

УДК 629.735.05:004(045)

О.А. Сущенко, канд. техн. наук

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ КУРСУ В РЕЖИМІ ТОЧНОГО ГОРИЗОНТУВАННЯ

НАУ, кафедра систем управління, e-mail: fsu@nau.edu.ua

Наведено математичний опис системи визначення курсу в режимі точного горизонтування з урахуванням кутового руху основи, на якій установлюються датчики. Для дослідження вибору дискретності обробки інформації математичний опис доповнено моделями сервісної електроніки.

Вступ

Сучасний етап створення систем визначення курсу рухомих об'єктів потребує розгляду вимог до значного розширення їхніх функціональних можливостей з одночасним зменшенням маси та габаритів. До того ж необхідно враховувати тенденцію останніх років, яка полягає у значному підвищенні вимог до точності з одночасними вимогами до зменшення термінів проектування.

Усі ці вимоги потребують створення моделі, яка б дозволяла оцінювати найбільш вагомі характеристики систем визначення курсу на ранніх етапах створення системи.

У цій статті розглядається платформна система визначення курсу, призначена для випадків, що потребують високої точності. Така система може бути побудована на основі платформи в кардановому підвісі, вимірювачів кутового положення та акселерометрів.

Як вимірювачі кутового положення доцільно використовувати гіроскопи з динамічним настроюванням, які характеризуються високими точнісними та експлуатаційними характеристиками.

Акселерометри забезпечують корекцію гіроскопів та дозволяють визначати лінійні навігаційні параметри рухомого об'єкта.

Отже, можна вважати, що така система за своїми функціональними можливостями наближається до інерціальної навігаційної системи, залишаючись при цьому більш простою в експлуатації та меншої вартості.

Складність і багатофункціональність системи зумовлює складність алгоритмів її роботи.

Алгоритм роботи систем такого класу містить декілька режимів:

- попереднього приведення до горизонту;
- приведення до меридіану;
- точного приведення до горизонту та визначення курсу або визначення азимуту рухомого об'єкта.

При цьому склад датчиків, що забезпечує роботу системи, змінюється залежно від конкретного режиму роботи.

Важливим аспектом, який необхідно враховувати під час створення моделі системи визначення курсу, є широке використання обчислювальних засобів, що, з одного боку, надає широкі можливості реалізації складних алгоритмів сучасних навігаційних систем, а з іншого – потребує дослідження проблеми визначення дискретності обробки інформації. Усі ці проблеми потребують нових підходів до створення моделі системи визначення курсу. Крім того, слід враховувати, що до особливостей досліджуваної системи належить розподіл контурів керування.

Стабілізація платформи здійснюється стабілізуючими двигунами за сигналами від гіроскопа з динамічним настроюванням, що виконує функції гіровертикалі. У свою чергу, гіровертикаль коректується за сигналами акселерометрів. Такий розподіл функцій керування дозволяє забезпечити високу точність системи визначення курсу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Існує багато робіт, присвячених особливостям створення моделей систем та приладів, призначених для визначення курсу рухомих об'єктів [1–3]. Однак для створення моделей такого класу велике значення має урахування кутового руху платформи.

Модель системи визначення курсу з урахуванням кутового руху платформи в режимі попереднього приведення до горизонту наведено в праці [4]. Режим точного приведення до горизонту відрізняється складом датчиків, що встановлюються на стабілізованій платформі, та відповідно особливостями формування керуючих моментів, тобто він потребує окремого розгляду. Зазвичай відомі моделі систем досліджуваного класу ототожнюються із моделлю гіровертикалі за умови знехтування відповідними похибками [1; 2].

Урахування кутового руху платформи дозволяє на підставі результатів моделювання обирати параметри обох контурів управління системи: стабілізуючого та коректувального. До останнього часу, розроблюючи моделі систем визначення курсу, не враховувалася можливість включення до їх складу моделей сервісної електроніки.

Безумовно, доповнення математичного опису системи такими моделями значно його ускладнює, але використання сучасних досліджувальних систем керування обчислювальними засобами (пакет Simulink) дозволяє подолати ці труднощі.

Мета статті – розгляд особливостей створення моделі навігаційної системи в режимі точного приведення до горизонту. Головними ознаками запропонованої моделі є урахування кутового руху основи, тобто стабілізованої платформи, та включення до складу математичного опису системи моделей сервісної електроніки та обчислювального пристрою.

