

변구역구름조종기설계의 한가지 방법

김용남, 박은순

선행연구[2]에서는 단순구름조종방법을 리용하여 거꿀흔들의 균형안정화조종을 실현하였는데 이 방법은 오차가 작은 경우에 조종의 정확도가 낮은 결함을 가지고있으며 선행연구[1]에서는 변구역모호조종방법으로 회전식거꿀흔들의 균형안정화조종을 실현하였으나 특정한 설계자의 모호조종방법만을 반영한것으로 하여 로바스트성이 부족한 결함을 가지고있다.

우리는 변구역구름조종의 한가지 방법을 제기하고 회전식거꿀흔들의 균형안정화조종에 적용하여 그 효과성을 검증하였다.

1. 변구역구름조종기의 구성

조종대상의 상태방정식이 다음과 같이 표시된다고 하자.

$$\dot{x} = f(x(t), u(t)) \quad (1)$$

여기서 $x(t)$ 는 n 차원상태벡토르, $u(t)$ 는 스칼라조종력이다.

이제 식 (1)로 표시되는 대상에 대하여 대상을 안정화하는 변구역구름조종기구성에 대하여 보자.

이를 위해 변구역구름조종기의 입력변수 x_i 의 정의역을 $X_i = [-G_i, G_i], (i = \overline{1, n})$, 출력변수 u 의 정의역을 $U = [-H, H]$ 라고 하자. 그리고 변수정의역 X_i 에 대한 확대축소인자를 $\alpha(x_i)$, 출력변수공간의 확대축소인자를 $\beta(\alpha)$ 라고 하면 X_i, U 는 다음과 같이 표시된다.

$$X_i(x_i) = [-\alpha_i(x_i)G_i, \alpha_i(x_i)G_i] \quad (2)$$

$$U(\alpha) = [-\beta(\alpha)H, \beta(\alpha)H]$$

이때 입력변수정의역의 확대축소인자 $\alpha(x)$ 는 일반적으로 다음과 같이 정한다.

$$\alpha_i(x_i) = 1 - \sigma_i e^{-\lambda_i x_i^2} \quad (3)$$

여기서 σ_i, λ_i 는 설계파라미터로서 실제조종상황에 따라 확정한다.

또한 출력변수공간의 축소인자는 상태변수공간의 축소를 반영한 인자로서 다음과 같이 표시된다.[1]

$$\beta(\alpha) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha_i(x_i) \quad (4)$$

한편 구름모형사영기의 규칙수를 n_x 라고 하면 MISO 체계에서 n 차원 x 조건구름모형 규칙은 다음과 같은 형식으로 주어진다.

$$R_k: \text{if } x_1 \text{ is } A_{1j} \text{ and } x_2 \text{ is } A_{2j} \dots \text{ and } x_n \text{ is } A_{nj} \text{ then } u \text{ is } B_j$$

여기서 $\{A_{ij}\}(j = \overline{1, m})$ 는 각각 $X_i(i = \overline{1, n})$ 에서의 성원구름함수모임이고 $\{B_j\}(j = \overline{1, m})$ 는 U

에서의 성원구름함수모임이다. (m 은 분할수) 그리고 $k = \overline{1, n_x}$, $j = \overline{1, m}$ 이며 A_{ij}, B_j 는 입력과 출력에 대하여 각각 3차원정규분포 즉 Ex_{xi} 를 중심으로 하고 분산이 En_{xi} , 초분산이 He_{xi} 인 가우스성원구름모형 $N(Ex_{xi}, En_{xi}, He_{xi})$, $N(Ex_u, En_u, He_u)$ 로 표시된다.

다른 한편 n 차원구름모형사영기는 n 차원 x 조건구름모형과 1차원 u 결론구름모형, 역방향구름모형발생기로 이루어졌으며 n 차원 x 조건구름모형은 k 번째 규칙에 대하여 다음과 같이 표시된다.

$$w^k = \exp \left\{ - (1/2) \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{\alpha_i(x_i)} - Ex_{xi}^k \right)^2 / P_{xi}^k \right] \right\}, \quad P_{xi}^k = N(En_{xi}, He_{xi}) \quad (5)$$

그리고 1차원 u 결론구름모형은 다음과 같이 표시된다.

$$u^k = Ex_u^k \pm \left(\sqrt{-2 \ln w \left(\frac{G_i}{\alpha_i(x_i)} \right) P_u^k} \right), \quad P_u^k = N(En_u, He_u) \quad (6)$$

이로부터 구름조종기출력은

$$u' = H \frac{\sum_{k=1}^{n_x} w^k u^k}{\sum_{k=1}^{n_x} w^k} \quad (7)$$

으로 되며 식 (4), (7)로부터 조종대상애 가해지는 조종력은

$$u = \beta(\alpha) \cdot u' \quad (8)$$

와 같이 표시된다.

