

논문 2007-44SC-3-9

표적추적장치의 수동제어명령 개선을 위한 운용자 모델링

(Human Operator Modeling of Target Tracking System for Improving Manual Control Command)

이 석 재*, 유 준**

(Seok-jae Lee and Joon Lyou)

요 약

표적추적장치의 수동제어기는 인간 운용자의 동특성에 따라 제어명령을 생성하고 원하지 않는 잡음과 외란의 영향으로 시스템의 성능과 안정성을 보장하지 못하게 하는 요인이 되고 있다. 특히, 야지를 기동시 운용자의 운용환경에 따라 운용자 특성이 변동될 경우 시스템의 성능저하와 불안정성은 더욱 증가 된다. 즉, 인간이 제어루프에 포함된 수동제어기는 설계단계에서 시간지연과 같은 운용자의 특성을 고려하여야 하며, 운용자에 의해 생성되는 제어명령이 실제 운용환경에서 외란과 동특성의 변화에 적합하도록 하여야 한다. 본 논문에서는 전시기를 통해 표적을 수동핸들로 추적하는 표적추적장치의 수동제어기를 인간운용자를 포함시켜 구성하고자, 추적명령을 생성하는 운용자 모델링을 수행하였다. 특히, 주행하는 차량에 탑재된 표적추적장치는 외란과 추적위치에 잡음이 많이 존재하기 때문에 운용자 모델링이 쉽지 않은 것으로 알려져 있다. 따라서, 수동표적추적장치의 실제 운용환경에서 수집된 데이터를 이용하여 운용자 및 수동제어기의 모델링을 수행하고, 시뮬레이션을 통하여 적용된 운용자 모델의 타당성과 실효성을 보였다.

Abstract

Without human dynamics effects, the manually operated target tracking system has poor performance or instability in real environments. The tracking system is invalid when a human is added to the control loop as a real time delay, because input signals are generated by human operator to reduce the errors between target and gun. In this paper, we consider the human operator as a part of controller and modeling the human operator as a first-order model to generate the intentional force. But it is known that human modeling is not easy because of disturbance or noise of the vehicle while moving for the target. We performed a variety of experiments with real plant to identify the model's parameters and verify the proposed operator model's efficiency.

Keywords : Human Operator, Modeling, Target Tracking System, Manual Control

I. 서 론

기동전투차량의 성능요소 중 이동표적에 대한 사격 명중률은 주행진동등 사격간 외란에 대한 표적의 안정적인 추적성능이 크게 좌우한다^[1]. 즉, 전투차량이 기동간 또는 이동표적에 대한 높은 명중률을 가지기 위해서는 차량의 기동외란과 표적정보의 잡음으로부터 포의

표적지향선에 대한 안정화 성능 및 추적오차의 감소가 중요한 요소로 평가되고 있다. 따라서 사격 명중률을 향상시키기 위해서는 전투차량에 탑재되는 포신이 표적을 정확하게 지향하는 능력을 증대시켜야 한다.

표적추적장치는 차량의 기동간 노면과 차체의 진동 충격 등의 외란과 획득되는 표적에 잡음을 포함하고 있기 때문에 표적지향성능은 표적의 움직임에 대한 포의 추적위치오차로 표현할 수 있다. 이러한 추적위치오차는 표적의 정보를 획득하는 탐색기의 영상 안정화, 포 구동장치의 구동안정화, 그리고 운용자의 동작에 의해 생성되는 추적 제어명령의 오차 등이 있다. 현재 조건 경과 포 구동장치의 기동간 외란에 대한 안정화는 많은

* 국방과학연구소

(Agency for Defense Development)

** 충남대학교 전기정보통신공학부-교신저자

(Division of Electrical and Computer Engineering,
Chungnam National University)

접수일자: 2006년8월10일, 수정완료일: 2007년4월20일

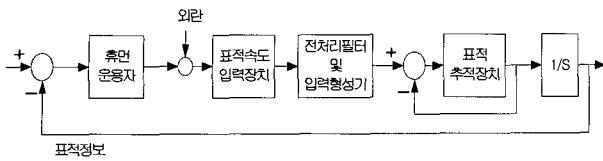


그림 1. 수동 표적추적장치의 인간 운용자 모델
Fig. 1. Human operator model of the manual target tracking system.

