

ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА НАВІГАЦІЙНИХ ПРИЛАДІВ І СИСТЕМ

УДК 004.896

СТАБІЛІЗУЮЧЕ КЕРУВАННЯ НЕСТІЙКОЮ СИСТЕМОЮ З ГІРОСКОПІЧНИМИ СТРУКТУРАМИ НА БАЗІ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

Миرونенко П. С., Окороков А. І.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
м. Київ, Україна

E-mail: miironenko46@rambler.ru; chrono_sh@i.ru

Робота присвячена дослідженню системи керування двоколісним транспортним засобом на основі нечіткої логіки. Метод керування реалізовано для системи стабілізації та динамічної рівноваги на прикладі гіроскопічного монорейкового вагона. Розроблено імітаційну модель об'єкту керування у середовищі LabVIEW, що дозволило проводити дослідження в режимі on-line, змінювати параметри моделі та характеристики керування в процесі виконання експерименту.

Досліджено вплив зміни параметрів системи та потужності виконуючого пристрою на процес відновлення рівноваги. Проведено порівняння динамічних характеристик транспортного засобу на основі нечіткого керування та традиційного. Показано, що введення блока нечіткої логіки в систему керування значною мірою зменшило час перехідного процесу та спожиту енергію.

Ключові слова: нестійка система, нечітка логіка, рівновага.

Вступ

Задачі керування нестійкими механічними системами мають значний теоретичний інтерес та важливе практичне значення. Динамічні моделі нестійких об'єктів різної конфігурації часто використовують в дослідженнях як наглядні приклади для порівняння методів синтезу алгоритмів стабілізації. Ці системи служать спрощеними схемами крокуючих роботів, ракет на старті, руху декількох барж, які штовхає буксир, тощо. До таких об'єктів відносяться індивідуальний транспортний засіб типу «Segway», який разом з пасажиром на борту представляє собою перевернутий маятник на колісній парі, та літальні апарати, у яких центр тиску розміщений попереду центра ваги. Подібні задачі стабілізації необхідного режиму функціонування виникають при конструюванні екзоскелетів, в медицині для вивчення механізмів регуляції вертикальної пози та спектра корисних коливань людини. Аналогічні задачі виникають при проведенні наукових досліджень і в учбовому процесі.

Системи стабілізації та динамічної рівноваги стають в наш час все більш складними і розповсюдженими. Використання сучасних мікромеханічних датчиків дозволяє здійснювати більшу мініатюризацію і доступність до таких засобів керування, що, в свою чергу, дозволяє розширювати області їх використання. В наш час розміри цих датчиків постійно зменшуються, а точність і чутливість постійно зростають. Широкому використанню указаних вимірювачів параметрів руху сприяє також швидке збільшення обчислювальних потужнос-

тей мікроконтролерів, які здатні з великою частотою контролювати параметри системи (швидкість, прискорення, положення та інше).

Постановка задачі

Найбільш розповсюдженим алгоритмом, який використовується в задачах керування нестійкими об'єктами, вважається ПД – алгоритм. Проектування регуляторів даного типу є широко розповсюдженою задачею. Але програмна реалізація алгоритму пов'язана з певними труднощами. Причиною цього служить той факт, що, при недосконалій системі визначення кута нахилу (крену) вагона, сигнал зворотного зв'язку в контурі керування піддається різним збурюючим впливам, пов'язаних з фізичним устроєм мікромеханічних датчиків, та вимагає значних потужностей мікропроцесорних пристроїв. Крім того, регулятори подібного типу досить чутливі до точності визначення коефіцієнтів підсилення.

Одним з методів розв'язання цієї проблеми – використання нечітких методів керування. Реалізація нечіткого керування дозволяє розв'язати основні проблеми в стабілізації об'єкту у вигляді нестійкого маятника. В першу чергу, складність ідентифікації параметрів об'єкту керування та динамічні похибки вимірювачів.

Метою даної роботи є розробка та дослідження нечіткого алгоритму керування нестійким об'єктом із гіроскопічною структурою при спрощеній системі визначення кута крену для зменшення часу перехідного процесу та енергоспоживання.

