

Zasady projektowania i zastosowania sterowania ślizgowego

By kama3 kama3

paź 30, 2025

Zasady projektowania i zastosowania sterowania ślizgowego

Sterowanie ślizgowe (SMC) to solidna i wszechstronna technika sterowania, szeroko stosowana w różnych dyscyplinach inżynierskich, szczególnie w systemach wymagających wysokiej precyzji i odporności na zakłócenia i niepewności. W tym artykule omówiono podstawowe zasady sterowania ślizgowego, metodologię jego projektowania oraz różnorodne zastosowania w różnych branżach.

Zrozumienie sterowania ślizgowego (SMC)

Sterowanie ślizgowe to rodzaj układu sterowania o zmiennej strukturze, charakteryzujący się tym, że trajektoria układu jest wymuszana na z góry określonej powierzchni ślizgowej. Po dotarciu do tej powierzchni dynamika układu staje się niewrażliwa na pewne rodzaje zakłóceń i niepewności, co zapewnia solidną wydajność.

Podstawowa koncepcja SMC

SMC obejmuje dwie główne fazy:

Faza osiągnięcia: Reguła sterowania kieruje trajektorią stanu układu w kierunku określonej powierzchni ślizgowej.

Faza ślizgowa: Po dotarciu do powierzchni układ sterowania utrzymuje na niej stan układu, zapewniając pożądane zachowanie dynamiczne.

Kluczowym założeniem jest zaprojektowanie sygnału sterującego, który wymusza na stanach układu osiągnięcie i utrzymanie tej powierzchni ślizgowej pomimo zakłóceń zewnętrznych lub zmian parametrów.

Zasady projektowania sterowania ślizgowego

Projektowanie efektywnego sterownika ślizgowego obejmuje kilka kluczowych kroków, opartych na teorii sterowania i dynamice systemów.

1. Definiowanie powierzchni ślizgowej

Powierzchnia ślizgowa, zazwyczaj oznaczana jako $s(x)$, jest funkcją stanów systemu i ewentualnie ich pochodnych. Jest ona projektowana tak, aby gdy trajektoria systemu leży na tej powierzchni, układ w pętli zamkniętej wykazywał pożądaną dynamikę.

Kryteria projektowania powierzchni ślizgowej obejmują:

Zapewnienie stabilności układu o zredukowanym rzędzie na powierzchni.

Osiągnięcie pożądanego przejściowego i ustalonego.

Uproszczenie implementacji zasad sterowania.

Przykład: Dla układu drugiego rzędu typową powierzchnią poślizgu jest:

$$\dot{s}(x) = c_1 \dot{x}_1 + c_2 \dot{x}_2$$

gdzie (x_1) i (x_2) to stany układu, a (c_1, c_2) to stałe dobrane na podstawie pożądanej dynamiki.

2. Projektowanie prawa osiągnięcia

Prawo osiągnięcia definiuje strategię sterowania, która ma na celu doprowadzenie stanów układu do powierzchni poślizgu. Zapewnia ono, że zmienna poślizgu $s(x)$ zbiega się do zera w skończonym czasie.

Typowe formy prawa sięgającego obejmują:

Liniowe prawo sięgającego:

$$\dot{s} = -k \cdot \text{sign}(s)$$

Nieliniowe prawo sięgającego:

$$\dot{s} = -k |s|^\alpha \text{sign}(s)$$

gdzie $(k > 0)$ i $(0 < \alpha < 1)$.

Wybór prawa sięgającego wpływa na szybkość zbieżności i drgania.

3. Synteza prawa sterowania

Wejście sterujące u jest zaprojektowane tak, aby spełnić warunek poślizgu:

$$\frac{d}{dt} s(x) = 0$$

lub przestrzegać prawa sięgającego, zapewniając, że układ porusza się w kierunku powierzchni ślizgowej i pozostaje na niej.

Typowe prawo sterowania ma postać:

$$u = u_{eq} + u_n$$

gdzie:

Sterowanie równoważne (u_{eq}) : utrzymuje układ na powierzchni ślizgowej, zakładając idealne warunki.
Sterowanie przełączające (u_n) : wymusza zbieżność w kierunku powierzchni, często z wykorzystaniem funkcji nieciągłych, takich jak funkcja znaku.

Uwaga: Aby złagodzić drgania, czasami stosuje się funkcje wygładzające lub tryby ślizgowe wyższego rzędu.

4. Zapewnienie odporności i stabilności

Teoria stabilności Lapunowa kieruje projektem, aby zapewnić zbieżność i odporność w skończonym czasie. Typową funkcją Lapunowa jest:

$$V(s) = \frac{1}{2} s^2$$

która maleje z czasem zgodnie z zaprojektowanym prawem sterowania, gwarantując stabilność układu.

Zastosowania sterowania w trybie ślizgowym

Solidność sterowania w trybie ślizgowym sprawia, że nadaje się ono do szerokiego zakresu zastosowań, szczególnie tam, gdzie systemy są narażone na niepewność, zakłócenia lub wymagają szybkiej reakcji.

1. Robotyka i mechatronika

Sterowanie manipulatorem robota: Zapewnienie precyzyjnego śledzenia trajektorii pomimo zmian obciążenia.

Serwosystemy: Osiąganie szybkiego pozycjonowania z eliminacją zakłóceń.

Urządzenia haptyczne: Zapewnienie stabilnego sprzężenia zwrotnego siły.

2. Systemy motoryzacyjne

Tempomat: Utrzymywanie prędkości pojazdu w zróżnicowanym terenie i przy zróżnicowanym obciążeniu.

Układy zapobiegające blokowaniu kół (ABS): Zapobieganie blokowaniu kół podczas hamowania.

Sterowanie silnikami pojazdów elektrycznych: Zapewnienie regulacji momentu obrotowego i prędkości przy zmiennych parametrach.

3. Elektronika mocy i napędy elektryczne

Bezszczotkowe silniki prądu stałego: Precyzyjna kontrola momentu obrotowego i prędkości z odpornością na zmiany obciążenia.

Inwertery podłączone do sieci: Regulacja napięcia i synchronizacja.

Stabilizacja układu napędowego: tłumienie oscylacji i kontrola przepływów mocy.

4. Lotnictwo i obronność

Kontrola położenia statków kosmicznych i satelitów: osiągnięcie precyzyjnej orientacji pomimo zewnętrznych momentów obrotowych.

Bezzałogowe statki powietrzne (UAV): niezawodne sterowanie lotem przy zaburzeniach wiatru.

Systemy naprowadzania: zapewnienie dokładnego śledzenia celu.

5. Proces C

[Read more](#)