연구결과 오차요소를 획기적으로 줄이고 있으며, 점차 운용자의 속도명령오차에 대한 성능저하요인이 두드러지고 있는 추세이다^[2].

수동 표적탐지장치에서 제어명령은 탐색기로부터 획득되는 표적정보를 이용하여 지속적으로 표적을 지향하도록 인간 운용자가 포함되는 입력형성기 및 수동제어기에 의해 생성된다. 이때 수동제어기의 입력명령은 탐색기로부터의 표적위치정보와 포 지향위치를 시각으로 입력받아 추적오차를 감소시키는 방향으로 제어명령을 생성한다. 따라서 미래의 전투장비는 이러한 인간의 수동조작에 의한 오차를 제거하고 빠른 표적에 대한 수동추적의 어려움을 감안하여 발달한 전자장비를 이용한 무인화, 자동화 및 지능화된 표적추적장치를 적용하고자 노력하고 있다. 그러나 자동화 또는 무인화 장비의 고장이나 비정상 구동시 비상운용을 위한 운용자에 의한 수동제어 시스템의 필요성은 여전히 남아있다. 또한 지상 무인화체계의 경우 대공 표적에 대한 추적성능은 성능과 경제성의 상충관계의 문제를 가지고 있다. 즉, 경전투차량과 같이 주로 지상표적을 상대하는 경우 표적의 이동속도가 빠르지 않기 때문에 수동 추적장치에 의한 요구성능 만족을 위한 노력이 더 현실적인 문제로 부각되고 있다.

수동제어장치를 내포하는 표적추적시스템은 자동화 또는 무인화장치와는 달리 휴먼 운용자에 의한 구동명령오차가 추적성능에 중요한 요소중 한 분야로 연구가 되고 있다. 운용자의 오차에 의한 표적추적성능을 개선하고자 전처리필터와 입력형성기 등의 필요성이 제기되어 왔다^[3].

본 논문에서는 수동 표적추적장치에서 인간 운용자에 의해 생성되는 제어명령의 특성을 분석하고 차량의 외란과 표적의 측정잡음에 대한 추적제어명령을 개선시킬 수 있는 실 운용자의 휴먼 모델링을 수행하였다. 또한 모델링 결과를 그림 1과 같은 휴먼 운용자에 의해 제어되는 수동 표적추적장치에 적용하여 그 타당성과 실효성을 입증하였다.

II. 수동 표적추적장치

1. 수동제어의 필요성

지상전투차량은 목표물을 탐색하고 추적하는데 지상 영상물의 방해로 인간 운용자에 의존도가 상대적으로 높다. 실제 표적의 특성도 변화량이 크지 않은 등속도 또는 등가속도 운동을 보인다. 따라서 장비의 경량화 및 경제성을 고려하여 표적추적은 탐색기를 이용한 수동 제어기가 주로 이용된다. 탐색기에서 수집되는 표적의 정보는 운용자의 눈을 통하여 입력되도록 전시되며, 운용자는 근육의 동특성에 따라 표적을 추적하게 된다. 하지만, 표적추적장치가 기동차량에 탑재하고 있기 때문에 기동간 표적추적이나 빠른 표적에 대응하기에는 한계를 가지게 된다. 따라서 수동 표적추적기는 인간 운용자에 의해 생성되는 추적명령의 정확도를 높이기 위해 수동제어기를 설계시부터 인간 모델의 특성을 고려하여 입력형성기를 제어루프에 포함시켜야 한다.

2. 수동 표적추적장치 구성

수동 표적추적장치는 그림 2와 같이 표적의 위치정보를 획득하여 영상으로 전시하는 표적탐지장치, 전시되는 영상을 시각으로 인지하여 포의 지향을 지시하는 속도명령을 생성하는 추적명령입력장치, 제어명령에 따라 포의 위치를 변화시키는 표적지향 포구동장치, 표적위치와 포 지향위치로부터 추적오차를 계산하는 사격통제장치로 구성된다^[1].

