

**ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА НАВІГАЦІЙНИХ ПРИЛАДІВ І СИСТЕМ**

УДК 531.3:629.7.05

**СРАВНЕНИЕ ТОЧНОСТИ НЕКОТОРЫХ АЛГОРИТМОВ  
БЕСПЛАТФОРМЕННЫХ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОРИЕНТАЦИИ***Лазарев Ю. Ф., Мироненко П. С.**Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского", г. Киев, Украина**E-mail: [mironenko46@rambler.ru](mailto:mironenko46@rambler.ru)*

*На основе компьютерного моделирования в среде Matlab процесса обработки измерительной информации о векторе угловой скорости объекта в отдельные моменты времени изучаются параметры точности известных алгоритмов и сделаны выводы по рациональному их синтезу.*

*Основное внимание уделяется изучению дрейфа алгоритмической погрешности. Показано, что дрейф алгоритма в определенных условиях приводит к погрешности, которая становится преобладающей над другими составляющими ошибки обработки информации.*

*Причиной появления дрейфов алгоритмов является выпрямительный эффект, обусловленный наличием в интегрируемых уравнениях ориентации мультипликативных членов. Выделены характерные особенности выпрямительного эффекта: 1) он возникает при синхронных колебаниях множителей мультипликативных членов и 2) существенно зависит от сдвига фаз между колебаниями этих множителей.*

*Конечной целью исследований является установление зависимостей максимальных дрейфов погрешностей алгоритмов от шага опроса измерителей и параметров колебаний основания.*

*Сделаны выводы об эффективности некоторых предлагаемых приемов повышения точности алгоритмов различных приближений для определения параметров ориентации в бесплатформенных инерциальных системах ориентации.*

**Ключевые слова:** инерциальная ориентация, алгоритмы, точность, дрейфы погрешностей.

**Введение**

Алгоритмы бесплатформенных инерциальных систем ориентации (БИСО) осуществляют определение текущей ориентации подвижного объекта (основания) путем интегрирования дифференциальных кинематических уравнений ориентации с использованием измерительной информации о векторе угловой скорости движения объекта в отдельные моменты времени.

Исследование алгоритмов БИСО показали [1-5], что при некоторых угловых движениях основания средние значения погрешностей определения углов поворота основания со временем непрерывно возрастают с постоянной скоростью, которую можно назвать скоростью дрейфа алгоритмической погрешности (в дальнейшем – "дрейфом алгоритма"). При этом дрейф алгоритма является в определенных условиях настолько большим, что через несколько минут ошибки определения углов, обусловленные дрейфом, начинают преобладать над другими составляющими погрешности. С этого момента погрешность, обусловленная дрейфом, определяет точность алгоритма. Поэтому дрейфы погрешностей алгоритмов рационально принять в качестве основной характеристики точности алгоритмов БИСО.

Причиной появления дрейфов алгоритмов является выпрямительный эффект, обусловленный наличием в интегрируемых уравнениях ориентации мультипликативных членов. Характерные особенности выпрямительного эффекта таковы: – 1) он возникает при синхронных колебаниях множителей мультипликативных членов и 2) он существенно зависит от сдвига фаз между колебаниями этих множителей.

Представляет интерес изучить параметры точности известных в литературе алгоритмов, на этой основе сравнить точность различных алгоритмов и сделать выводы по рациональному их синтезу. Далее это делается на основе компьютерного моделирования в среде Matlab процесса обработки измерительной информации исследуемым алгоритмом. При этом для определенности изучается дрейф погрешности определения угла  $\psi$  и предполагается, что основание движется так, что этот угол остается неизменным (и равным нулю), а по углам  $\vartheta$  и  $\gamma$  оно совершает синхронные колебания с частотой  $\omega$ , одинаковыми амплитудами  $a$ , сдвинутые по фазе на величину  $\varepsilon$ . Этим обеспечиваются наилучшие условия для возникновения дрейфа алгоритма.

