на вероятность идентификации, являются: параметры движения центров масс навигационных и целевого космических аппаратов и угловое положение целевого аппарата*

*Ключевые слова: космический аппарат, идентификация радиомаяков, навигация, угловая ориентация, псевдослучайная последовательность*

## 1. Введение

Для решения задач навигации и угловой ориентации космических аппаратов (КА) существует много методов [1 – 12]. Решение задачи угловой ориентации сопряжено с определением положения центра масс (ц. м.) КА. На сегодняшний день для решения указанных задач наиболее часто используют аппаратуру спутниковой навигации (АСН) (GPS, ГЛОНАСС) [2, 4 – 10]. Прежде всего, это связано с реализацией принципа глобального покрытия, как земной поверхности, так и околоземного космического пространства, а также с отсутствием накопления ошибок определения как вектора состояния ц.м. КА, так и его углового положения.

Для решения указанных задач с использованием АСН необходимы: точная информация о положении ц. м. КА группировки Navstar, ГЛОНАСС (которая содержится в альманахе, передаваемом навигационными аппаратами, на специальных сайтах Nogat и др.); сдвиг времени между моментом передачи и приема (вызванный прохождением сигнала от навигационного аппарата к аппарату с установленной АСН – целевой КА); точное время момента послышки навигационного сообщения.

Определение временного сдвига осуществляется по результатам анализа смещения псевдослучайной последовательности (ПСП) дальномерного кода генери-

руемого на борту целевого КА и переданного идентифицированным навигационным КА [1, 2]. Учитывая, что процесс идентификации, генерация ПСП конкретного навигационного КА на борту целевого аппарата зависят от структуры дальномерного кода (ПСП), который может быть изменен, например изменением порядка порождающего полинома на борту навигационного аппарата, а так же то, что управление группировками NavStar, ГЛОНАСС находятся в ведомстве министерств обороны США, России. Актуальной является задача идентификации навигационных аппаратов в условиях изменения структуры ПСП. Решение навигационной задачи после идентификации без использования дальномерного кода приведено, например, в работе [3]. Вопросам идентификации подвижных объектов посвящено много работ, например [1, 11, 12].

Задаче идентификации навигационного КА в условиях изменения структуры ПСП с возможностью выделения частоты смещения несущей (Доплеровский сдвиг частот) посвящена данная работа.

## 2. Постановка задачи

Рассмотрим задачу идентификации навигационных КА (радиомаяков) при неполноте априорной ин-

формации о принципах формирования дальномерного кода.

Предположим, что в состав бортового оборудования целевого КА входит частотомер, способный выделить частоту смещения Доплера несущего сигнала. Кроме того, имеется вычислительный блок, который способен на основании априорных данных определять вектор состояния ц.м. радиомаяков и имеется некоторая априорная информация о векторе состояния ц.м. целевого КА (его положение известно приближенно).

В некоторых случаях дополнительно привлекается информация об угловом положении целевого КА и радиомаяков.

О возможности выделения несущей навигационного сигнала в условиях отсутствия информации о структуре ПСП выпущено много работ [13].

На этапе идентификации радиомаяков в некоторых случаях дополнительно доступна следующая информация: угловая ориентация радиомаяков в их орбитальных системах координат; грубая угловая ориентация целевого КА в базовой системе координат (БСК) (под базовой понимаем систему, в которой решается навигационная задача или задача угловой ориентации).

Необходимо на основании изложенных исходных гипотез провести идентификацию радиомаяков без предварительного разделения по коду и частотам несущих анализируя частоты смещения Доплера несущей сигнала.

### 3. Метод решения

Рассмотрим идентификацию радиомаяков по следующим двум критериям:

1. Минимум отличия измеренного и оцененного изменения радиального расстояния на интервале измерения:

$$|\Delta R_{M_j} - \Delta R_{E_i}| \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $\Delta R_{M_j}$  - измеренное изменение радиального расстояния целевого КА относительно  $j$ -ого навигационного аппарата с использованием частоты смещения Доплера;

$\Delta R_{E_i}$  - оценочное изменение радиального расстояния целевого КА относительно  $i$ -ого навигационного аппарата множества (расчетное значение, полученное на основании известных положений радиомаяков и приближенного положения целевого КА на интервале измерения).

В случае, когда известны точно вектора состояния ц.м. радиомаяков и вектор состояния ц.м. целевого КА, а также их угловые положения и измерения изменений радиальных расстояний на участке измерений, минимум данного критерия будет соответствовать наблюдаемому радиомаяку.