표적탐지장치는 추적대상의 표적을 식별하여 실시간으로 표적의 거동을 관측하는 광학장비로 운용자에게 표적의 위치정보를 영상으로 전시한다. 이때, 차량의 주행 및 사격외란에 대한 표적영상의 안정화 기능은 외란으로부터 표적의 정보를 정확히 전달하고, 영상 흔들림에 의한 추적성능 저하를 방지한다. 또한, 영상의 손실이 예측되는 야간과 안개등 날씨의 영향을 고려하여 열

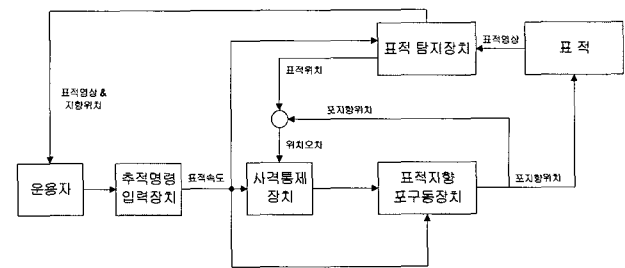


그림 2. 수동 표적추적장치 구성
Fig. 2. Manually controlled target tracking system.

영상 전시기능도 가지고 있다.

추적명령 입력장치는 표적탐지장치로부터 전시되는 표적영상과 포의 위치를 운용자의 시각으로 받아들이고, 운용자의 판단에 의한 추적오차로부터 근육계가 반응하여 추적 위치오차를 최소화하도록 구동명령을 생성한다. 입력명령생성기는 주로 핸들이나 조종간의 형태로 이루어지며, 운용자의 팔 근육의 동특성으로 표현되어진다.

표적지향 포구동장치는 운용자의 제어명령으로 생성된 표적추적 명령에 따라 포를 방위각과 고각으로 구동시키는 기능을 하며, 유압 또는 전기 구동모터의 동력원을 가진다. 구동장치는 표적추적명령을 속도명령으로 받기 때문에 차량의 외란을 직접 받는 경우 위치오차는 제어명령과 달리 크게 발생하게 된다. 따라서 표적탐지장치와 마찬가지로 차량의 외란에 의한 영향을 보상하는 구동 안정화 기능을 가지고 있다.

사격통제장치는 표적탐지장치에서 제공하는 표적정보(위치, 거리, 속도추정)로부터 탄도해(초고각, 선도각)를 구하고 표적위치와 포 구동장치의 위치 오차를 시간간으로 계산한다. 이때, 표적의 속도정보는 운용자를 통하여 생성되는 제어명령으로부터 전달되어지므로 인간 운용자의 오차는 사격통제장치의 포 구동용 위치오차에 직접 영향을 준다. 또한, 표적의 정보는 측정시 많은 잡음을 내포하고 있기 때문에 인간 운용자의 특성을 고려하여 필터링을 하여야 한다.

3. 수동제어의 응용

휴먼 운용자에 의해 제어명령이 생성되는 경우, 자동화 또는 무인화 체계에서 원격 운용자에 의한 수동제어에 적용될 수 있다. 무인화체계는 각종 센서로부터 자동으로 작동기를 구동시키는 명령을 생성하지만, 수동 운용환경이나 원격 운용이 필요한 경우에 대비하여 수동제어장치를 갖추어야 한다. 특히, 무인탐사장치등과 같이 액추에이터가 간접적으로 주 조정기를 추종하는 주제어/추종제어의 원격제어장치와^[4] 무인주행차량의 필요시 인간의 수동조작에 의한 보조운행등^[5]의 경우 휴먼 운용자는 중요한 제어요소가 된다. 또한, 인간요소가 포함된 실험이나 시뮬레이션의 경우 기계-사람이 복합된 성능 및 결과를 모의 예측할 경우 사람에게 해당하는 휴먼 모델을 수동제어루프에 포함시켜야 실 장비와 유사한 모의결과를 얻을 수 있다^[6].