Конечной целью изучения является установление зависимости максимальных по величине (при изменении сдвига фаз  $\varepsilon$ ) дрейфов погрешности алгоритма от шага опроса измерителей и параметров  $\omega$  и  $a$  колебаний основания. Эту зависимость рационально представлять в безразмерной форме [1]. При этом безразмерный максимальный дрейф  $\delta$  определим как отношение максимального дрейфа к базовой величине  $a^2\omega$ , а безразмерный шаг опроса  $\mu$  – как произведение шага опроса  $h$  на частоту  $\omega$  колебаний основания ( $\mu = \omega h$  – частотный параметр).

Зависимость  $\delta(\mu)$  в большинстве случаев близка к степенной, т.е. имеет вид  $\delta = k \cdot \mu^N$ , параметры которой  $k$  и  $N$  неизменны для каждого алгоритма и определяют его точность во всем диапазоне частот и при любых частотах и амплитудах колебаний основания.

#### О точности известных алгоритмов

В известной литературе [2-7], по преимуществу, исследуются алгоритмы, в основе которых лежит кинематическое уравнение для вектора ориентации Эйлера (формула Борца):

$$\frac{d\boldsymbol{\varphi}}{dt} = \boldsymbol{\omega} + \frac{1}{2}\boldsymbol{\varphi} \times \boldsymbol{\omega} + \frac{1}{\varphi^2} \left[ 1 - \frac{\varphi \sin \varphi}{2(1 - \cos \varphi)} \right] \boldsymbol{\varphi} \times (\boldsymbol{\varphi} \times \boldsymbol{\omega}), \quad (1)$$

где  $\boldsymbol{\varphi}$  – вектор угла конечного поворота,  $\varphi$  – модуль этого вектора,  $\boldsymbol{\omega}$  – вектор угловой скорости объекта.

Внутри шага интегрирования  $H$  вектор выходных сигналов гироскопов, проекциями которого являются три квантованных сигнала по каждой оси [2], получается путем интегрирования вектора угловой скорости на каждом шаге опроса  $h$ , в результате чего формируется массив измеренных приращений квазиординат ориентации

$$\mathbf{q}_k = \int_{(k-1)h}^{kh} \boldsymbol{\omega}(\tau) d\tau; \quad (k=1, 2, \dots, m),$$

где  $\tau$  – время внутри шага интегрирования  $H = mh$  ( $m$  – число шагов опроса в шаге интегрирования).

В литературе [2-7], обычно рассматривают многошаговые алгоритмы ( $m > 1$ ), причем при их синтезе ограничиваются первыми двумя слагаемыми в формуле (1). В этих условиях для двухшагового алгоритма получается формула [2]:

$$\boldsymbol{\varphi}(2h) = \mathbf{q}_1 + \mathbf{q}_2 + \frac{2}{3}\mathbf{q}_1 \times \mathbf{q}_2, \quad (2)$$

для трехшагового алгоритма [2]:

$$\boldsymbol{\varphi}(3h) = \mathbf{q}_1 + \mathbf{q}_2 + \mathbf{q}_3 + \frac{33}{80}\mathbf{q}_1 \times \mathbf{q}_3 + \frac{57}{80}\mathbf{q}_2 \times (\mathbf{q}_3 - \mathbf{q}_1), \quad (3)$$

а для четырехшагового алгоритма [4,5]:

$$\boldsymbol{\varphi}(4h) = \mathbf{q}_1 + \mathbf{q}_2 + \mathbf{q}_3 + \mathbf{q}_4 + \frac{736}{945}(\mathbf{q}_1 \times \mathbf{q}_2 + \mathbf{q}_3 \times \mathbf{q}_4) + \frac{334}{945}(\mathbf{q}_1 \times \mathbf{q}_3 + \mathbf{q}_2 \times \mathbf{q}_4) + \frac{526}{945}\mathbf{q}_1 \times \mathbf{q}_4 + \frac{218}{315}\mathbf{q}_2 \times \mathbf{q}_3. \quad (4)$$

На рис. 1 приведены графики зависимостей  $\delta(\mu)$ , полученные в результате компьютерного моделирования алгоритмов Nov2, Nov3 и Nov4, реализующих расчеты по формулам (2), (3) и (4) соответственно.

Из этих графиков следует, что максимальные дрейфы исследованных алгоритмов можно с достаточной для практики точностью аппроксимировать степенными зависимостями, представленными в табл. 1.

