

특수 차량의 기동간 조준정확도 향상을 위한 노면에 적응하는 안정화 제어기 설계

°김대준*, 김한수*, 정순용**, 최영규*, 김성신*
 *부산대학교 공과대학 전기공학과, **부산정보대학 전기전자계열

C=2.00
 두표인

A Design of Stabilization Controller with Road Profile Detector for Aiming Performance Improvement of Moving Vehicle.

°Dae-Jun Kim*, Han-Su Kim*, Sun-Yong Jung**, Young-Kiu Choi*, Sungshin Kim*
 *Dept. of Electrical Eng. Pusan National Univ., **Pusan Info. Tech. College

Abstract - This paper presents a design of stabilization controller for combat vehicle. A Stabilization system reject disturbances while vehicle moving. The conventional stabilization controller used to constant gain. We can improve the aiming performance by appropriate controller gain. We can find the proper controller gain for road frequencies by evolution strategy(ES). The relationship between the frequencies and proper control gains are generalized by use of the neural network. The road frequency estimated by wavelet transform of disturbance signal. The simulation result show that proposed controller is superior to the conventional stabilization controller.

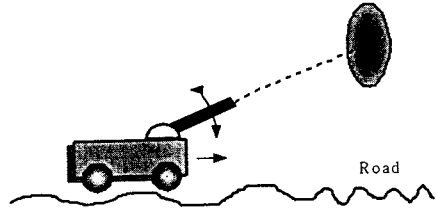


그림 1. 불규칙한 노면을 주행중인 특수차량의 목표물 조준

1. 서 론

본 논문의 제어대상은 특수차량의 안정화 시스템으로, 터릿에 장착 되어있는 화기를 제어하여 정지시는 물론이고, 기동중에도 조준사격이 가능하도록 하는 기능이 있다. 이 안정화 제어 시스템의 원리는 차량이 노면을 주행시 차량의 터릿에 장착된 화기가 외란을 받는데, 이 외란을 속도센서인 자이로스코프로 측정하여 안정화 제어기를 통해 외란을 제거하는 방향으로 화기를 구동하여 조준정확도를 향상시킨다. 실제 적용되고 있는 안정화 제어기는 선형제어기로서 차량이 정지시 또는 기동시에 제어기의 이득이 일정하므로 차량의 주행속도와 노면의 상태에 따른 조준오차가 상당량 존재하게 된다. 본 논문은 차량이 주행시 차량에 장착된 화기가 받는 외란의 주파수를 웨이블릿 변환을 이용하여 추정하고, 노면의 주파수에 따른 선형제어기의 제어이득을 가변시켜 조준정확도를 향상시킨다. 선형제어기는 PID제어를 사용하는 데 각각의 노면의 주파수에 최적인 제어이득은 최적화 알고리즘인 진화전략(Evolution Strategy)을 이용하여 구한다. 노면의 주파수 성분에 따른 제어이득의 튜닝은 신경회로망을 이용한다. 신경망의 입력은 추정된 외란의 주파수 값이고 출력은 P.I.D의 제어이득이 된다. 설계한 제어기를 시뮬레이션을 통하여 제어성능을 평가하고, 적용 가능성을 확인하였다.

차량의 안정화 시스템은 고저각 제어장치와 방위각 제어장치의 2축 구동시스템으로 구성 되어있다. 각각의 제어장치는 속도 외란을 측정하기 위해서 자이로스코프를 사용한다. 측정된 속도의란은 안정화 제어기에 입력되어 외란을 제거하는 방향으로 화기를 구동하여 최종적으로 외란이 제거되도록 한다. 기존의 안정화 제어기는 일정한 이득을 가지는 선형제어기를 적용하고 있다. 그러나 제어대상은 많은 비선형요소를 포함하고 있기 때문에 일정한 이득을 가지는 선형제어기는 다양한 외란의 주파수에 무시할 수 없는 제어 오차를 나타낸다. 만일 이러한 오차를 줄일 수 있다면 조준 정확도 향상을 이룩할 수가 있으며, 주행 중 사격 명중율을 향상 시킬 수 있을 것이다. 따라서 본 논문에서는 외란의 주파수성분에 따라 안정화 제어기의 이득을 가변 시키는 방법을 적용한다. 먼저, 외란의 주파수를 몇개의 구간으로 나누고 각각의 구간에서의 최적한 PID제어 이득을 최적화 알고리즘의 하나인 진화전략(Evolution Strategy)을 이용하여 구한다. 다음, 제어게인이 불연속적인 것을 보간(Interpolation)하기 위해 신경망을 이용한다. 신경망의 학습은 오차역전파 학습법을 사용한다. 외란의 주파수는 웨이블릿 변환을 이용하여 추정하며, 이 추정값이 신경망의 입력이 된다. 그림 2는 제안한 안정화 제어기의 블럭선도이다. 본 논문에서는 고저각 안정화 제어기에 대하여 기술한다.