2. Максимальная величина коэффициента корреляции между векторами, состоящими из измеренных и оценочных значений изменений радиальных расстояний и моментов начала и конца наблюдений радиомаяков на интервале измерений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{V}_{M_j} = \begin{bmatrix} \Delta R_{M_j} \\ t_{1M_j} \\ t_{2M_j} \end{bmatrix}, \vec{V}_{E_i} = \begin{bmatrix} \Delta R_{E_i} \\ t_{1E_i} \\ t_{2E_i} \end{bmatrix}, \\ k = \frac{\vec{V}_{M_j} \cdot \vec{V}_{E_i}}{|\vec{V}_{M_j}| \cdot |\vec{V}_{E_i}|} \rightarrow \max \end{array} \right. \quad (2)$$

где  $k$  - коэффициент корреляции;

$\vec{V}_{M_j}, \vec{V}_{E_i}$  - вектора, состоящие из измеренных и оцениваемых параметров ( $\vec{V}_{E_i}$  получен с использованием векторов состояния ц.м. множества радиомаяков и оценочного вектора состояния ц.м. целевого КА), участвующих в определении коэффициента корреляции, для проведения процесса идентификации, соответственно;

$t_{1M_j}, t_{2M_j}$  - моменты начала и конца наблюдения  $j$ -го радиомаяка, полученные на основании измерений;

$t_{1E_i}, t_{2E_i}$  - моменты начала и конца наблюдений  $i$ -го радиомаяка из множества, полученные на основании оценок (получены с использованием вектора состояния ц.м. радиомаяков и оценочного вектора состояния ц.м. целевого КА).

В случае, когда известны точно вектора состояния ц.м. радиомаяков и вектор состояния ц.м. целевого КА, а так же их угловые положения и измерения изменений радиальных расстояний на участке измерений, максимум данного критерия будет соответствовать наблюдаемому радиомаяку.

Для выполнения процесса моделирования рассмотрим невозмущенное движение целевого КА и радиомаяков по Кеплеровым орбитам.

Примем так же, что угловое движение радиомаяков происходит с постоянной скоростью в их орбитальных системах координат (это обеспечивает ориентацию радиомаяков на Землю, что характерно для многих аппаратов связи и навигационных аппаратов), а целевого КА – с постоянной угловой скоростью в абсолютной гринвичской системе координат (АГСК).

Орбитальная система координат (ОСК) (0XYZ) – неинерциальная правая система координат. Начало системы расположено в центре Земли, ось  $X$  – направлена вдоль радиус-вектора, ось  $Y$  – лежит в плоскости орбиты и направлена в сторону движения КА, ось  $Z$  – дополняет до правой.

Абсолютная гринвичская система координат (АГСК) (0XYZ) – инерциальная правая система координат. Начало расположено в центре Земли, ось  $X$  – направлена в точку весеннего равноденствия, и лежит в плоскости экватора, ось  $Z$  – направлена вдоль оси суточного вращения Земли, ось  $Y$  – дополняет до правой.

Связанная система координат (ССК) (0XYZ) – неинерциальная правая система координат, начало расположено в ц.м. КА. При нулевых углах ориентации в ОСК совпадает с последней.

### 4. Идентификация радиомаяков

Примем в качестве исходных данных следующие параметры орбиты радиомаяков и целевого КА (табл. 1,

табл. 2), а интервал моделирования 5400 с (примерно соответствует периоду обращения целевого КА по орбите высотой 600 км):

Таблица 1

Начальные параметры движения центров масс радиомаяков

a, км	e	i, град.	Ω, град.	w, град.	Θ, град.
26561.237058	0.011874	54.473	238.844	327.026	7.598
26559.763979	0.020885	56.279	298.803	68.505	59.138
26560.532469	0.021693	56.245	351.774	298.237	109.599
26560.627890	0.017567	56.388	353.315	92.800	296.298
26560.566205	0.011126	55.072	48.142	89.684	130.330
26558.634361	0.010034	53.710	173.752	49.423	238.832
26561.132295	0.007341	53.831	110.507	330.428	174.361
26561.088868	0.015449	53.442	106.116	68.357	68.543
26560.209047	0.011303	54.142	234.981	42.745	192.097
26560.182763	0.004955	56.423	299.155	115.682	107.322
26559.757833	0.012322	57.172	359.574	189.659	297.801
26560.732376	0.013004	50.890	158.065	60.118	343.882
26560.528417	0.004897	53.244	231.245	73.379	241.580
26558.740058	0.017870	56.176	56.731	254.898	170.601
26561.262271	0.006417	56.014	297.620	241.514	118.910
26559.233150	0.013483	53.214	234.325	235.614	219.432
26559.802961	0.006217	53.084	234.519	244.168	174.559
26562.133886	0.006564	56.272	56.345	359.787	190.244
26560.604295	0.019209	53.349	174.091	231.292	280.457
26557.916864	0.008428	55.089	118.910	9.777	89.511
26558.360542	0.007993	54.954	294.621	187.895	66.287
26559.347583	0.011239	53.765	172.785	200.847	58.155
26562.273895	0.007319	55.248	115.876	228.354	136.688
26558.712313	0.007678	56.184	354.955	310.701	333.636
26561.935565	0.004098	56.221	55.303	3.728	321.477
26557.799910	0.004390	54.109	292.564	1.981	92.389
26558.810432	0.002200	55.276	116.368	296.129	296.290
26561.049807	0.005568	55.897	354.786	185.948	338.892
26562.071926	0.002639	54.437	233.746	11.280	178.369
26559.309107	0.001763	55.576	53.348	43.394	247.230
26561.406217	0.000874	54.993	173.593	15.769	4.250
26561.406217	0.000874	54.993	173.593	15.769	4.250