Отже, запропонований математичний опис дозволяє обирати параметри контурів керування системою визначення курсу з урахуванням усіх нелінійностей, притаманних реальним системам.

Створення моделі системи визначення курсу в режимі точного приведення до горизонту

Досліджувана система визначення курсу являє собою трьохосову платформу в кардановому підвісі, яка стабілізується за сигналами гіроскопа, що виконує функції гіровертикалі. Головна вісь цього гіроскопа виставляється за напрямком місцевої вертикалі з використанням сигналів акселерометрів, тобто в системі реалізується так звана інтегральна корекція, яка забезпечує незбуреність гіровертикалі зовнішніми прискореннями рухомого об'єкта.

Основні кінематичні співвідношення, використовувані для будівництва моделі, визначаються на підставі схем взаємної орієнтації окремих пристроїв, що належать до складу математичного опису системи в цілому.

Взаємне розташування базової системи координат та системи координат, зв'язаної з платформою, ілюструється рис. 1.

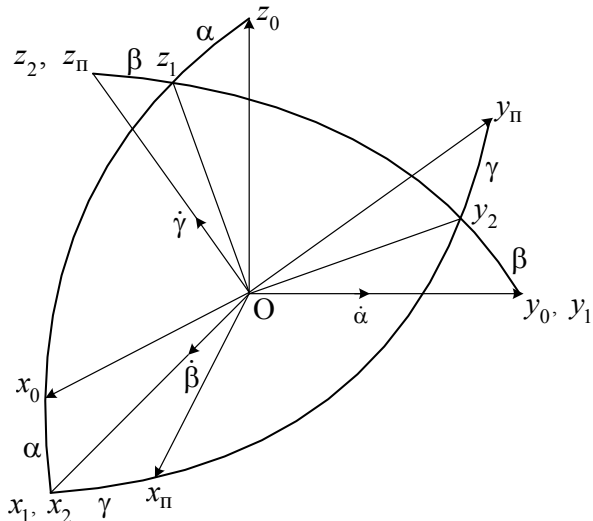


Рис. 1. Взаємне розташування базової та зв'язаної з платформою систем координат

У базовій системі координат $Ox_0y_0z_0$ вісь Oy_0 вважається збіжною з поздовжньою віссю рухомого об'єкта, вісь Ox_0 – поперечною віссю та вісь Oz_0 – нормальною віссю.

Перехід від базової системи координат до системи координат $Oxyz$, зв'язаної з платформою, здійснюється за допомогою трьох поворотів на кути α, β, γ відносно осей Oy_0, Ox_1, Oz_2 відповідно.

Вважається також, що осі чутливості акселерометрів збігаються з осями платформи.

Початкове положення осей Резаля, зв'язаних і з гіроскопом із динамічним настроюванням (ГДН), збігається з осями платформи.

Під час руху за умови дії зовнішніх збурень гіроскоп відхиляється від платформи на кути $\alpha_{\tilde{A}}, \beta_{\tilde{A}}$.

Взаємне розташування систем координат, зв'язаних з платформою та гіроскопом, що виконує функції гіровертикалі, ілюструє рис. 2.

Отже, на рис. 2 вихідною системою координат є система координат $Ox_{\Pi}y_{\Pi}z_{\Pi}$, зв'язана з платформою.

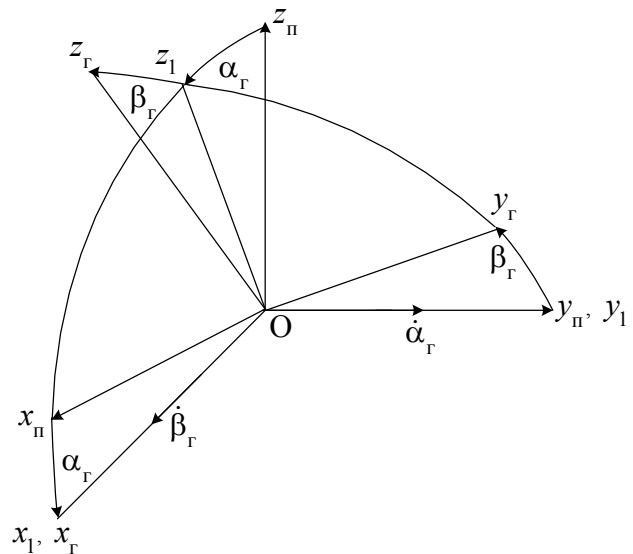


Рис. 2. Взаємне розташування систем координат, зв'язаних із платформою та ГДН

Система координат $Ox_gy_gz_g$ позначає систему координат, зв'язану з осями Резаля гіроскопа з динамічним настроюванням.