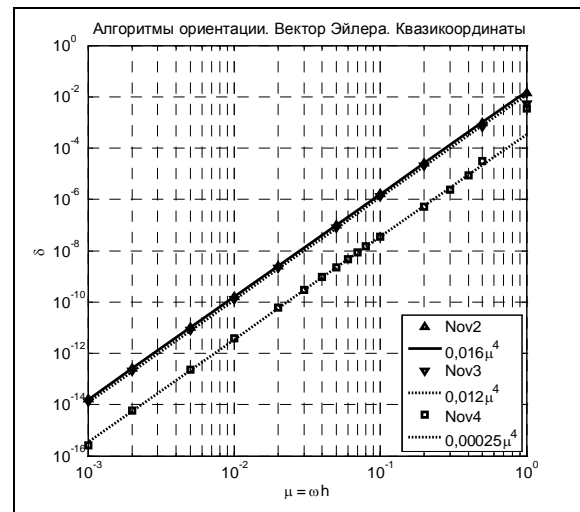


Рис. 1.

Таблица 1. Алгоритмы ориентации

Алгоритм	Формула алгоритма	Максимальный дрейф	$k$	$N$
Nov2	$\mathbf{q}_1 + \mathbf{q}_2 + \frac{2}{3}\mathbf{q}_1 \times \mathbf{q}_2$	$\frac{2a^2\omega}{125}\mu^4$	$\frac{2}{125}$	4
Nov3	$\mathbf{q}_1 + \mathbf{q}_2 + \mathbf{q}_3 + \frac{33}{80}\mathbf{q}_1 \times \mathbf{q}_3 + \frac{57}{80}\mathbf{q}_2 \times (\mathbf{q}_3 - \mathbf{q}_1)$	$\frac{3a^2\omega}{250}\mu^4$	$\frac{3}{250}$	4
Nov4	$\mathbf{q}_1 + \mathbf{q}_2 + \mathbf{q}_3 + \mathbf{q}_4 + \frac{736}{945}(\mathbf{q}_1 \times \mathbf{q}_2 + \mathbf{q}_3 \times \mathbf{q}_4) + \frac{334}{945}(\mathbf{q}_1 \times \mathbf{q}_3 + \mathbf{q}_2 \times \mathbf{q}_4) + \frac{526}{945}\mathbf{q}_1 \times \mathbf{q}_4 + \frac{218}{315}\mathbf{q}_2 \times \mathbf{q}_3$	$\frac{a^2\omega}{4000}\mu^4$	$\frac{1}{4000}$	4

**Точность некоторых трехшаговых "конических" алгоритмов**

Достаточно большое распространение получил синтез так называемых "конических" алгоритмов.

Рассмотрим некоторые из них, а именно – трехшаговые, представленные в табл. 2.

В качестве первого алгоритма *Mark3* использован алгоритм из статьи [4] Дж. Марка в табл. 2 (с. 69). Там приведен вариант трехшагового "улучшенного" конического алгоритма, исполь-

зующего предположение, что "все векторные произведения с одним и тем же промежуток имеют одинаковую величину".

Алгоритм *Hu3\_33* взят из статьи Л. Хуанга [7]. В ней предложено несколько "улучшающих" "конических" алгоритмов. Исследуем один из них, трехшаговый, опубликованный под номером (33), с. 3454. Трехшаговый алгоритм *Pan17* соответствует формуле (3.11) из статьи [7], а алгоритм *Pan17'* – формуле (3.3.17') из книги [3]. Параметры этих алгоритмов приведены в табл. 2.

Таблица 2. Трехшаговые "конические" алгоритмы ориентации.