Примечание: a – большая полуось эллипса орбиты; e – эксцентриситет; i – наклонение орбиты; Ω – долгота восходящего узла; w – аргумент широты перигея; Θ – истинная аномалия

Данные в табл. 1 взяты с сайта www.celestrak.com на 08.07.2012.

Таблица 2

Номинальные параметры движения центра масс целевого КА на момент начала моделирования

p, м	u, град.	i, град.	w, град.	Ω, град.	e
6978137	0.03519	90.0	323.6563	243.7576	0.0

Примечание: p – фокальный параметр орбиты; u – аргумент широты КА

В табл. 3 приведены погрешности исходных данных движения ц.м. целевого КА на момент начала

моделирования (закон распределения – нормальный, с нулевым математическим ожиданием) и количество выполненных расчетов для набора статистических данных.

Таблица 3

Погрешности исходных данных движения центра масс целевого КА на момент начала моделирования и количество расчетов

3σ p, км	3σ u, град.	3σ i, град.	3σ w, град.	3σ Ω, град.	3σ e	Количество расчетов
300	3.0	3.0	3.0	3.0	0.00001	100

В табл. 4 приведены параметры приемника целевого КА и параметры передатчиков радиомаяков.

Таблица 4

Параметры приемника целевого КА и параметры передатчиков радиомаяков

Наименование параметра	Размерность	Значение
Ширина ДН радиомаяков	град.	50
Ширина ДН целевого КА	град.	120
Частота несущей навигационного сигнала	ГГц	1.57542
Время измерений	с	600
Минимальное время наблюдения маяка	с	300
Относительная нестабильность передатчика	-	10 <sup>-12</sup>
Относительная нестабильность приемника	-	10 <sup>-12</sup>

Примечание: ДН – диаграмма направленности

Примем следующие исходные данные движения радиомаяков в их орбитальных системах координат: φ=ψ=θ=0 град. (углы ориентации радиомаяков), w<sub>x</sub>=w<sub>y</sub>=w<sub>z</sub>=0 град./с (угловые скорости радиомаяков на оси ССК относительно ОСК). Предполагается, что антенна радиомаяка расположена вдоль продольной оси ССК КА (X) и направлена в противоположную сторону. Углы определяют положение антенн радиомаяков в их орбитальных системах координат согласно принятому выше допущению о положении антенн относительно продольной оси аппаратов. Примем следующие значения угловых скоростей целевого КА относительно БСК в разложении на оси ССК: w<sub>x</sub>=w<sub>y</sub>=w<sub>z</sub>=0.01 град./с. Антенна расположена вдоль продольной оси X ССК.

Предположим, что его угловое положение известно с точностью до: 3σφ=3σψ=3σθ=3 град. (закон распределения нормальный с нулевым математическим ожиданием). Принятая последовательность поворотов при задании углового положения для целевого КА и радиомаяков (X, Y, Z; φ, ψ, θ). Для оценки качества идентификации радиомаяков определим частоту правильных идентификаций на участке моделирования (100 расчетов по 5400 с каждый):

$$P = \frac{N_T}{N_Z}, \tag{3}$$

где  $N_T$  - количество правильно идентифицированных радиомаяков из общего количества идентификаций на рассматриваемом участке;  $N_\Sigma$  - общее количество идентифицированных радиомаяков на рассматриваемом участке.

Оценку будем проводить при одних и тех же случайных ошибках навигации и угловой ориентации для рассматриваемых способов идентификации. Это позволит исключить влияние объема выборки на результат оценки эффективности рассматриваемых способов.