Структурна схема математичного опису системи визначення курсу в режимі точного горизонтування (рис. 3) ілюструє взаємозв'язок різних моделей, у т. ч. моделей платформи, датчиків кінематичних параметрів і сервісної електроніки, пристроїв узгодження (ПУ) та широтно-імпульсних модуляторів (ШІМ), через параметри керування.

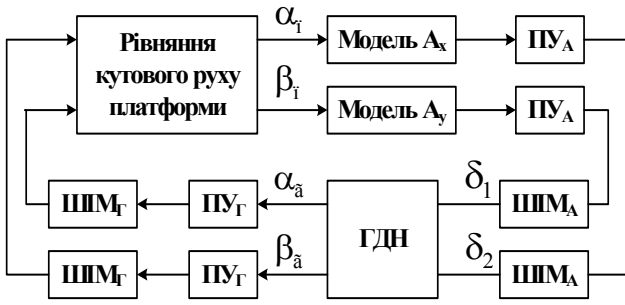


Рис. 3. Структурна схема математичного опису системи визначення курсу в режимі точного горизонтування

До складу математичного опису системи визначення курсу належать:

– рівняння руху та кінематичні співвідношення платформи:

$$\dot{\omega}_{xi} = \frac{-(J_z - J_y)\omega_{yi}\omega_{zi} - f_x\omega_{xi} - M_0\text{sign}\omega_0 - k_1\beta_{\bar{A}}}{J_x};$$

$$\dot{\omega}_{yi} = \frac{-(J_x - J_z)\omega_{xi}\omega_{zi} - f_y\omega_{yi} - M_0\text{sign}\omega_0 - k_2\alpha_{\bar{A}}}{J_y};$$

$$\dot{\omega}_{zi} = \frac{-(J_y - J_x)\omega_{xi}\omega_{yi} - f_z\omega_{zi} - M_0\text{sign}\omega_0}{J_z};$$

$$\dot{\alpha} = \frac{\omega_{xi} \sin \gamma + \omega_{yi} \cos \gamma}{\cos \beta};$$

$$\dot{\beta} = \omega_{xi} \cos \gamma - \omega_{yi} \sin \gamma;$$

$$\dot{\gamma} = \omega_{zi} + \text{tg}\beta(\omega_{xi} \sin \gamma + \omega_{yi} \cos \gamma);$$

– рівняння руху ГДН [5]:

$$\ddot{\alpha}_{\bar{A}} = \frac{-d\dot{\alpha}_{\bar{A}} + H\dot{\beta}_{\bar{A}} + \frac{H}{T_{\bar{A}}}\beta_{\bar{A}} - c\alpha_{\bar{A}} + H_1\omega_{xi} - k_3\delta_1}{J_{\bar{A}}};$$

$$\ddot{\beta}_{\bar{A}} = \frac{-d\dot{\beta}_{\bar{A}} - H\dot{\alpha}_{\bar{A}} - \frac{H}{T_{\bar{A}}}\alpha_{\bar{A}} - c\beta_{\bar{A}} - H_1\omega_{yi} - k_4\delta_2}{J_{\bar{A}}};$$

$$H_1 = H(1 - 10^{-3});$$

– рівняння акселерометрів:

$$\dot{\delta}_1 = \frac{-\delta_1 + k_5\beta}{T};$$

$$\dot{\delta}_2 = \frac{-\delta_2 + k_6\alpha}{T};$$

де J_x, J_y, J_z – осьові моменти інерції платформи; $\omega_{xi}, \omega_{yi}, \omega_{zi}$ – проекції кутової швидкості платформи на її власні осі; f_x, f_y, f_z – моменти в'язкого тертя; \dot{I}_0 – момент опору стабілізуючих двигунів; ω_0 – зовнішня кутова швидкість, що діє на платформу; $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6$ – коефіцієнти передачі; d – коефіцієнт демпфірування; H – кінетичний момент гіроскопа; $T_{\bar{A}}$ – стала часу гіроскопа; c – остаточна жорсткість карданового підвісу ГДН; δ_1, δ_2 – вихідні сигнали акселерометрів; $J_{\bar{A}}$ – сума екваторіальних моментів ротора та рамки карданового підвісу ГДН; T – стала часу акселерометрів. Ці диференціальні рівняння можуть бути реалізовані засобами Simulink.