Алгоритм	Формула алгоритма	Дрейф (моделирование)	Дрейф (литература)
<i>Mark3</i>	$\varphi = \mathbf{q}_1 + \mathbf{q}_2 + \mathbf{q}_3 + \frac{33}{80}\mathbf{q}_1 \times \mathbf{q}_3 + \frac{31}{40}(\mathbf{q}_1 - \mathbf{q}_3) \times \mathbf{q}_2$	$k = 0,04$ $N = 2$	$N = 6$
<i>Hu3-33</i>	$\varphi = \mathbf{q}_1 + \mathbf{q}_2 + \mathbf{q}_3 + \frac{9}{20}\mathbf{q}_1 \times \mathbf{q}_3 + \frac{27}{40}(\mathbf{q}_1 - \mathbf{q}_3) \times \mathbf{q}_2 - \frac{14153}{73}\mathbf{q}_1 \times (\mathbf{q}_1 \times \mathbf{q}_2) + \frac{13742}{75}\mathbf{q}_3 \times (\mathbf{q}_1 \times \mathbf{q}_2) + \frac{11401}{61}\mathbf{q}_1 \times (\mathbf{q}_1 \times \mathbf{q}_3)$	$k = 0,92$ $N = 3$	
<i>Pan17</i>	$\mathbf{q}_1 + \mathbf{q}_2 + \mathbf{q}_3 + \frac{33}{80}\mathbf{q}_1 \times \mathbf{q}_3 + \frac{57}{80}\mathbf{q}_2 \times (\mathbf{q}_3 - \mathbf{q}_1)$	$k = 0,013$ $N = 4$	
<i>Pan17'</i>	$\mathbf{q}_1 + \mathbf{q}_2 + \mathbf{q}_3 + \frac{9}{20}\mathbf{q}_1 \times \mathbf{q}_3 + \frac{27}{40}\mathbf{q}_2 \times (\mathbf{q}_3 - \mathbf{q}_1)$	$\frac{a^2\omega}{4000}\mu^4$ ; $k = \frac{1}{4000}$ ; $N = 4$	$\frac{a^2\omega}{204120}(\omega H)^6$ ; $k = \frac{1}{840}$ ; $N = 6$

Нетрудно заметить следующее:

- 1) алгоритм *Pan17* полностью совпадает с ранее рассмотренным алгоритмом *Nov3*;
- 2) алгоритм *Mark3* близок к алгоритму *Pan17*, отличаясь лишь коэффициентом при третьем слагаемом;
- 3) алгоритм *Hu3-33* получен "расширением" алгоритма *Pan17'* за счет учета третьего слагаемого в формуле Борца (1), что приводит к появлению в формуле алгоритма членов с двойными векторными произведениями.

Результаты моделирования показаны на рис. 2. Там же, для сравнения, приведены результаты моделирования алгоритма *Nov4*. Помимо максимальных дрейфов алгоритма *Hu3\_33*, представленных одноименным массивом, под именем *Hu3\_33con* приведены дрейфы того же алгоритма при коническом движении основания (т.е. при  $\varepsilon = 90^\circ$ ).

Изучение результатов, отраженных на рис. 2, позволяет сделать следующие выводы.

1. Наиболее точным среди всех рассмотренных трехшаговых алгоритмов является алгоритм *Pan17'*. Он почти на два порядка точнее трехшагового алгоритма *Pan17* (*Nov3*) и практиче-

ски совпадает по точности с четырехшаговым алгоритмом *Nov4*. Характерная особенность алгоритма *Pan17'* – практическое отсутствие дрейфа при значении частотного параметра  $\mu = \omega h \approx 0,25$ .

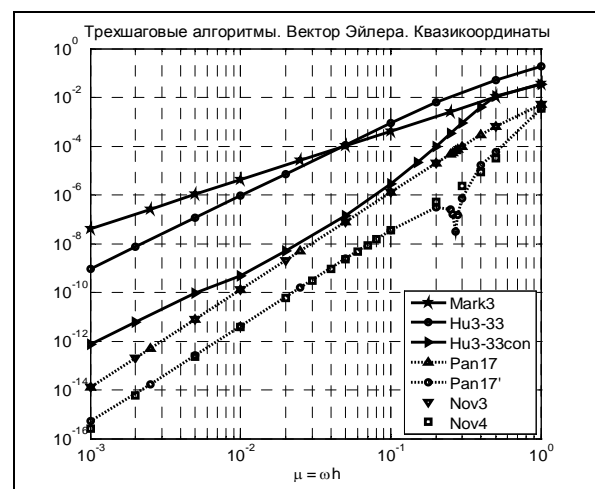


Рис. 2.

2. Приведенная в литературе оценка дрейфов погрешностей алгоритма *Pan17'* ( $N=6$ ) существенно отличается от полученной в результате

компьютерного моделирования ( $N=6$ ). Можно, однако, заметить, что первая оценка может относиться лишь к небольшой области высоких частот колебаний основания ( $\mu \approx 1$ ).