Результаты приведены в табл. 5 - статистика результатов идентификации радиомаяков.

Таблица 5

Статистика результатов идентификации радиомаяков

Способы идентификации	Частота правильной идентификации		
	$\begin{cases} \phi = 0^0 \\ \psi = 0^0 \\ \theta = 0^0 \end{cases}$	$\begin{cases} \phi = 0^0 \\ \psi = 45^0 \\ \theta = 0^0 \end{cases}$	$\begin{cases} \phi = 0^0 \\ \psi = 180^0 \\ \theta = 0^0 \end{cases}$
Минимальная разница $ \Delta R_{Mj} - \Delta R_{Ei}  \rightarrow \min$ , тень Земли	0.200	0.292	0.250
Минимальная разница $ \Delta R_{Mj} - \Delta R_{Ei}  \rightarrow \min$ , тень Земли, нахождение целевого КА в ДН радиомаяка	0.333	0.292	0.250
Минимальная разница $ \Delta R_{Mj} - \Delta R_{Ei}  \rightarrow \min$ , тень Земли, нахождение целевого КА в ДН радиомаяка, нахождение радиомаяка в ДН целевого КА	0.835	0.793	0.711
Максимальный коэффициент корреляции $k$ , тень Земли	0.278	0.292	0.292
Максимальный коэффициент корреляции $k$ , тень Земли, нахождение целевого КА в ДН радиомаяка	0.278	0.292	0.292
Максимальный коэффициент корреляции $k$ , тень Земли, нахождение целевого КА в ДН радиомаяка, нахождение радиомаяка в ДН целевого КА	0.771	0.793	0.711

В таблице приняты следующие обозначения  $\phi$ ,  $\psi$ ,  $\theta$  - начальное угловое положение целевого КА согласно принятой выше последовательности поворотов.

Как видно из табл. 5, применение информации об угловом положении радиомаяков и целевого КА повышает эффективность идентификации примерно в 3 раза.

## 5. Выводы

1. Предложен способ идентификации радиомаяков, позволяющий при отсутствии информации о струк-

туре дальномерного кода выполнять идентификацию навигационного радиомаяка из множества.

2. Показано, что вероятность правильной идентификации повышается по мере более полного учета параметров движения радиомаяков и целевого КА, их угловых положений. При этом больший эффект дает учет углового положения целевого КА, нежели радиомаяка.

3. Показано, что привлечение информации об угловом положении целевого аппарата, радиомаяков и положения ц.м. целевого КА и маяков дает наибольшую эффективность, при этом практически неважно как происходит идентификация по максимум коэффициента корреляции или по минимум отклонения приращения радиальной дальности между целевым аппаратом и радиомаяком.

4. Использование информации о векторе состояния ц.м. радиомаяков и целевого КА, их угловых положениях позволяет увеличить вероятность идентификации примерно в 3 раза по сравнению с использованием информации о векторе состояния ц.м. радиомаяков и целевого КА.

5. Дальнейшим путем развития рассматриваемой проблематики является комплексирование результатов идентификации, полученных рассмотренными способами с методами решения навигационной задачи.

## Литература

1. Бакитько, Р. В. ГЛОНАСС Принципы построения и функционирования [Текст] / Р. В. Бакитько, Е. Н. Болденко и др. - 4-е изд. перераб. и доп. - М.: Радиотехника, 2010. - 800 с.
2. Satellite Radio Navigation positioning method and radio navigation system therefore [Текст]: Pat. 53-31329A United States: Inc. Ct.5 G01S/02 H04B 15/00/ German M., Alyabina et. al.; Assignee Nauchno-Issledovatel'skiy Institut Kosmicheskogo Priborostoenia - №07/930,556: PTC Field: 30.01.1990; PTC Pub. Date 08.08.1991 - 19p.
3. Грошелев, Д. Г. Метод навигации космических аппаратов по результатам пеленга объектов [Текст] / Д. Г. Грошелев, А. М. Кулабухов, А. В. Крюков // Научно-технический сборник Космическая техника. Ракетное вооружение. - 2012. - Вып. 1. - С. 44-55.
4. Gregory, T. The Effect of Selective Availability on Differential GPS Corrections [Текст] / T. Gregory Kremer et al. // NAVIGATION: Journal of the Institute of Navigation. - 1990- Vol. 37, No. 1. - pp. 51- 64.
5. Psiaki, M. L. Satellite orbit determination using a single-channel Global Positioning System receiver [Текст] / M. L. Psiaki // J. Guid., Control, and Dynamics. - 2002. - Vol. 25, N1. - pp. 137-144.
6. Method for calculating instantaneous characteristics characteristics of a satellite in orbit, equipped with a GNSS receiver [Текст]: Pat. 6882908B2 United States: Int Ct.7 H04B 7/185/ Denis. L.; Assignee Center National d'Etudes Spatiales, Paris (FR). - № 10/363,696; PTC Field: 14.09. 01; PTC Pub. Date 21.03.02 - 9c.