В якості моделі керування вибрано монорейковий вагон, центр ваги якого вищий за опорну рейку. Схему одного з них – вагона Шиловського – зображено на рис. 1. Вертикальне положення вагона нестійке, і для його стабілізації використовується гіроскоп з вертикальною віссю власного обертання. Керування рухом системи здійснюється за допомогою датчика моменту відносно осі внутрішньої рамки.

Інформаційна частина системи може базуватись на різних варіантах складу датчиків. В даній роботі використовуються два вимірювача кутового положення: стандартний (електромеханічний) датчик кутового положення внутрішньої рамки гіростабілізатора відносно зовнішньої (поз. 2, рис. 1) та спеціальний, побудований на базі двох мікромеханічних акселерометрів [1].

Схема розміщення акселерометрів на об'єкті та осі чутливості представлені на рис. 1, поз. 4. Датчики розташовані вздовж осі OZ, на відстанях l_1 і l_2 від осі обертання системи. Позначимо через a_{1x} та a_{2x} покази акселерометрів по осям чутливості.

Тоді $a_{1x} = -l_1\ddot{\psi} - g \sin \psi$; $a_{2x} = -l_2\ddot{\psi} - g \sin \psi$; Якщо покази акселерометрів відомі, то легко обчислити кут крену вагона за формулою

$$\sin \psi = \frac{l_2 a_{1x} - l_1 a_{2x}}{g(l_1 - l_2)}. \quad (1)$$

При малих значеннях кута ψ функцію $\sin \psi$ можна замінити її аргументом.

Легко обчислити також і кутове прискорення

$$\ddot{\psi} = \frac{a_{1x} - a_{2x}}{l_2 - l_1}. \quad (2)$$

З формул (1), (2) випливає, що, якщо відстань $l_2 - l_1$ мала, то при обчисленнях можуть виникнути великі похибки. Також треба мати на увазі, що акселерометри представляють собою прилади, в яких відбуваються власні перехідні процеси, виникають похибки вимірювання, тому їх покази не можна вважати ідеальними. Тим не менш, як указано в роботі [1], використання даного методу вимірювання кута крену для об'єктів аналогічного типу може бути успішним.

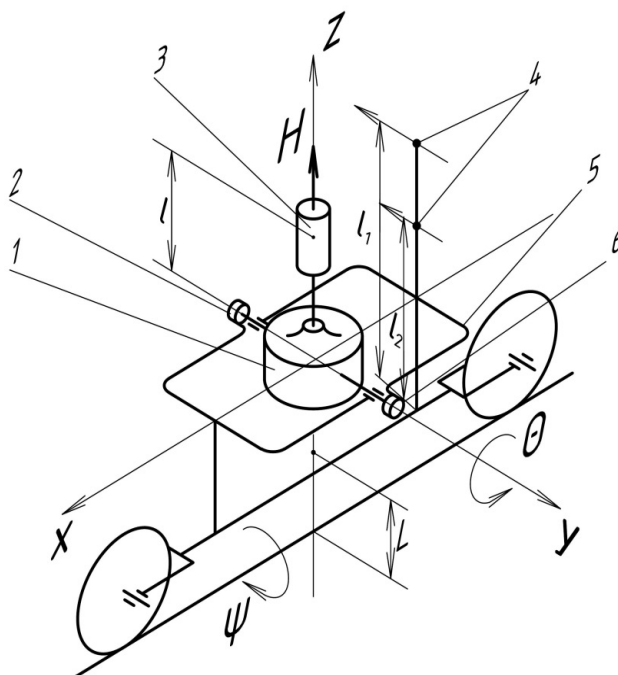


Рис. 1. Фізична модель об'єкта керування, де: 1 – гіромотор стабілізатора; 2 – датчик кута по осі обертання внутрішньої рамки; 3 – вантаж; 4 – акселерометри; 5 – зовнішня рамка гіростабілізатора; 6 – датчик моменту.