3. Применение в алгоритме *Mark3* сделанного Дж. Марком допущения привело к ухудшению точности по дрейфам погрешностей по сравнению с базовым алгоритмом *Pan17* на порядок в области высоких частот ( $\mu \approx 1$ ) и на 5 порядков в области низких ( $\mu \approx 0,001$ ). Вместо заявленного шестого порядка точности ( $N=6$ ) получен алгоритм второго порядка ( $N=2$ ).

4. Как и у известных трехшаговых алгоритмов максимальные дрейфы в алгоритме *Mark3* наблюдаются при коническом движении основания (т.е. при  $\varepsilon = 90^\circ$ ).

5. Трехшаговый алгоритм *Hu3\_33*, предложенный в статье [8], оказывается третьего порядка ( $N=3$ ) точности, т.е. на порядок меньше базового алгоритма *Pan17'*. Дрейфы его на 2 порядка больше в высокочастотной области ( $\mu \approx 1$ ) и на 7 порядков больше в области низких частот ( $\mu \approx 0.001$ ).

6. Использование алгоритма *Hu3\_33* при коническом движении основания (вариант *Hu3\_33con*) также нецелесообразно, так как его точность в этом случае на порядок меньше алгоритма *Pan\_171*.

#### Точность некоторых четырехшаговых "конических" алгоритмов

Сравним характеристики точности четырехшагового алгоритма, предложенного Л. Хуангом ([7], формула (13), с. 3452) и реализованного в модели процедурой *Hu13\_4h* со следующими известными в литературе четырехшаговыми алгоритмами:

1) из статьи Дж. Марка ([4], таблица 1, с. 68), которому соответствует процедура *Mark4h*;

2) из книги А. П. Панова [3] по формуле (3.2.28), с. 154, расчеты по которому реализует процедура *Pan28*;

3) из статьи М. Ф. Буденного [5] (алгоритм 5, таблица 1, с. 79), который реализуется процедурой *Nov4* (табл. 1).

Формулы алгоритмов приведены в табл. 3.

Таблица 3. Четырехшаговые "конические" алгоритмы ориентации.

Алгоритм	Формула алгоритма	Дрейф (моделирование)	Дрейф (литература)
<i>Hu13_4h</i>	$\mathbf{q}_1 + \mathbf{q}_2 + \mathbf{q}_3 + \mathbf{q}_4 + \frac{214}{105} \mathbf{q}_1 \times \mathbf{q}_2 + \frac{92}{105} \mathbf{q}_1 \times \mathbf{q}_3 + \frac{54}{105} \mathbf{q}_1 \times \mathbf{q}_4$	$k = 0,0055;$ $N = 3$	$N = 6$
<i>Mark4h</i>	$\mathbf{q}_1 + \mathbf{q}_2 + \mathbf{q}_3 + \mathbf{q}_4 + \frac{214}{315} (\mathbf{q}_1 \times \mathbf{q}_2 + \mathbf{q}_3 \times \mathbf{q}_4 + \mathbf{q}_2 \times \mathbf{q}_3) + \frac{46}{105} (\mathbf{q}_1 \times \mathbf{q}_3 + \mathbf{q}_2 \times \mathbf{q}_4) + \frac{546}{105} \mathbf{q}_1 \times \mathbf{q}_4$	$\frac{a^2 \omega}{4000} \mu^4;$ $k = \frac{1}{4000};$ $N = 4$	$\frac{a^2 \omega}{82575360} (\omega H)^8;$ $k = \frac{1}{1260};$ $N = 8$
<i>Pan28</i>	$\mathbf{q}_1 + \mathbf{q}_2 + \mathbf{q}_3 + \mathbf{q}_4 + \frac{2}{3} (\mathbf{q}_1 \times \mathbf{q}_2 + \mathbf{q}_3 \times \mathbf{q}_4) + \frac{1}{2} (\mathbf{q}_1 + \mathbf{q}_2) \times (\mathbf{q}_3 + \mathbf{q}_4) + \frac{1}{30} (\mathbf{q}_1 - \mathbf{q}_2) \times (\mathbf{q}_3 - \mathbf{q}_4)$	$k = 0,00026;$ $N = 4$	$N = 4$

Рисунок 3 представляет полученные моделированием этих алгоритмов графики зависимостей относительных максимальных дрейфов от частотного параметра. Кроме того, под именем *Hu13\_4hcon* приведен график дрейфов алгоритма *Hu13\_4h* при чисто коническом движении ( $\varepsilon = 90^\circ$ ).