Крім того, використання цієї системи дозволяє враховувати моделі сервісної електроніки.

Реальний час моделювання за допомогою такої моделі є досить значним, і це зумовлюється використанням моделі ШМ. Тому найбільш доцільно визначати параметри контурів керування системи за допомогою моделі без урахування моделей сервісної електроніки, а потім використовувати модель з урахуванням нелінійностей, притаманних реальним системам, для розв'язання проблеми вибору інтервалу дискретності обробки інформації.

Обчислювальну схему моделі системи визначення курсу в режимі точного горизонтування показано на рис. 4, результати моделювання процесів стабілізації платформи відносно площини горизонту – на рис. 5, 6. Як видно із поданих результатів, обрані за допомогою моделювання коефіцієнти законів керування, забезпечують достатню якість перехідних процесів.

Висновок

Математичний опис системи визначення курсу з урахуванням кутового руху основи забезпечує процес створення систем визначення курсу з підвищеними точнісними вимогами.

Включення до математичного опису системи визначення курсу моделей сервісної електроніки дозволяє вирішувати проблему вибору дискретності обробки інформації із урахуванням його впливу на точність перехідних процесів.

Література

1. Нестеренко О.И., Аврутов В.В. Математическая модель малогабаритного корректируемого гироскопа с динамически настраиваемым гироскопом /Вестн. КПИ. Приборостроение. – К., 1995. – Вып. 24. – С. 24–33.