Поведінка системи при дії керуючого моменту U описується системою диференціальних рівнянь другого порядку [2]

$$\ddot{\psi} = \frac{H\dot{\vartheta} + MgL\vartheta - k_1\psi}{A_1}; \quad (3)$$

$$\ddot{\vartheta} = \frac{U - H\dot{\psi} + mgl\vartheta - k_2\dot{\vartheta}}{A_2},$$

де ψ, ϑ – узагальнені координати; A_1 – момент інерції усієї системи (вагона і гіроскопа) відносно осі рейки; A_2 – момент інерції гіроскопа разом з його рамкою відносно осі рамки; H – власний кінетичний момент гіроскопа; k_1, k_2 – коефіцієнти в'язкого тертя системи навколо рейки та внутрішньої рамки відносно зовнішньої відповідно, M – маса всієї системи (вагона і гіроскопа), m – маса ванта-

жу; L – відстань між центром мас всієї системи і віссю рейки; l – відстань між центром мас гіроскопа з рамкою і віссю обертання гіромотора.

Моделювання системи керування

Реалізацію системи керування виконано в LabVIEW [3] – системі, яка може використовуватися не тільки для моделювання, а і для вимірювання окремих параметрів об'єкту. LabVIEW має простий зрозумілий процес графічного програмування, повністю відповідає всім вимогам керування фізичними процесами, підтримки сітьових інтерфейсів; сполучена з ОС Windows 2000/NT/XP, Mac OSX, Linux, Solaris. У роботі також було використано програмний пакет Advanced Signal Processing Toolkit. Програма дослідження монорейкового вагона побудована на основі диференціальних рівнянь (3). Схема (рис. 2) містить, зокрема, такі датчики: вимірювання кутів ψ і ϑ , втрати ступеня вільності, вимірювання інтервалів часу і спожитої енергії, а також блоки завдання граничного значення положення рівноваги і керування.

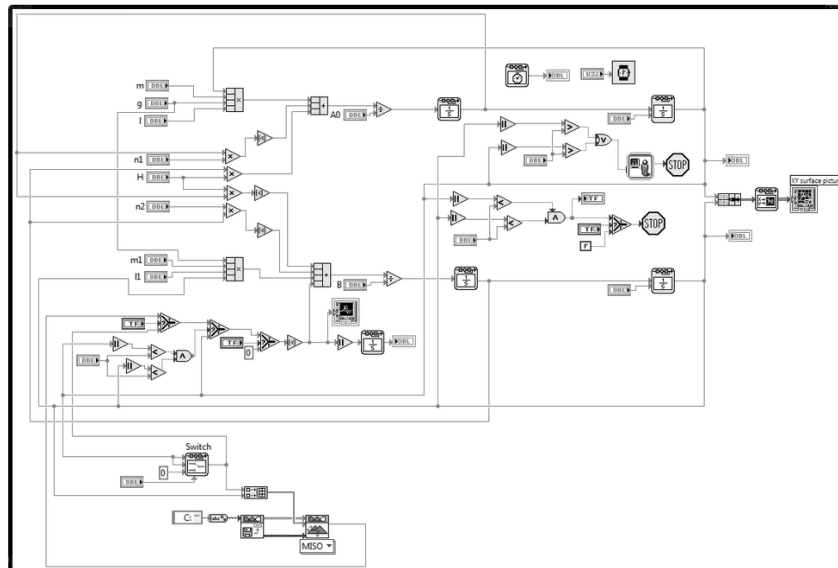


Рис. 2. Блок – діаграма дослідження системи

Блок нечіткого керування розроблено на базі доповнення PID and Fuzzy Logic Toolkit. Використано дві входні лінгвістичні змінні (α , β) і одна вихідна (control). Вихідне значення сигналу керування розраховувалось за методом центроїда [4, 5].

Для реалізації процедур фазифікації і дефазифікації побудовані функції належності для кожної входної і вихідної змінної. Значення цих функцій найбільшою мірою визначають якість процесу керування системою.

У роботі наведені функції належності, для яких попередньо проводились тестові запуски програми та проводилась оцінка працездатності і якості системи керування і відповідне коректування функцій належності. Визначено, що оптимальною є лінійна (трикутна) функція належності. Водночас, вона є найбільш простою для обчислення.

Параметри функції належності для терм – множин лінгвістичних змінних alfa, beta і control наведені на рис. 3, а), б), в).