#### Выводы

1. Алгоритмы *Nov4*, *Mark4h* и *Pan28* близки по точности.

2. Четырехшаговый алгоритм *Hu13\_4h* оказывается третьего порядка по дрейфам. При этом максимальные его дрейфы наблюдаются при пло-

ских колебаниях третьей оси. Если возможные сдвиги фаз между колебаниями основания неизвестны, то использование этого алгоритма в БИСО может приводить к значительным потерям точности по сравнению с остальными рассмотренными алгоритмами.

3. Если же преобладающим режимом колебаний основания является именно коническое движение, то в этом случае использование алгоритма *Hu13\_4h* (вариант *Hu13\_4hcon*) вполне целесообразно. В этом случае дрейфы погрешности оказываются равными или значительно меньшими в большом диапазоне частот (ввиду того, что они не

являються максимально возможными), чем в остальных рассмотренных алгоритмах.

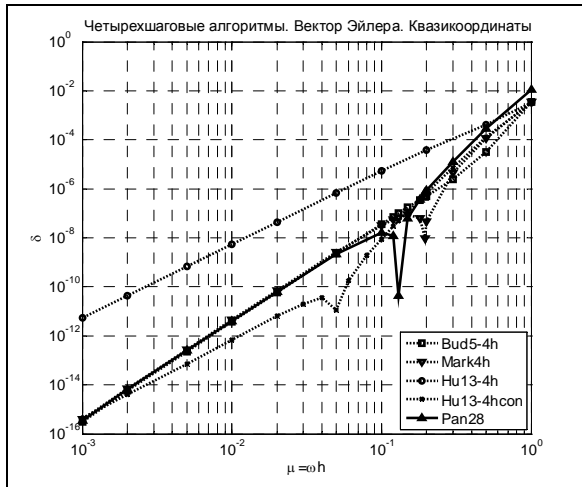


Рис. 3.

4. У алгоритмов *Mark4h*, *Hu13\_4hcon* и *Pan28* имеются особые точки нулевого дрейфа при значении частотного параметра, близком к 0,2; 0,05 и 0,13 соответственно.

5. Так как алгоритм *Hu13\_4h* получен на основе алгоритма *Mark4h* путем приравнивания векторов, отвечающих одинаковым интервалам, то можно резюмировать, что в общем случае (для произвольных сдвигов фаз) такая операция приводит к понижению порядка точности алгоритма.

#### Выводы

1. "Расширение" алгоритмов ориентации за счет учета последнего члена в уравнении Борца приводит в большинстве случаев к резкому ухудшению точности и увеличению амплитуд периодических колебаний погрешностей. Вероятно, это обстоятельство было известно и другим исследователям. Именно поэтому они пришли к выводу, что лучше всего при синтезе алгоритмов отбросить последнее слагаемое в уравнении Борца, так как это приводит только к ухудшению алгоритма.

2. Приравнивание коэффициентов при векторных произведениях, соответствующих одинаковым диапазонам между моментами измерения

квазикоординат обычно также приводит к резкому увеличению максимальных дрейфов погрешности, а также к существенному изменению сдвига фаз, при котором наблюдаются эти максимумы.

