

변구역삼각형구름조종기를 리용한 거꿀흔들의 안정화조종에 대한 연구

박은순, 김성진

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《새 세기 산업혁명은 본질에 있어서 과학기술혁명이며 첨단돌파에 경제강국건설의 지름길이 있습니다.》

선행연구[1]에서는 정규구름조종기를 리용하여 거꿀흔들의 안정화조종을 실현하였는데 여기서는 정규성원구름모형을 리용한것으로 하여 계산량이 많고 비대칭성원구름을 적용할수 있는 부족점을 가지고있다.

선행연구[2]에서는 변구역모호조종기로 거꿀흔들의 안정화조종을 실현하였는데 대상의 불확정성을 반영하여 조종기를 설계할수 없는 부족점을 가지고있다.

논문에서는 대상의 불확정성도 잘 반영하고 한소편컴퓨터로 실현하기도 쉬운 변구역삼각형구름조종기를 리용하여 거꿀흔들의 안정화조종을 실현하기 위한 한가지 방법을 제안하였다.

1. 변구역삼각형구름모형에 의한 거꿀흔들의 안정화조종기설계

회전식병렬거꿀흔들이에서 체계의 상태변수는

$$\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_6]^T = [\theta_0, \theta_1, \theta_2, \dot{\theta}_0, \dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2]^T \quad (1)$$

이다.[2]

병렬거꿀흔들의 상태를 그대로 리용한 조종기를 리용하면 구름조종기를 구성할 때 규칙수가 많아지므로 논문에서는 다음과 같은 합성상태오차를 리용한 조종기를 구성한다.[1]

$$E = (k_1, k_2, k_3) \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix}, EC = (k_4, k_5, k_6) \cdot \begin{pmatrix} x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{pmatrix} \quad (2)$$

식 (2)에서 결수 $K = [k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6]$ 은 다음과 같이 결정한다.

$$K = \bar{K} / \|\bar{K}\|_2 = (0.003\ 2, 0.801\ 4, -0.576\ 0, 0.002\ 3, 0.146\ 8, -0.066\ 8) \quad (3)$$

여기서 \bar{K} 는 2차평가함수

$$J = \frac{1}{2} \int_0^\infty (\mathbf{x}^T(t) \mathbf{Q} \mathbf{x}(t) + \mathbf{u}^T(t) \mathbf{R} \mathbf{u}(t)) dt, \quad \mathbf{u} = -\bar{K} \mathbf{x} \quad (4)$$

가 최소로 되도록 결정한 값이다.

이렇게 하면 체계는 2입력1출력체계로 간단화된다.

여기에 기초하여 초기입출력변수구간을 $[-1, 1]$ 로 정규화하고 조종규칙을 다음의 표와 같이 작성한다.

표. 구름조종규칙

	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7
B_1	-0.833 3	-0.833 3	-0.633 3	-0.500 0	-0.333 3	-0.1667	0
B_2	-0.833 3	-0.633 3	-0.500 0	-0.333 3	-0.166 7	0	0.1667
B_3	-0.633 3	-0.500 0	-0.333 3	0.166 7	0	0.166 7	0.333 3
B_4	-0.500 0	-0.333 3	-0.1667	0	0.166 7	0.333 3	0.500 0
B_5	-0.333 3	-0.166 7	0	0.166 7	0.333 3	0.500 0	0.633 3
B_6	-0.166 7	0	0.166 7	0.333 3	0.500 0	0.633 3	0.833 3
B_7	0	0.166 7	0.333 3	0.500 0	0.633 3	0.833 3	0.833 3

표에서 수값들은 출력성원구름의 기대값들이다.

그리고 $A_1, A_2, \dots, A_7, B_1, B_2, \dots, B_7$ 은 부의 최대, 부의 중간, 부의 최소, 령, 정의 최소, 정의 중간, 정의 최대를 나타내는 구간 $[-1, 1]$ 에서의 구름모임이다.