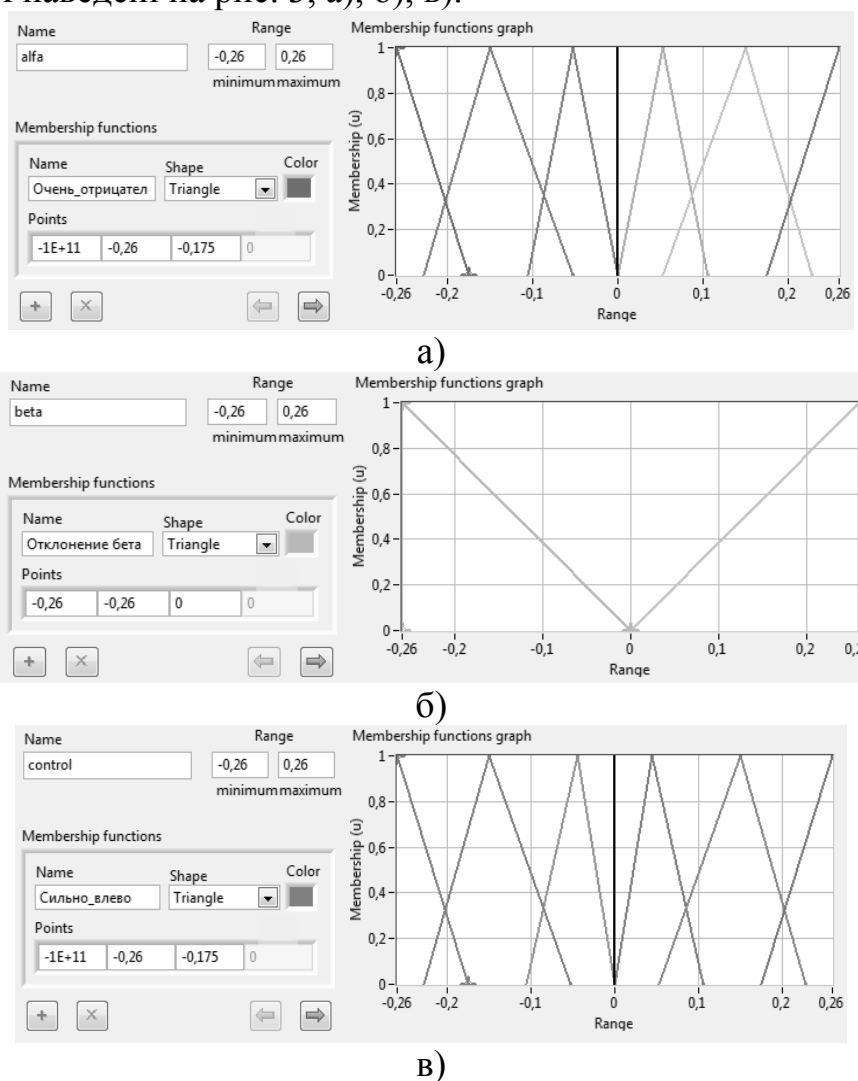


Рис. 3. Функції належності для терм – множин лінгвістичних змінних alfa(а), beta(б) і control(в).

Під нечіткою базою знань мається на увазі сукупність правил “якщо – то”, які визначають взаємозв’язок між вхідними та вихідним лінгвістичними змінними. Базу знань зведено до дев’яти правил, які показані на рис. 4.

1. IF 'alfa' IS 'Очень_отрицательно' THEN 'control' IS 'Сильно_влево'
2. IF 'alfa' IS 'Очень_положительно' THEN 'control' IS 'Сильно_вправо'
3. IF 'alfa' IS 'Средне-положительно' THEN 'control' IS 'Средне_вправо'
4. IF 'alfa' IS 'Средне-отрицательно' THEN 'control' IS 'Средне_влево'
5. IF 'alfa' IS 'Близко-к-норме-положительно' THEN 'control' IS 'Близко-к-норме-вправо'
6. IF 'alfa' IS 'Близко-к-норме-отрицательно' THEN 'control' IS 'Близко-к-норме-влево'
7. IF 'alfa' IS 'Normal' THEN 'control' IS 'Normal'
8. IF 'alfa' IS 'Близко-к-норме-отрицательно' AND 'beta' IS 'Отклонение бета влево' THEN 'control' IS 'Близко-к-норме-вправо'
9. IF 'alfa' IS 'Близко-к-норме-положительно' AND 'beta' IS 'Отклонение бета вправо' THEN 'control' IS 'Близко-к-норме-влево'

Рис.4. База нечітких правил.

