

УДК 629.7.05:531.38

## КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОБЕРТАННЯ ТВЕРДОГО ТІЛА І ЙОГО ОРІЄНТАЦІЇ

*О. М. Трунов<sup>1</sup>, І. О. Гомозкова<sup>2</sup>, Ю. А. Плаксі<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> магістрант кафедри комп'ютерного моделювання процесів та систем, НТУ «ХПІ», Харків, Україна

<sup>2</sup> аспірант кафедри комп'ютерного моделювання процесів та систем, НТУ «ХПІ», Харків, Україна

<sup>3</sup> професор кафедри комп'ютерного моделювання процесів та систем, канд. техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Україна

В безплатформених інерціальних навігаційних системах (БІНС), які отримали широке поширення на рухомих об'єктах різного призначення, цифровий образ інерціального триєдра осей формується в автономному обчислювачі за допомогою алгоритмів орієнтації, які відіграють роль *аналітичної платформи* [1]. Для коректного оцінювання похибок алгоритмів орієнтації на етапі проектування БІНС зазвичай використовують еталонні моделі обертання твердого тіла, які задають в аналітичному вигляді ідеальну первинну інформацію про обертання рухомого об'єкта, що знімається з гіроскопів у вигляді квазікоординат [2], та еталонні значення кватерніона орієнтації  $\Lambda(t) = (\lambda_0(t), \lambda_1(t), \lambda_2(t), \lambda_3(t))$  на такті обчислень. Кількість існуючих аналітичних еталонних моделей достатньо обмежена. Найбільше поширення в теперішній час отримали еталонні *моделі кінцевого руху* [3] та *регулярної прецесії* [4], які засновані на точних розв'язках в елементарних функціях сукупності динамічних і кінематичних рівнянь обертання твердого тіла. Розширення класу аналітичних неперервних моделей обертання, в тому числі на основі узагальнення існуючих моделей, і аналіз алгоритмів орієнтації на цих моделях є актуальною задачею. Деякі нові еталонні моделі обертання твердого тіла представлені в роботах [5,6]. В роботі представлена розроблена прикладна комп'ютерна програма моделювання процесу обертання і орієнтації твердого тіла у вигляді спеціального програмного додатку, що реалізований мовою програмування C# на платформі Visual Studio. Такий вибір пов'язаний з тим, що C# є об'єктно-орієнтованою мовою програмування, яка має строгу статичну типізацію, підтримує поліморфізм, перевантаження операторів, вказівники на функції-члени класів, атрибути, події, властивості, винятки, коментарі у форматі XML.

Розроблений програмний продукт може бути встановлений на 32- та 64-бітні версії Microsoft Windows 7, Windows 8 та Windows 10, на яких встановлено Visual Studio, не нижче версії 3.0 з підтримкою платформи .NET. Також, для відображення графіків, необхідно, щоб на пристрої було встановлено табличний процесор Microsoft Office Excel. За наявності цих програмних продуктів, сам додаток буде потребувати мало пам'яті (10 Мб).

Представлений програмний продукт за допомогою розробленого інтерфейсу дозволяє користувачу вибрати певну еталонну модель обертання із наявного списку моделей і отримати результати моделювання процесу обертання твердого тіла у вигляді побудованих графіків залежності квазікоординат, проєкцій кутової швидкості на зв'язані осі та компонент еталонного кватерніона орієнтації від часу. Вигляд розробленого інтерфейсу програми представлений на рис.1



Рис. 1 – інтерфейс додатку

Окрім цього програма візуалізує процес орієнтації, оскільки дозволяє побудувати траєкторії  $\lambda_i(\lambda_0)$  ( $i=1,2,3$ ) в конфігураційному просторі параметрів орієнтації. Аналіз траєкторій дає можливість користувачу вибрати саме ту еталонну модель, яка найкраще описує процес обертання реального об'єкту, для якого буде застосований алгоритм орієнтації.

Список запропонованих в програмі еталонних моделей включає модель регулярної прецесії, дві моделі кінчного руху та п'ять двочастотних моделей. Користувач за допомогою інтерфейсу може задати параметри вибраної моделі. Відображення результатів обчислення, що відбувається в табличному процесорі Microsoft Excel, дозволяє не тільки зберігати результати, а й створювати графіки обчислюваного руху твердого тіла автоматично.

На другому етапі, коли еталонну модель вибрано, користувач має можливість отримати оцінки похибки конкретного алгоритму орієнтації з наявного списку алгоритмів на обраній моделі. Список представлених алгоритмів включає одно- та двокрокові алгоритми обчислення кватерніонів на заданому інтервалі часу з вибраним кроком обчислень. Результати аналізу представляються у вигляді побудованих графіків залежностей від часу похибок норми і неусувної похибки дрейфу [2].

Представлена програма допускає розширення списку еталонних моделей і алгоритмів орієнтації за рахунок включення в цей список нових еталонних моделей і нових алгоритмів орієнтації.

#### Список літератури:

1. *Mortensen R.E.* Strapdown Guidance Error Analysis. – IEEE Trans. Aerospace and Electr. Syst., 1974, vol.10, No 4, pp.451–458.
2. *Бранец В.Н.* Введение в теорию бесплатформенных инерциальных навигационных систем/ В.Н. Бранец, И.П. Шмыглевский – М.: Наука, 1992.-280 с.
3. *Miller R. B.* A new strapdown attitude algorithm // Journal of Guidance, Control and Dynamics. – 1983. – Vol. 6. – No. 4. – P. 287 – 291.
4. *Панов А.П.* Оптимизация высокоточных алгоритмов вычисления кватернионов в случае прецессии твердого тела/ А.П. Панов // Кибернет. и вычисл. техн. – К., 1987.– Вып. 73.– С. 3–9.
5. *Гомозкова І. О.* Нові двочастотні еталонні моделі обертання твердого тіла для точного аналізу орієнтації БІНС/ Ю.А. Плаксі́й, І. О. Гомозкова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях.– Х.: НТУ «ХПІ». – 2018.– №27 (1303).– С.93–99.
6. *Плаксі́й Ю.А.* Трьохчастотні аналітичні еталонні моделі обертання твердого тіла // Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ». – 2014.– №6 (1149).– С.175–185.