III. 운용자 모델링

1. 휴먼 운용자 특성

인간 운용자를 포함하는 수동제어기를 설계시 제어시스템이 운용자 특성변화에 의한 제어오차에 강인하도록 운용자 동특성을 제어루프에 포함시켜 전체 수동 제어기를 구성하여야 한다^[7]. 그러나 인간 운용자는 사물에 대한 감각과 반응의 동특성이 운용환경과 운용자의 조건에 따라 차이를 갖기 때문에 일반적인 휴먼 모델을 설정하기에는 어려움이 있다. 즉, 인간의 감각과 운동특성은 실제 외란으로 간주되어야 할 요소들이 비선형성을 가지고 있기 때문이다^[8]. 따라서 특정한 임무와 제어 환경에서 한정된 휴먼 운용자의 동특성을 모델링하여 주어진 수동제어장치를 설계하는 것이 타당하다. 또한 차량의 주행진동과 사격충격과 같은 외란은 인간이 기계보다 민감하게 반응할 수 있기 때문에 강인성을 요구받는 제어시스템의 경우 주파수 응답특성 뿐 아니라, 시간영역에서도 안정성을 동시에 고려하여야 한다^[12].

1960년대 McRuer에 의해 제안된 Crossover 모델은 전통적인 주파수 해석에 의한 제어기법을 적용한 것으로 구조가 간단하기 때문에 지금까지 널리 이용되었으나 한정된 모델의 구조로 다양한 인간특성을 표현하기에는 한계가 있었다^[9]. 이후, 현대제어이론의 발달로 인간운용자를 LQG제어기로 구현한 최적제어모델들이 제안되었다^[7~8, 10]. 그러나 결정하여야 할 모델의 파라미터가 많아 실제 적용에 어려움이 있었다^[11].

1993년 S. Lee와 H. S. Lee등은 기존의 방법과는 달리 인간의 시각각과 동특성을 분리하여 모델링하는 구조적 모델을 제안하였다^[12]. 이 방법은 운용자 모델의 입력으로 시각에 의한 추적루프와 되먹임 힘이 존재하는 경우 구분하여 적용가능하고, 신경근육에 의한 팔 동특성을 실제 팔의 힘을 출력으로 표현하여 시간지연과 같은 운용자 특성을 정확히 표현할 수 있었다.

인간 운용자가 포함된 표적추적장치의 수동제어기는 표적에 대한 포의 위치오차를 시각각으로 받아서, 오차의 크기에 따라 반응하는 팔근육의 운동모델을 가지고 있기 때문에 시간영역에서 지연시간 특성을 갖는 구조적 모델이 타당함을 알 수 있다.

2. 수동추적장치의 휴먼 운용자 모델링

운용자의 특성을 주파수 영역에서 전달함수로 간단히 표현한 Crossover 모델은 다음과 같다.

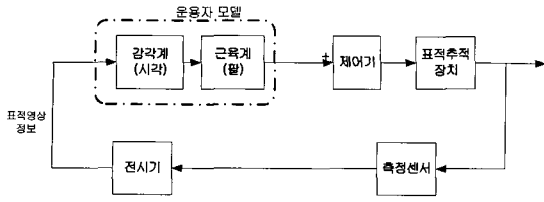


그림 3. 휴먼 운전자 모델의 구성
Fig. 3. Human operator model.

$$G_h(s) = \frac{Ke^{-Ds}}{Ts+1} \quad (1)$$

여기서, K는 입력주파수의 변화로 운용자의 대역폭을 결정하며, D는 시간영역에서 입력과 출력의 총 시간지연, T는 신경계의 시상수를 나타낸다.