Нечіткі правила у вигляді трьохмірної поверхні представлені на рис. 5. По горизонтальним осям показані вхідні змінні ψ і ϑ , а по вертикальній осі – керування u .

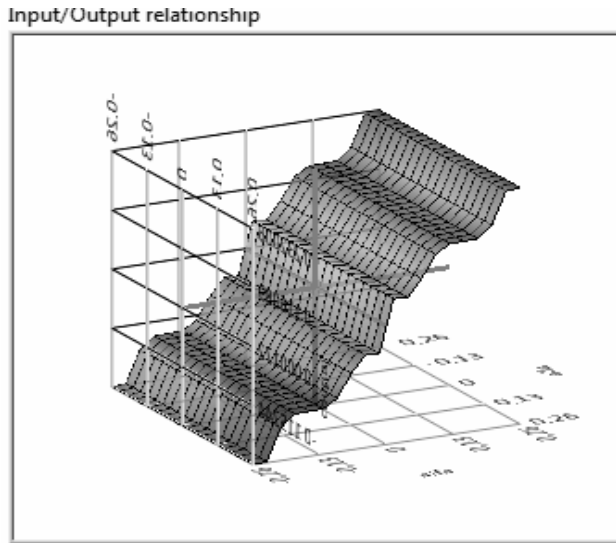


Рис. 5. Терми змінних

Моделювання роботи системи проводилось для реальної лабораторної установки з параметрами: $A_1 = 0,7 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $A_2 = 0,07 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, $k_1, k_2 = 0,7 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}$; $H = 0,4 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}$; $g = 9,8 \text{ м}/\text{с}^2$; $L = 0,06 \text{ м}$; $l = 0,02 \text{ м}$; $M = 2,0 \text{ кг}$; $m = 0,2 \text{ кг}$.

На рис. 6 наведені результати моделювання: а) – вільні коливання гіроскопа стабілізатора; з часом відхилення гіроскопа від положення рівноваги збільшується; через деякий час він втрачає ступінь вільності та перевертається;