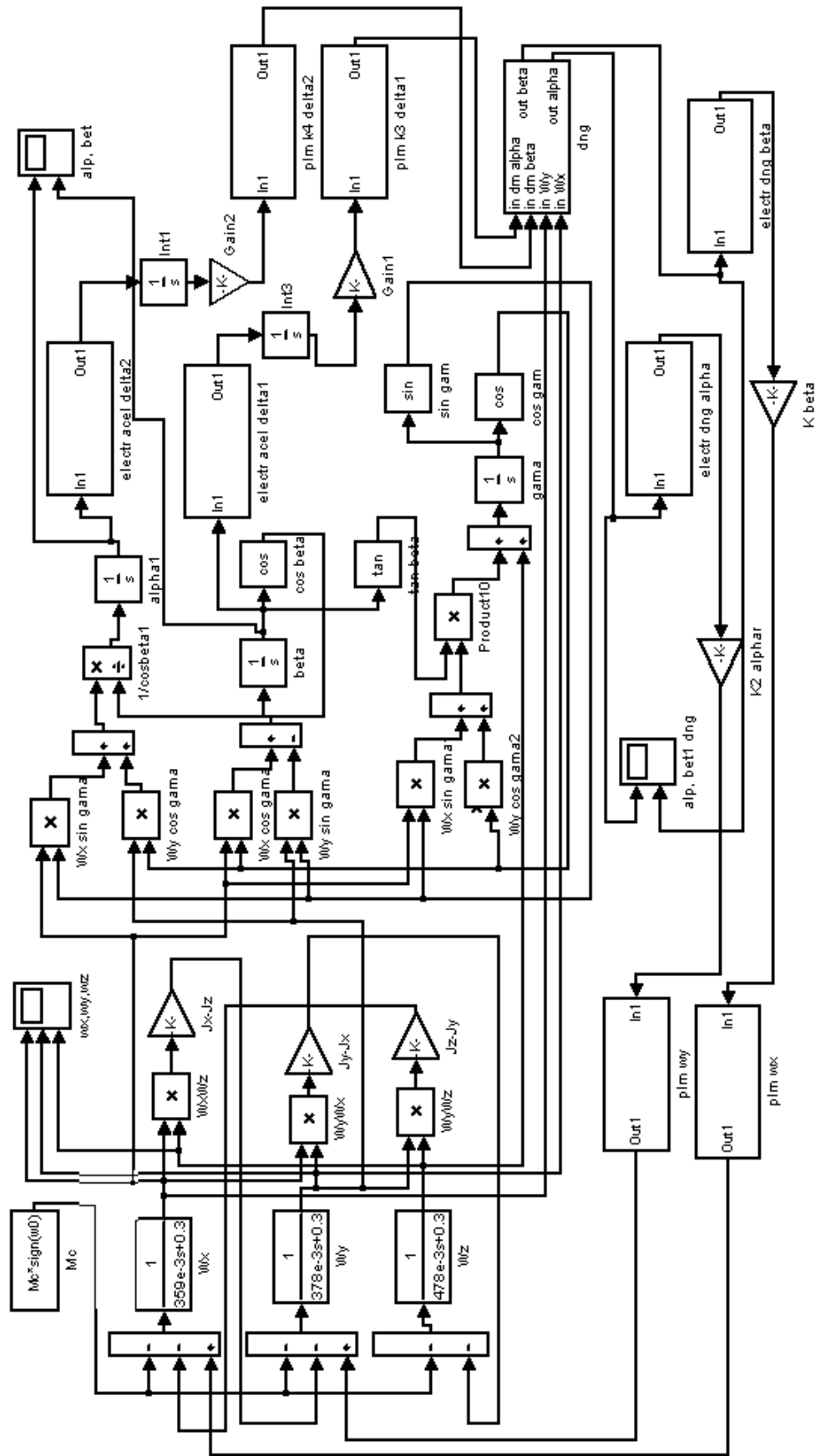


Рис. 4. Обчислювальна схема системи визначення курсу в режимі точного горизонтування

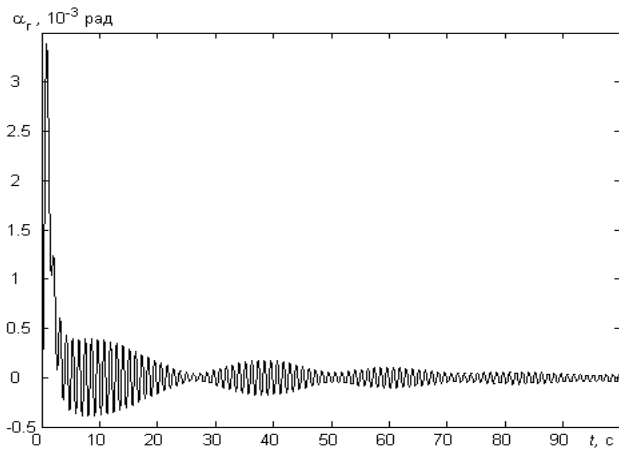


Рис. 5. Кутове відхилення ГДН

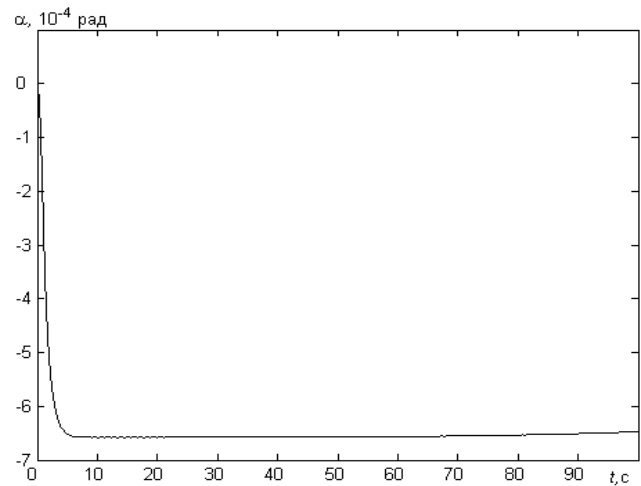


Рис. 6. Похибка стабілізації платформи

2. Збруцький О.В., Нестеренко О.І., Шевчук А.В. Математична модель однієї схеми курсокренопоказчика // *Механіка гіроскопічних систем.* – К., 2001–2002. – Вип. 17–18. – С. 154–167.
3. Суцєнко О.А. Особливості управління системою визначення курсу в режимі точного приведення до

горизонту // *Вісн. НАУ.* –2004. – №4. – С. 29–32.

4. Суцєнко О.А. Математична модель системи визначення курсу в режимі попереднього горизонтування // *Вісн. НАУ.* –2005. – №1. – С.37–40.

5. Павловский М. А. Теория гироскопов. – К.: Вища шк., 1986. – 304 с.

Стаття надійшла до редакції 10.01.06.

Приведено математическое описание системы определения курса в режиме точного горизонтирования с учетом углового движения основания, на котором устанавливаются датчики. Для исследования выбора дискретности обработки информации математическое описание дополнено моделями сервисной электроники.

The mathematical description of course determination system in the mode of levelling is created. Angle motion of the base on which the sensors are mounted is taken into consideration. To provide the choice of the sampling interval the mathematical description is complemented by the models of service electronics.