휴먼 운용자를 모델링하는 다른 방법으로 그림 3과 같이 구성되는 구조적 모델이 있다. 구조적 모델은 운용자의 시각에 의한 감각계의 반응과 오차를 최소화하도록 입력장치에 힘을 가하는 근육계의 2중 모델로 구성된다는 특징을 가지고 있으며, 시각외에 힘 회귀루프가 존재시에는 쉽게 추가할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 구조적 모델의 시감각계의 시간함수는 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$v(t) = b_v \frac{de(t)}{dt} + k_v e(t) \quad (2)$$

여기서, v(t)는 오차 e(t)에 대한 감각계의 출력이며, b_v와 k_v는 시감각의 댐핑과 강성을 의미한다. 시각으로 주어지는 입력오차에 대한 팔 근육의 반응은 다음과 같은 2차의 힘의 함수로 표현된다.

$$f(t) = \frac{1}{a_m \frac{d^2v(t)}{dt} + b_m \frac{dv(t)}{dt} + k_m v(t)} \quad (3)$$

여기서, f(t)는 팔 근육의 반응에 의한 출력(힘)이며, 시감각에 의한 2차 동특성으로 표현됨을 알 수 있다.

이제 구조적 모델의 파라미터를 구하기 위하여 일반화된 전달함수의 형태로 두면 다음과 같다.

$$G(s) = \frac{F(s)}{E(s)} = \frac{b_v s + k_v}{a_m s^2 + b_m s + k_m} \quad (4)$$

여기서, 입력은 표적의 추적오차에 대한 영상정보이며 출력은 팔 근육에 의한 표적추적명령장치의 출력이다.

식(4)의 파라미터를 결정하는 방법으로 주어진 시스템의 환경에서 여러 주파수에 대한 주파수 응답특성 시험을 수행하여 최적화시키는 주파수 응답특성 시험법, 시간영역의 LQG 최적화 기법^[8], 그리고 강인성을 고려한 감도함수형성기법등이 있다^[11]. 수동표적추적시스템의 경우 표적정보나 탄도계산의 오차요소 뿐 아니라 차량의 기동외란도 고려해야 하므로, 적응성과 운용성을 동시에 고려하여야 하고 실험적 데이터에 상응하도록 운전자 모델링 오차를 최소화 시키는 것이 타당하므로 대역폭 범위의 주파수 응답특성 시험법을 적용하기로 한다. 즉, 휴먼 운전자 특성을 구조적으로 결정하고 실험데이터에 충실한 모델을 완성하는 것이다. 실제 운용자의 환경에서 시각과 팔 근육에 존재하는 외란의 특성을 고려하여야 하는 현실적인 문제는 존재하지만 식(4)의 운전자 모델로부터 다음과 같이 오차를 최소화하도록 목적함수를 식(7)과 같이 두기로 한다.

$$H(s) = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{b_n s^n + b_{n-1} s^{n-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_2 s^2 + a_1 s + a_0} \quad (5)$$

where, $n \geq m$ and $a_n = 1$

$$H(j\omega) = \frac{B(j\omega)}{A(j\omega)} = |H(j\omega)| \angle H(j\omega) = H_r + jH_i \quad (6)$$

$$\min \|e\| = \min \left\| \frac{G_d(j\omega)}{G_a(j\omega)} - \frac{B(j\omega)}{A(j\omega)} \right\|^2 \quad (7)$$

$$Q(j\omega) = \frac{j b_v \omega + k_v}{-a_m \omega^2 + j b_m \omega + k_m} \cong \frac{j b_v \omega + k_v}{-a_m \omega^2} = X \cdot C \quad (8)$$

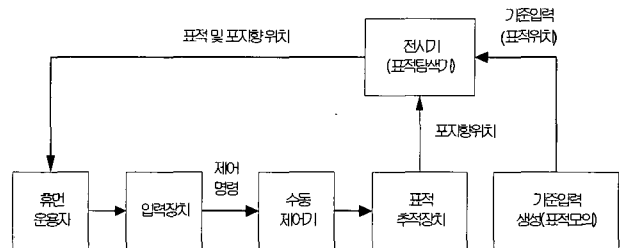


그림 4. 실험장치 구성
Fig. 4. Construction of the test environments.