2. 본 론

2.1 안정화 제어기

안정화 시스템이란 특수차량이 움직임으로써 야기되는 Roll, Pitch, Yaw의 외란에도 불구하고 차량에 장착된 화기가 조준하는 방향을 유지시키는 시스템이다. 즉, 목표물을 포착하여 조준되면 차량이 주행하더라도 화기는 항상 조준된 각을 유지하며, 따라서 조준자는 주행하는 차량에서도 마치 정지된 차량속에서 목표물을 조준하는 것과 같은 효과를 얻을 수 있다.

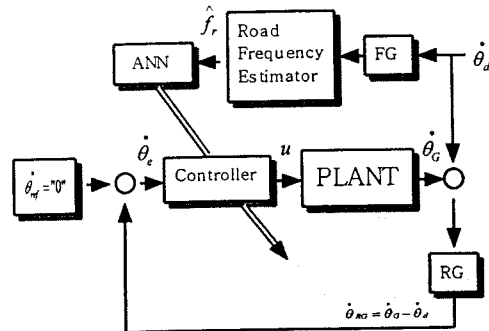


그림 2. 제안된 안정화 제어기의 블럭선도

2.2 제어기의 최적이득 도출

제어기는 PID제어를 사용하며, 최적한 PID이득 값을 도출하기 위하여 최적화 알고리즘의 하나인 진화전략을 사용하였다. 진화전략은 진화 알고리즘의 하나로서 구현 절차가 간단하고, 문자열의 표현에서 부호화 과정 없이 실제 변수를 그대로 사용할 수 있다. 본 논문에 적용한 진화전략은 다개체 진화전략(Multi-membered ES)인 $(1+\lambda)$ 형태를 적용한다. 즉, 가장 우수한 성능을 나타내는 1개의 개체를 부모로 하여 λ 개의 자손을 생성함으로써 전역적 탐색 능력을 강화하고 엘리트즘(Elitism)을 적용하여 빠른 수렴 특성을 얻게 하였다. 개체를 평가하기 위한 적합도 함수는 식1과 같다.

$$Fitness(i) = \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^m \frac{e_i(k)^2}{\eta}} \quad (1)$$

여기서, i 는 PID개체를 나타내며, e 는 k 스텝 시간에서의 오차, η 는 상수를 나타낸다.

다음 그림들은 진화전략으로 탐색한 최적이득을 나타낸 것이다. 그림 3은 P-이득값의 변화 추이를 나타낸다.

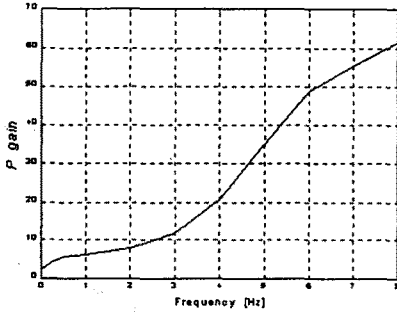


그림 3. P-이득값의 변화 추이

그림 4는 I-이득값의 변화 추이를 나타낸다. I-이득값은 1 Hz 이상에서는 일관성이 없다. 이는 학습에 정현파 외란을 인가하였기 때문에 실제로 주파수가 높아지게 되면 I-이득의 영향이 적게 되며, 제어기는 PD형태로 동작되게 된다.

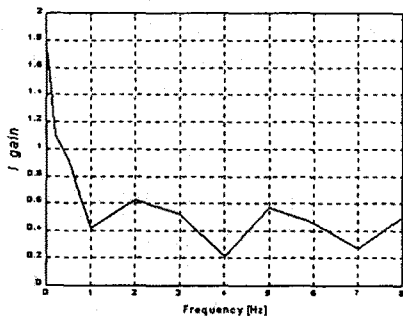


그림 4. I-이득값의 변화 추이

그림 5는 D-이득값의 변화 추이를 나타낸다. 주파수가 높아 질수록 빠른 수렴특성을 위한 D이득이 증가함을 알 수 있다.