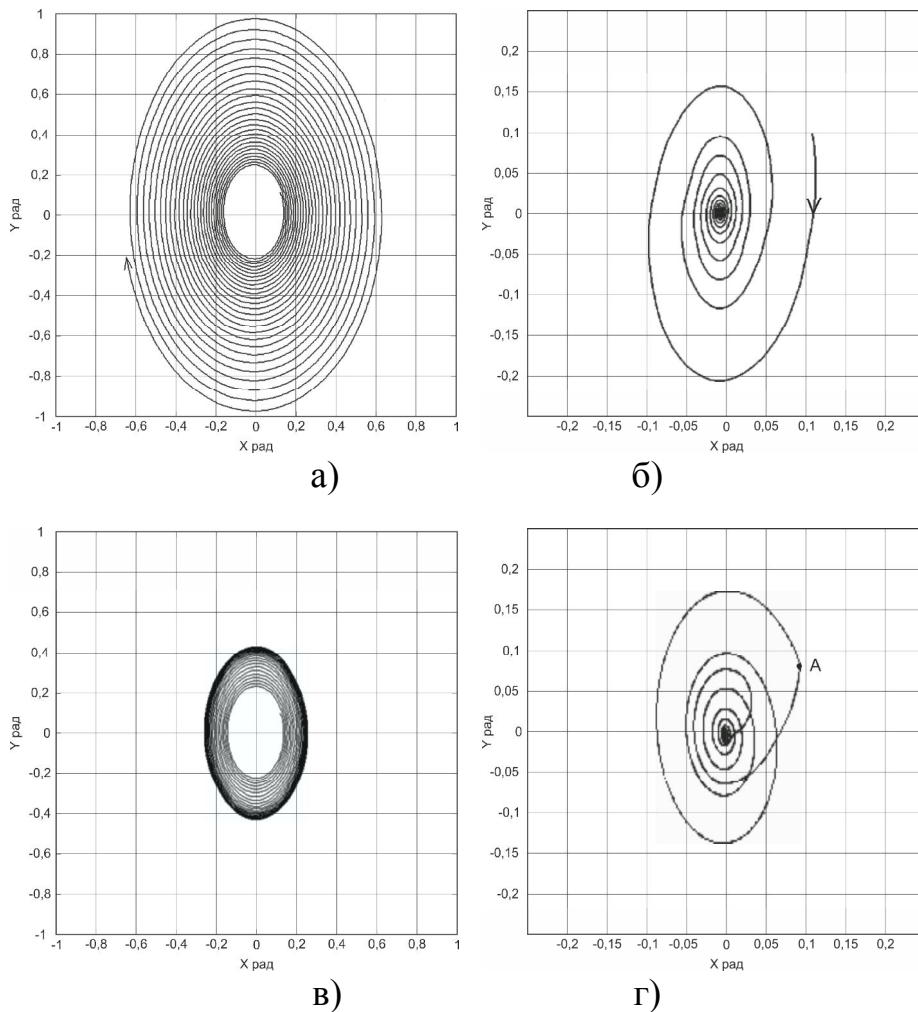


Рис.6. Моделювання системи керування

б) – поведінка гіроскопа з звичайною системою корекції; гіроскоп приводиться в положення рівноваги та залишається у цьому положенні; в) – поведінка гіроскопа за умови включення системи корекції при досягненні конкретного ($\alpha = 0,3$ рад) значення граничного відхилення гіроскопа; г) – поведінка гіроскопа при дії корекції на основі нечіткої логіки; т. А – момент включення системи корекції.

Висновки

В роботі проведено дослідження системи керування нестійкою системою з гіроскопічними структурами на основі використання нечіткої логіки. Для оцінки впливу зміни параметрів об'єкту та системи керування була побудована структурна схема дослідження в LabVIEW. При моделюванні використано програмний пакет Advanced Signal Processing Toolkit.

Незважаючи на неминучі відмінності параметрів моделі і реального об'єкта, дана робота показала можливість створення стабілізуючого керування нестійкої системи з гіроскопічними структурами і шлях до створення такої системи – отримання експериментальних даних в ході дослідження поведінки системи в реальних умовах, конкретизація кількісного і якісного складу вимірювачів інформаційної частини системи, накопичення досвіду керування на основі моделювання і оптимізація параметрів керування з урахуванням отриманого досвіду.

Досліджено вплив основних параметрів системи (кінетичного моменту гіроскопа, величин маси об'єкта і неврівноваженої маси та потужності виконуючого пристрою) на затрати енергії та час відновлення положення рівноваги. Визначено, що керування нестійкою системою за допомогою нечіткої логіки є більш доцільним, ніж при керуванні системою за допомогою звичайних алгоритмів, так як відновлення положення рівноваги здійснюється в середньому на третину швидше, а витрати енергії при цьому приблизно на 10% менші.

Література

1. Формальский А.М. Управление движением неустойчивых объектов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 232 с.
2. Лазарев Ю.Ф. Основы теории чувливых элементов систем ориентации : підручн. / Ю.Ф. Лазарев, П.М. Бондар. – К.: НТУУ “КПІ”, 2011. – 644 с.
3. Жуков К.Г. Модельное проектирование встраиваемых систем в LabVIEW. - М.: ДМК Пресс, 2011. – 689 с.
4. Ротштейн А.П. Управление динамической системой на основе нечеткой базы знаний / А.П. Ротштейн, С.Д. Штовба // Автоматика и вычислительная техника. – 2001. – № 2. – С. 23 - 30.
5. Усков А.А. Принципы построения систем управления с нечеткой логикой // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. – 2004. – № 6. – С. 7 - 13.

*Надійшла до редакції
13 травня 2015 року*

© Мироненко П. С., Огороков А. І., 2015