#### Литература

1. Лазарев Ю. Ф. и др. Результаты V-тестирования безразгонных алгоритмов бесплатформенных инерциальных систем ориентации // X Международная научно-техническая конференция "Гиротехнологии, навигация, управление движением и конструирование авиационно-космической техники". Сборник докладов. – К.: НТУУ "КПИ", 2015 – С. 475-482.
2. Miller R. B. A new strapdown attitude algorithm // Journal of Guidance, Control and Dynamics. Vol.6, No.4, 1983, pp. 287-291. doi.org/10.2514/3.19831
3. Панов А. П. Математические основы теории инерциальной ориентации. – Киев: Наукова думка, 1995. – 280 с.
4. Марк Дж., Тазартес Д. Конические алгоритмы, учитывающие неидеальность частотной характеристики выходных сигналов гироскопов // Гироскопия и навигация. – 2000. – № 1(28). – С. 65-77.
5. Буденный М. Ф. и др. Об автоматизированном проектировании системы программно-аппаратных средств на базе гиперкомплексных чисел для задач ориентации твердого тела. Часть 2. // Реєстрація, зберігання і обробка даних, 2002. – Т. 4. – № 4. – С. 77-84.
6. Литманович Ю. А., Марк Дж. Г. Прогресс в разработке алгоритмов БИНС на западе и востоке в материалах Санкт-Петербургских конференций: обзор за десятилетие. // Материалы X Санкт-Петербургской международной конференции по интегрированным навигационным системам. – СПб. 2003. – С. 250-260.
7. Huang L. A new second-order strapdown attitude algorithm // International Journal of Innovative Computing, Information and Control. Volume 9, Number 8, August 2013. – pp. 3449-3462.

УДК 531.3:629.7.05

**Ю. Ф. Лазарев, П. С. Мироненко**

*Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського", м. Київ, Україна*

#### ПОРІВНЯННЯ ТОЧНОСТІ ДЕЯКИХ АЛГОРИТМІВ БЕЗПЛАТФОРМОВИХ ІНЕРЦІАЛЬНИХ СИСТЕМ ОРІЄНТАЦІЇ

На основі комп'ютерного моделювання в середовищі Matlab процесу обробки вимірювальної інформації про вектор кутової швидкості об'єкта в окремі моменти часу вивчаються параметри точності відомих алгоритмів і зроблені висновки щодо раціонального їх синтезу.

Основна увага приділяється вивченню дрейфу алгоритмічної похибки. Як і сказано, дрейф алгоритму в певних умовах призводить до похибки, яка стає переважаючою над іншими складовими похибки обробки інформації.

Причиною появи дрейфів алгоритмів є випрямний ефект, обумовлений наявністю в інтегральних рівняннях орієнтації мультиплікативних членів. Виділено характерні особливості випрямного ефекту: 1) він виникає при синхронних коливаннях множників мультиплікативних членів і 2) істотно залежить від зсуву фаз між коливаннями цих множників.

Кінцевою метою досліджень є встановлення залежностей максимальних дрейфів похибок алгоритмів від кроку опитування вимірювачів і параметрів коливань основи.

Зроблено висновки про ефективність деяких запропонованих прийомів підвищення точності алгоритмів різних наближень для визначення параметрів орієнтації в безлатформових інерційних системах орієнтації.

**Ключові слова:** інерційна орієнтація, алгоритми, точність, дрейфи похибок.

**Y. F. Lazarev, P. S. Myronenko**

*National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine*

### COMPARISON OF ACCURACY OF SOME ALGORITHMS STRAPDOWN ATTITUDE

Based on computer modeling in the Matlab environment of processing the measurement information about the angular velocity vector of an object, the accuracy parameters of known algorithms studied at certain times and drawn a conclusions about their rational synthesis.

The main attention paid to the study of the drift of the algorithmic error. It shows that the algorithm drift under certain conditions leads to an error that becomes predominant over other components of the information processing error.

The reason for the appearance of algorithm drifts is the rectification effect due to the presence in the integrating equations of orientation of the multiplicative terms. The characteristic features of the rectification effect are distinguished: 1) it arises in the case of synchronous oscillations of the multipliers of the multiplicative terms, and 2) depends substantially on the phase shift between the oscillations of these factors.

The ultimate goal of the research is to establish that the maximum drifts depends of the algorithms errors on the step of interrogating the meters and the parameters of the base oscillations.

Conclusions drawn about the effectiveness of some of the proposed methods for increasing the accuracy of algorithms of different approximations for determining orientation parameters in strapdown inertial orientation systems.

**Keywords:** inertial attitude, algorithms, precision, drift errors.

*Надійшла до редакції  
18 квітня 2017 року*

*Рецензовано  
28 квітня 2017 року*

© Лазарев Ю. Ф., Мироненко П. С., 2017