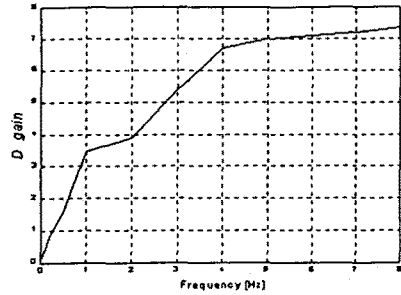


그림 5. D-이득값의 변화 추이

그림 6은 PID제어 이득의 최대 적합도와 평균적합도를 나타내었다. 이것은 이득이 각 주파수 대역에서 얼마나 잘 설정이 되었는지를 알 수 있다.

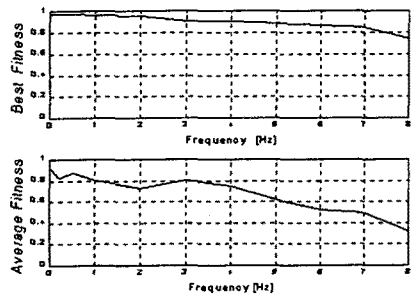


그림 6. 적합도 추이

2.3 신경망에 의한 제어기 이득 튜닝

각각의 외란 주파수에 따른 제어게인을 도출 하였는데 이를 제어에 직접 사용할 경우 제어 동작 중에 제어게인의 스위칭이 일어나서 시스템의 제어성능이 저하될 수 있다. 이를 방지하기 위해 학습되지 않은 주파수에서도 제어게인을 도출하기 위해 보간(Interpolation)이 필요하다. 신경망은 일반화에 의해 학습시키지 않은 데이터에서도 적절한 출력을 하도록 보간되는 성질이 있는데 이것을 튜닝에 이용하여, 제어게인이 불연속적인 것을 보간 한다.

본 논문에 사용한 신경망은 그림 7과 같으며, 입력층의 뉴런은 1개, 은닉층의 뉴런은 10개, 출력층의 뉴런은 3개를 사용하였다. 각 뉴런의 활성화함수는 은닉층에서 Tanh, 출력층에서는 Purelinear를 사용하였다. 신경망의 학습은 off-line으로 하였으며, 오차역전파(Back-Propagation)학습법을 사용하였다.

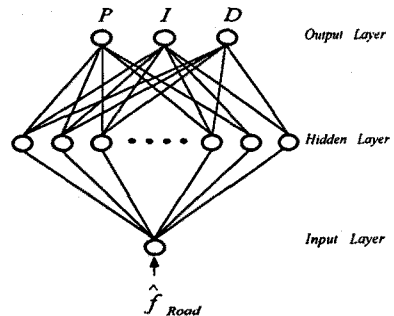


그림 7. 이득의 튜닝에 사용된 신경망의 구조

2.4 노면의 주파수 감지

안정화 제어시스템에서 외란의 속도성분을 자이로스코프를 이용하여 측정하는데, 이 속도성분으로부터 외란의 주파수 성분을 추정한다. 주파수를 감지하기 위한 방법으로는 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform)이 있으나, 이 방법은 푸리에 변환할 신호가 정확하게 주기에 끝나지 않으면 많은 오차를 가진다.

본 논문에서는 웨이블릿(Wavelet)변환을 이용하였다. 많은 종류의 웨이블릿이 있는데 본 논문에서는 식 2와 같은 Morlet 웨이블릿 함수를 사용하였다

$$\psi(t) = e^{-t^2} \cos(2\pi t) \quad (2)$$

웨이블릿 ψ 에 의해 생성되는 웨이블릿 그룹을 다음 식 3과 같이 정의한다.

$$\psi_{a,b}(t) = |a|^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (3)$$

여기서, a 는 scaling, b 는 shift factor이다.

그림 8은 $a=0.5$ 일때, 즉 주파수가 2 Hz일때의 Morlet 웨이블릿 함수를 나타낸 것이다.