$$\text{여기서, } X = \begin{bmatrix} \frac{1}{w^2} & -j\frac{1}{w} \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} -\frac{k_v}{a_m} \\ \frac{b_v}{a_m} \end{bmatrix} \quad (9)$$

식(7)을 만족하는 최적의 계수행렬을 구하면 다음과 같고, 식(9)와 비교하여 각각의 변수값을 결정한다.

$$C = \begin{bmatrix} (H_R^T H_R)^{-1} (H_R^T G_R G_R^T H_R) \\ (H_I^T H_I)^{-1} (H_I^T G_I G_I^T H_I) \end{bmatrix} \quad (10)$$

IV. 사례연구 및 시뮬레이션 결과

1. 운용자 모델링 결과

인간 운용자가 포함된 수동제어기와 표적추적장치는 그림2와 같은 구성으로 기동전투차량 위에 탑재된다. 앞에서 제시된 인간 운용자의 수동제어기를 모델링하기 위하여 실험환경은 그림4와 같이 기준입력신호에 대한 운용자의 반응을 추적명령 입력장치의 출력신호로 측정하였다. 여기서 운용자는 주어지는 표적의 변위를 추적하기위해 입력장치를 조작하게 되며, 표적의 위치의 주파수 변화에 그 특성을 위치로 응답하게 된다. 실험은 표적의 위치(기준신호)를 0.01Hz~1Hz 까지 변화시키며 반복적으로 수행하였으며, 그중 0.07Hz와 0.45Hz의 정현파 응답결과를 그림 5에서 보여주고 있다.

운용자의 모델은 앞에서 제시된 Crossover모델과

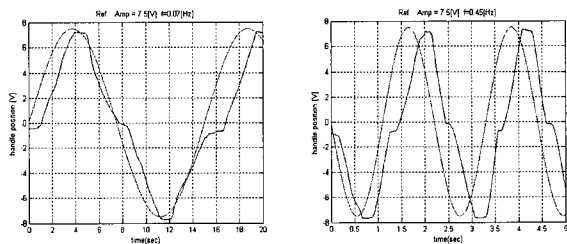


그림 5. 인간 운용자의 응답결과(예)
Fig. 5. Response of the human operator(for example).

표 1. 시험결과 위치오차[RMS]
Table 1. Position errors of the test results.

구 분	실험조건1	실험조건2
구조적 모델	2.5	3.6
Crossover모델	2.8	4.5

구조적 모델로 두고 각 파라미터를 식 (9)와 식 (10)을 이용하여 다음의 모델링 결과를 얻었다.

$$G_h(s) = \frac{K e^{-Ds}}{Ts+1} = \frac{e^{-0.3s}}{0.1s+1} \quad (11)$$

$$G(s) = \frac{b_v s + k_v}{a_m s^2 + b_m s + k_m} \cong \frac{0.072s + 0.15}{0.1s^2} \quad (12)$$

모델링 결과를 이용하여 실험 데이터로부터 두 모델을 비교한 결과 표 1과 같이 운용자 특성별 실험조건에 따라 위치오차값을 보였다. 따라서 수동 표적추적장치의 휴먼 운용자는 구조적모델이 더 우수함을 알 수 있다.

2. 시뮬레이션 결과

이제 운용자 모델링 실험결과 구해진 구조적 모델의 타당성과 운용자의 영향을 보이기 위하여 수동표적추적장치의 시뮬레이션 모델을 그림 6과 같이 구성하였다.

그림 6의 시뮬레이션 모델은 그림 2의 수동 표적추적 시스템을 이용하여 앞 절에서 구한 인간 운용자 모델의 모의실험하기위한 실험모델이다. 실제 표적추적시스템을 운용 시 수집된 자료를 바탕으로 시뮬레이션 모델에 구조적 운용자 모델을 적용하였을 때 포 지향위치는 그림 7, 실제 표적과의 위치오차는 그림 8과 같다.