7. Moreau, M. GPS Receiver Architecture and Expected Performance for Autonomous GPS Navigation in Highly Eccentric Orbits/ M. Moreau, P. Axelrad, J. L. Garrison , D. Kelbel, A. Long// Proceedings of the ION 55th Annual Meeting- Cambridge, MA – 1999. – pp. 653-665.
8. Sullivan, D. High Accuracy Differential and Kinematic GPS Positioning using a Digital Beam Steering Receiver [Text] / D. Sullivan, R. Silva, A. Brown// Proceedings of 2002 Core Technologies for Space Systems Conference, Colorado Springs, CO. - 2002. – 9p.
9. Brown, A. Rapid Ambiguity Resolution using Multipath Spatial Processing for High Accuracy Carrier Phase [Text] / A. Brown, K. Stolk // Proceedings of ION GPS 2002, Portland, OR. – 2002. – 9p.
10. Long, A. Autonomous Navigation Improvements for High-Earth Orbiters Using GPS [Text] / A. Long, D. Kelbel, T. Lee, J. Garrison, J. R. Carpenter // Biarritz , France, Proceedings of the 15th International Symposium on Spaceflight Dynamics, CNES. – 2000. – Paper no. MS00/13. – pp. 1-10.
11. Лебедев, Д. В. Навігація і управління орієнтацією малих космічних апаратів [Текст]/ Д. В. Лебедев, А. І. Ткаченко // Міжнародний науко-учебний центр інформаційних технологій і систем НАН України і МОН України. – К.: «Наукова думка». 2006 – 298 с. – ISBN 966-00-0765-5.
12. Збруцкий, А. В. Навігація космічного апарата дистанційного зондування Землі по зйомці земної поверхності [Текст]/ А. В. Збруцкий, А. П. Ганжа. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 160 с. – ISBN 978-966-622-373-4.
13. Способ и устройство бескодового приема сигналов спутниковых навигационных систем [Текст]: пат. 2363099 Рос. Федерация: МПК H04B1/06(2006.01) / Дубинко Ю. С. (RU), Латюк А. Ф. (UA); заявитель и патентообладатель ЗАО "КБ НАВИС" (RU). – №2007109008/09; заявл. 12.03.2007; опубл. 27.07.2009 – 9 с.

*Розглянуто особливості використання grid-середовища для вирішення різних типів обчислювальних завдань. Визначені вимоги до засобів розробки високорівневих grid-застосувань та наведено результати дослідження існуючих. Запропоновано розширення архітектури відкритого фреймворку gUSE/WS-PGRADE сервісами оптимізації планування та виконання різних типів завдань у grid-середовищі шляхом аналізу особливостей структури завдання, стану та QoS рівня ресурсів grid-мережі*

*Ключові слова: grid, фреймворк, потік робіт, оптимізація, рівень якості обслуговування*

*Рассмотрены особенности использования grid-среды для решения различных типов вычислительных задач. Определены требования к средствам разработки высокоуровневых grid-приложений и приведены результаты исследования существующих. Предложено расширение архитектуры открытого фреймворка gUSE/WS-PGRADE сервисами оптимизации планирования и выполнения различных типов задач в grid-среде посредством анализа особенностей структуры задачи, состояния и QoS уровня ресурсов grid-сети*

*Ключевые слова: grid, фреймворк, поток работ, оптимизация, уровень качества обслуживания*

УДК 004.75: 004.4'2

## ФРЕЙМВОРК ДЛЯ РОЗРОБКИ GRID-ЗАСТОСУВАНЬ З ПІДТРИМКОЮ РІЗНИХ ТИПІВ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ЗАДАЧ ВЕЛИКОЇ РОЗМІРНОСТІ

О. А. Пріла

Асистент, аспірант

Кафедра інформаційних та комп'ютерних систем

Чернігівський державний технологічний університет

вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, Україна, 14027

E-mail: olga.pri1a1986@gmail.com

### 1. Вступ

Останнім часом grid-технології активно розвиваються та застосовуються для вирішення обчислюваль-

них завдань великої розмірності. Grid являє собою географічно розподілену програмно-апаратну інфраструктуру, що об'єднує ресурси різних типів (обчислювальні, сховища даних, мережі та ін.), та забезпечує