다음 회전식병렬거꿀흔들을 안정화하기 위한 변구역구름조종기를 다음과 같이 구성한다.

$$u_c(t) = -\delta(t) - \beta(\alpha)y(E, EC) \quad (5)$$

2차원구름모형사영기의 규칙수를 표와 같이 49개로 하고 구름방울개수를 $N_x = 3\ 000$ 개로 하면 2차원규칙 x 조건구름모형은 다음과 같이 표시된다.

$$w_j^k = \begin{cases} \left(1 - \frac{E^0 / \alpha_1(E) - Ex_E}{En'_{11}}\right) \left(1 - \frac{EC^0 / \alpha_2(EC) - Ex_{EC}}{En'_{21}}\right), & (E^0 / \alpha_1(E) - Ex_E) \geq En'_E \\ \text{또는 } (EC^0 / \alpha_2(EC) - Ex_{EC}) \leq En_{EC} \\ 0, & \text{그밖의 경우} \end{cases} \quad (6)$$

여기서 $En'_E = N(En_E, He)$, $En'_{EC} = N(En_{EC}, He)$ 이다.

이렇게 결정된 w_j^k 가 u 결론구름모형에 들어가서 1차원규칙 u 결론구름모형의 출력인 u_j 즉 구름방울묶음 $\text{drop}(u_j^k, w_j^k)$ (k 는 구름방울개수)가 나온다.

결론부3각형성원구름의 기대값을 Ex_{u_j} , 폭을 En_{u_j} , 분산을 He_{u_j} 라고 할 때 u 결론구름은 다음과 같이 생성된다.

$$u_j^k = \begin{cases} Ex_{u_j} - (w_j^k - 1)En'_{u_j}, & E < Ex_E \\ Ex_{u_j} + (w_j^k - 1)En'_{u_j}, & E \geq Ex_E \end{cases} \quad (7)$$

여기서 $En'_{u_j} = N(En_{u_j}, He_{u_j})$ 이다.

웃식에서 u 는 j 번째 규칙에 대한 k 개의 구름방울묶음으로 결정되므로 u_j^k 로 쓸수 있으며 이로부터 구름조종기출력은 다음과 같이 구성할수 있다.

$$u(E, EC) = \frac{1}{3\ 000} \sum_{k=1}^{3\ 000} u_k \quad (8)$$

여기서

$$u_k = \sum_{j=1}^{49} w_j^k u_j^k / \sum_{j=1}^{49} w_j^k$$

이다.

α_1 , α_2 는 입력변수공간의 확대축소인자로서 다음과 같이 정한다.

$$\alpha_1(E) = 1 - 0.56 \exp(-20 \cdot E^2) \quad (9)$$

$$\alpha_2(EC) = 1 - 0.5 \exp(-20 \cdot EC^2)$$

따라서 식 (5)의 $\beta(\alpha)$ 와 $\delta(t)$ 는 다음과 같이 구할수 있다.

$$\beta(\alpha) = (\alpha_1 + \alpha_2) / 2 \quad (10)$$

$$\delta(t) = K_I \int_0^t \mu_i(X_i) d\tau, \quad K_I = 7 \quad (11)$$

확대축소인자로 하여 조종기는 입력공간을 동적으로 변화시켜 조종을 보다 세밀하게 진행하며 따라서 체계의 상태는 목표값으로 다가가게 된다.

2. 변구역구름조종기를 리용한 회전식병렬거꿀흔들이안정화조종모의

설계된 변구역구름조종기의 성능을 확인하기 위하여 MATLAB에서 모의를 진행하였다.(그림 1)

