

КЕРУВАННЯ ОРІЄНТАЦІЄЮ МОБІЛЬНОГО РОБОТА

Нанцев В.О., Зеленько А.В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Мобільна робототехніка стає однією з галузей сучасної промисловості, що розвивається найбільш бурхливо. Одним з завдань, що повинен вирішувати мобільний робот під час своєї роботи є керування рухом.

Керування рухом колісного мобільного робота в середовищі без перешкод може здійснюватися шляхом керування рухом від деякої початкової точки з початковою орієнтацією до деякої кінцевої точки з бажаною орієнтацією (траєкторія руху не задана) або шляхом відстеження еталонної траєкторії.

На кафедрі Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ведуться роботи щодо синтезу та дослідження різних методів планування шляху робота та керування його рухом. В даній роботі розглядатиметься робот з диференціальним приводом, тобто що має два ведучих колеса позаду, та одне опорне попереду.

При русі робота необхідно забезпечити задану орієнтацію. Керування орієнтацією саме колісного робота є ще більш важливим оскільки він може рухатися лише в певних напрямках через обмеження на кути повороту коліс. Хоча керування орієнтацією не можна виконувати незалежно від керування поступальним рухом робота, саме завдання керування можна розглянути окремо точки зору класичної теорії автоматичного керування. Це дозволить визначити вплив значень коефіцієнтів підсилення регулятора на показники якості замкнутої системи керування орієнтацією.

Припустимо, що орієнтація колісного робота в певний час $t \in \varphi(t)$, а бажана орієнтація $\varphi_{\text{ref}}(t)$. Помилку керування можна визначити як:

$$e_{\varphi}(t) = \varphi_{\text{ref}}(t) - \varphi(t). \quad (1)$$

Як і в будь-якій системі керування, потрібна керуюча змінна, що може впливати або змінювати керовану змінну, яка в даному випадку є орієнтацією. Мета керування – довести похибку керування до 0 якомога швидше, але все ж із дотриманням деяких додаткових вимог, таких як споживання енергії, навантаження на привод, надійність

системи за наявності збурень, шуму, паразитної динаміки тощо. У відповідності до традиційного підходу до синтезу системи керування побудуємо модель системи, якою потрібно керувати. В даному випадку ми будемо спиратися на кінематичну модель робота з диференціальним приводом:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{y}(t) \\ \dot{\phi}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi(t) & 0 \\ \sin \varphi(t) & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Третє рівняння в рівнянні кінематичної моделі (2) є рівнянням орієнтації:

$$\dot{\phi}(t) = \omega(t). \quad (3)$$

З точки зору теорії керування рівняння (3) описує інтегруючу систему (її полюс розташований у початку координат комплексної площини s) з керуючою змінною $\omega(t)$. Добре відомо [1], що у інтегруючій системі звести помилку керування до нуля може простий пропорційний регулятор:

$$\omega(t) = K(\varphi_{\text{ref}}(t) - \varphi(t)), \quad (4)$$

де коефіцієнт посилення регулятора K є довільною позитивною константою. Інтерпретація закону керування (4) полягає в тому, що кутова швидкість $\omega(t)$ платформи робота встановлюється пропорційно похибці орієнтації робота. Поєднання рівнянь (3), (4) дозволяє переписати рівняння динаміки контуру керування орієнтацією робота наступним чином:

$$\dot{\phi}(t) = K(\varphi_{\text{ref}}(t) - \varphi(t)), \quad (5)$$

звідки можна отримати передавальну функцію замкнутої системи:

$$G_{\text{cl}}(s) = \frac{\varphi(s)}{\varphi_{\text{ref}}(s)} = \frac{1}{\frac{1}{K}s + 1}, \quad (6)$$

де $\varphi(s)$ та $\varphi_{\text{ref}}(s)$ – перетворені за Лапасом $\varphi(t)$ та $\varphi_{\text{ref}}(t)$ відповідно. Передавальна функція $G_{\text{cl}}(s)$ є функцією першого порядку, що означає, що при східчастому задаючому сигналі орієнтація експоненціально наближається до цього задаючого сигналу з постійною часу $T = 1/K$. Передавальна функція системи зі зворотним зв'язком також має одиничний коефіцієнт посилення, тому у встановленому режимі помилка орієнтації робота дорівнює 0.

Таким чином, регулятор (5) змусив замкнену систему керування орієнтацією робота поводитися як система першого порядку. Іноді бажано, щоб передавальна функція $G_{cl}(s)$ була функцією другого порядку, оскільки така передавальна функція дає більше ступенів свободи для проектувальника з точки зору форми перехідних процесів. Для цього приймемо, що кутове прискорення $\ddot{\omega}(t)$ робота пропорційне помилці його орієнтації:

$$\ddot{\omega}(t) = K(\varphi_{ref}(t) - \varphi(t)). \quad (7)$$

В цьому випадку отримаємо систему:

$$\ddot{\omega}(t) = \ddot{\varphi}(t) = K(\varphi_{ref}(t) - \varphi(t)) \quad (8)$$

з передавальною функцією другого порядку

$$G_{cl}(s) = \frac{\varphi(s)}{\varphi_{ref}(s)} = \frac{K}{s^2 + K}, \quad (9)$$

з власною частотою $\omega_n = \sqrt{K}$ і коефіцієнтом демпфування $\zeta = 0$. Така система знаходиться на коливальній межі стійкості, тому перехідний процес є неприйнятним. Демпфування досягається включенням додаткового члена до регулятора (7):

$$\ddot{\omega}(t) = K(\varphi_{ref}(t) - \varphi(t)) - K_2\dot{\varphi}(t), \quad (10)$$

де K_1 і K_2 є довільними позитивними коефіцієнтами посилення. Комбінуючи рівняння (3), (10) одержимо передавальну функцію замкненої системи:

$$G_{cl}(s) = \frac{\varphi(s)}{\varphi_{ref}(s)} = \frac{K_1}{s^2 + K_2s + K_1}, \quad (11)$$

з власною частотою $\omega_n = \sqrt{K_1}$, коефіцієнтом демпфування $\zeta = \frac{K_2}{2\sqrt{K_1}}$ і полюсами замкнутої системи $s_{1,2} = -\zeta\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$.

Передавальна функція (11) і є шуканою передавальною функцією системи керування орієнтацією мобільного робота.

Література:

1. Моделирование систем управления в SIMULINK : учеб. пособие / [В. А. Богомол, А. Г. Гурко, В. И. Клименко и др.]. – Харьков : ХНАДУ, 2018. – 220с.