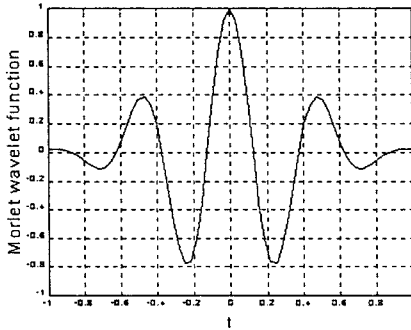


그림 8. Morlet 웨이블릿 함수

샘플링된 외란 신호 $s(k)$ 와 $\psi_{a,b}$ 로 웨이블릿 변환한 계수 $C(k)$ 는 식 4로 표현된다.

$$C(k) = \sum_{n=0}^{M_1+N_2-1} s(n) \psi_{a,b}(k-n) \quad (4)$$

여기서, N_1, N_2 는 각각 $s(k)$, $\psi_a(k)$ 의 신호수를 나타낸다.

각각의 주파수에 대한 변환 계수 $C(k)$ 를 구하고, 노면의 주파수는 무게 중심법을 이용하여 추정한다.

2.5 시뮬레이션

시뮬레이션은 외란의 주파수를 변화 시켜가며 제어 성능을 평가한다. 외란은 정현파로서 주파수가 1, 2, 4, 6 Hz로 변화되는 신호로서 그림 9에 나타내었다. 그림 10은 이득이 고정된 기존의 제어를 사용하여 제어한 것으로 안정화 오차를 나타낸다. 그림에서 그림 11은 제안된 제어를 적용하였을 때의 안정화 오차를 나타낸다. 2, 4Hz에서 급격하게 오차가 증가하는 것은 외란의 주파수가 변화되었기 때문이다.

제안한 제어기와 기존제어기를 비교하였을 때, 제안한 제어기는 외란의 주파수 성분에 따라 최적의 계인을 튜닝하며 제어를 수행하였기 때문에 기존의 제어기보다 안정화 제어오차가 반정도로 감소하였음을 알 수 있다.

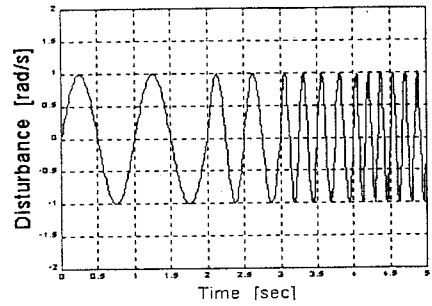


그림 9. 주파수가 가변되는 외란

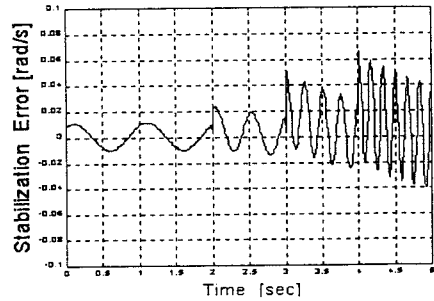


그림 10. 안정화오차 - 기존제어기 적용시

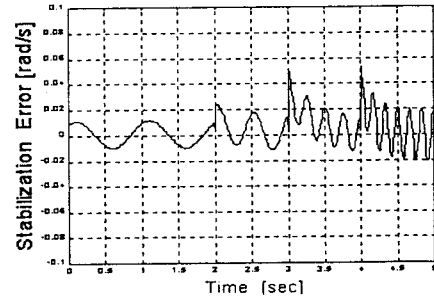


그림 11. 안정화오차 - 제안된 제어기 적용시

3. 결 론

특수차량이 주행중에 조준을 정확하게 하기 위해서는 안정화 제어성능이 우수하여야 한다. 기존의 제어기는 제어이득이 일정하여 다양한 외란의 주파수에서 제어 오차가 상당수 존재하였다. 본 논문에서는 외란의 주파수를 추정하고 신경망을 이용하여 제어이득을 튜닝하는 방법으로 새로운 안정화 제어기를 설계하였다. 시뮬레이션 결과 기존의 제어기와 비교하여 안정화 제어성능이 우수함을 확인 하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] Zbigniew Micalewicz, Genetic Algorithm + data Structure = Evolution Programs, Springer-Verlag, 1994
- [2] Shyh-Jier Huang, Cheng-Tao Hsieh, Ching-Lien Huang, "Application of Morlet Wavelets to Supervise Power System Disturbances", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 14, No. 1, pp. 235-243, January 1999
- [3] Strang and Nguyen, "Wavelets and Filter Banks", Wellesley-Cambridge Press, 1996