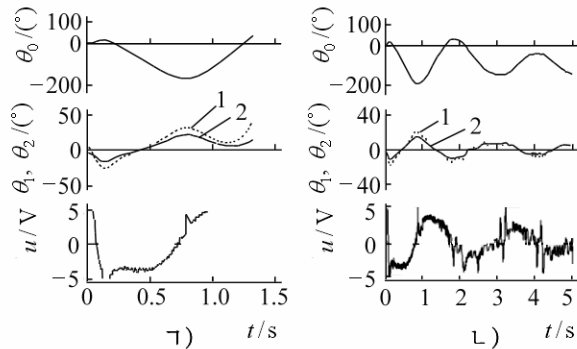


그림 1. 회전식병렬거꿀흔들의의 균형안정화조종모의결과
 ㄱ) 변구역모호조종, ㄴ) 변구역삼각형구름조종(1- θ_2 일 때, 2- θ_1 일 때)

그림 1은 같은 초기상태 $x_0 = [0, -3, 4.7, 0, 0, 0]^T$ 에 대한 균형안정화조종모의실험 결과이다. 그림 1에서 보는것처럼 변구역구름조종기로 조종한 결과는 같은 초기상태에 대하여 변구역모호조종방법을 적용하였을 때보다 더 효과적이었다.

또한 각이한 초기값에 대하여 이전에 회전식병렬거꿀흔들의의 균형안정화를 실현한 T-S모호조종방법[2]과 변구역구름조종방법으로 균형안정화조종모의실험을 진행하였다.

결과 안정화범위를 종전의 $[0, \pm 3, \pm 4, 0, 0, 0]^T$ 로부터 $[0, \pm 4, \pm 5, 0, 0, 0]^T$ 로 넓혀졌다. 이것은 자립안정화조종의 자립화시간을 단축하고 성공률을 높이는 등 조종성능을 높이는데서 매우 중요하다. 또한 그림 2에 T-S모호조종기와 변구역삼각형구름조종기의 안

정범위를 보여주었다. 모의에서 긴 흔들리와 짧은 흔들리의 초기각도를 변화시키면서 만약 안정화조종이 성공하였다면 그에 해당하는 위치를 점으로 표시하게 하였다.

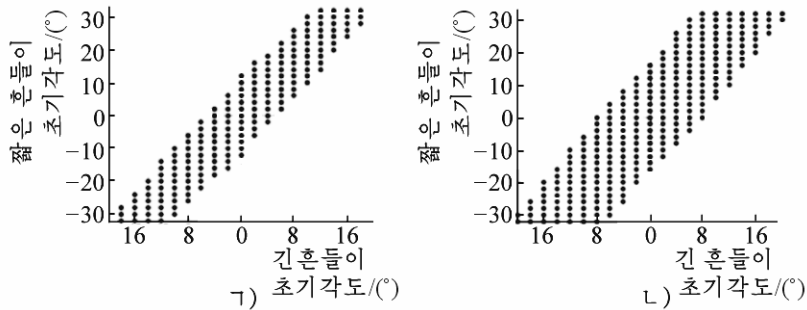


그림 2. T-S모호조종기(Γ)와 변구역삼각형구름조종기(\mathcal{L})의 안정범위

그림을 보면 변구역구름조종기의 안정범위가 T-S모호조종기보다 더 넓으며 특히 두 흔들리가 서로 반대방향으로 기울어진 최악의 조건에 대해서도 조종실행에 필요한 충분한 범위안에서 대상을 안정화한다는것을 알수 있다.

맺는 말

변구역삼각형구름모형에 의한 거꾸흔들의 안정화조종기를 제안하고 제안한 방법의 효과성을 컴퓨터모의실험을 통하여 확증하였다.

참고 문헌

- [1] Xiyang Yang et al.; Mechatronics and Automation, Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on, 734, 2006.
- [2] 姜长生 等; 一种新的云模型控制器设计, 34, 2, 157, 2005.

주체106(2017)년 11월 5일 원고접수

Study on Stabilization Control of Pendulum by Variable Universe Triangle Cloud Controller

Pak Un Sun, Kim Song Jin

We proposed stabilization control approach variable universe triangle cloud controller and applied to balancing control of inverted pendulum, and verified its effect.

Key words: variable universe triangle cloud controller, inverted pendulum