2. 실험 및 결과분석

실험을 위해 회전식거꿀흔들의 선형모형을 다음과 같이 주었다.[1]

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}u(t) \\ \mathbf{y}(t) = \mathbf{C}\mathbf{x}(t) \end{cases}$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -0.301 & -0.11 & -12.946 & 0.001 & 0.000 \\ 0 & 24.049 & 0.067 & 7.874 & -0.06 & -0.000 \\ 0 & 0.457 & 59.888 & 19.703 & -0.001 & -0.063 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\mathbf{B} = [0 \ 0 \ 0 \ 21.002 \ -12.774 \ -31.963]^T, \quad \mathbf{C} = [\mathbf{I}_{3 \times 3} \ \mathbf{O}_{3 \times 3}]$$

$$\begin{aligned} \mathbf{x} &= [x_1, x_2, \dots, x_6]^T = \\ &= [\theta_0, \theta_1, \theta_2, \dot{\theta}_0, \dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2]^T \end{aligned}$$

웃식에서 $\theta_0, \theta_1, \theta_2, \dot{\theta}_0, \dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2$ 들은 각각 거꿀흔들의 회전팔, 긴 흔들이 및 짧은

흔들이의 회전각과 회전각속도들이다.

구름조종기의 구조를 간단히 하기 위하여 거꿀흔들의의 매개 개별적상태에 따르는 조종기를 구성하지 않고 합성상태오차를 리용한 조종기를 구성한다. 이를 위해 합성오차와 합성오차변화률을

$$E = (k_1, k_2, k_3) \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}, EC = (k_4, k_5, k_6) \cdot \begin{pmatrix} x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{pmatrix} \quad (10)$$

으로 정하였다. 여기서 결수 $K = [k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6]$ 는 최량상태반결합결수를 정규화하여 결정하는데 우리는 그 값을 다음과 같이 결정하였다.

$$K = (0.003\ 2, 0.801\ 4, -0.576\ 0, 0.002\ 3, 0.146\ 8, -0.066\ 8)$$

이렇게 하면 체제는 2입력1출력체제로 간단화된다.

한편 초기입출력변수 E, EC 의 구간을 $[-1, 1]$ 로 정규화하고 조종규칙을 다음과 같이 작성한다.(표)

표. 구름조종규칙

EC	E						
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7
B_1	-0.833 3	-0.833 3	-0.583 3	-0.583 3	-0.333 3	-0.333 3	0
B_2	-0.833 3	-0.583 3	-0.583 3	-0.333 3	-0.333 3	0	0.333 3
B_3	-0.583 3	-0.583 3	-0.333 3	-0.333 3	0	0.333 3	0.333 3
B_4	-0.583 3	-0.333 3	-0.333 3	0	0.333 3	0.333 3	0.583 3
B_5	-0.333 3	-0.333 3	0	0.333 3	0.333 3	0.583 3	0.583 3
B_6	-0.333 3	0	0.333 3	0.333 3	0.583 3	0.583 3	0.833 3
B_7	0	0.333 3	0.333 3	0.583 3	0.583 3	0.833 3	0.833 3

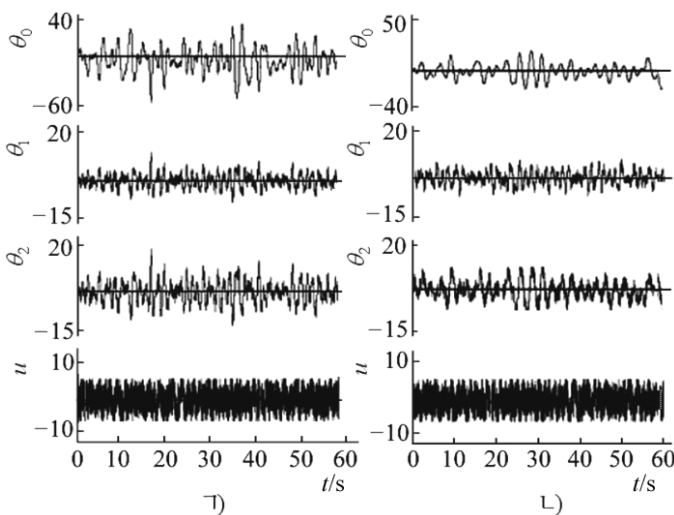


그림. 회전식병렬두마디거꿀흔들이 균형안정화조종결과
 1) 변구역모호조종, 2) 변구역구름조종

표에서 수값들은 출력변수공간에서 정의된 매 성원구름모임들의 정점에 대응되는 정의역값들이다.

분산과 초분산은 매 성원구름에 대하여 각각 0.066 7, 0.022 3으로 주었으며

$$n = 2, n_x = 49, \lambda_1 = \lambda_2 = 20, \\ \sigma_1 = 0.5, \sigma_2 = 0.56$$

으로 정하였다.

이때 변구역구름조종기를 구성하고 회전식거꿀흔들의의 균형안정화조종모의에 적용하고 선행한 방법과 비교한 결과는 그림과 같다.

그림으로부터 변구역구름조종기로 조종한 결과는 같은 초기상태

에 대하여 선행한 변구역모호조종방법을 적용하였을 때보다 회전팔의 자진동현상이 훨씬 적어졌다는것을 알수 있으며 이것은 변구역구름조종기가 변구역모호조종기에 비해 대상의 안정화조종력을 보다 정확히 결정할수 있다는것을 보여준다.

우리는 이와 같이 변구역구름조종방법을 회전식거울흔들이에 적용함으로써 이 방법의 효과성을 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 55, 4, 35, 주체98(2009).
- [2] 李德毅; 中国工程科学, 1, 2, 230, 2006.

주체104(2015)년 4월 5일 원고접수

A Design Method of Variable-Universe Cloud Controller

Kim Yong Nam, Pak Un Sun

We propose a method that realizes stabilization of the rotary parallel inverted pendulum by using the variable-universal cloud control approach, and prove the effectiveness of the proposed control approach through experiments.

Key words: cloud control, inverted pendulum