그림 8의 표적추적 위치오차는 실 표적위치와 포의

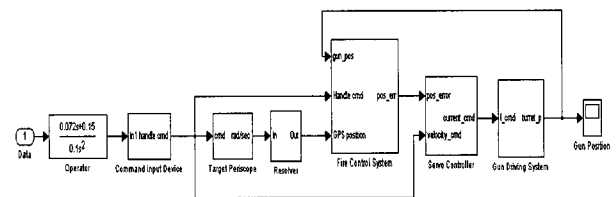


그림 6. 시뮬레이션 모델
Fig. 6. The model for simulation.

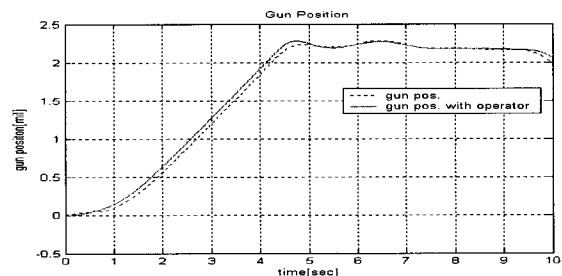


그림 7. 표적지향 위치
Fig. 7. Target tracking position.

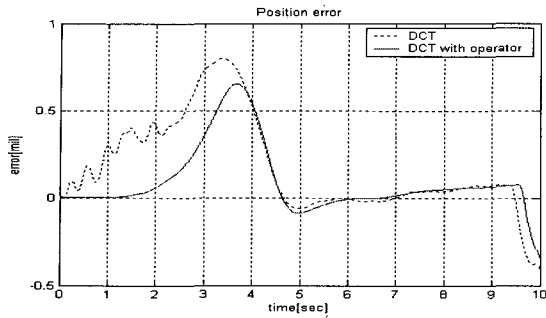


그림 8. 표적추적 위치오차

Fig. 8. Position errors of the target tracking system.

위치값을 리졸버로 측정된 값이며, 실험구간의 위치오차의 평균(RMS)값은 0.067밀이었으나, 인간 운용자 모델을 적용한 경우 0.032밀의 값으로 줄어들었다. 이것은 운용자 모델링 실험에서 구해진 구조적 모델이 실제 운용자에 의한 영향을 잘 반영함을 보여주는 것이다.

V. 결 론

수동제어식 표적추적장치는 인간 운용자의 특성으로 표적추적용 제어명령이 생성되므로 제어기 설계시부터 휴먼 모델의 필요성이 대두되었다. 그러나 휴먼 운용자는 비정형적인 요소와 운용자별 종속적인 특성 및 운용환경변화로 모델링에 어려움을 가지고 있었다. 따라서 본 연구에서는 휴먼 운용자를 보다 정확히 모델링하기 위하여 인간 감각시스템과 팔근육시스템의 구조로 설정하여, 기존의 Crossover모델의 단점을 보완하였다. 또한 모델의 파라미터를 설정하기 위하여 인간 운용자 특성이 반영될 수 있는 주파수 응답실험 환경을 구성하고, 주파수별 운용자가 표적을 추적하는 위치오차로부터 모델링 오차를 최소화하는 기법으로 파라미터를 설정하였다. 실험결과 완성된 운용자 모델을 실 기동전투차량에 탑재되는 표적추적장치 모델에 적용하고, 실 데이터를 이용한 시뮬레이션을 수행하여 인간 운용자 모델의 타당성을 보였다.

본 연구결과를 이용한 휴먼 모델링은 운용자 오차를 고려한 수동제어기 설계, 무인화 체계에서 수동운용 제어기 설계, 주/종속 제어기 설계, 훈련장치에서 운용자의 훈련 숙련도 평가 등 많은 분야에서 응용할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 유준, 강민식 외, “기동간 사격통제장치 성능/안정성 최적설계”, 국방과학연구소, 2004. 1
- [2] Y. Bar-Shalom, K. C. Chang, “Tracking a Maneuvering Target using Input Estimation versus the Interacting multiple model algorithm”, IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 25, No. 2, March 1989.
- [3] 이석재, 유준, “휴먼 제어시스템의 입력형성기 설계”, 정보 및 제어 심포지움, 2006. 4.
- [4] Y. Yokokohji, and T. Yoshikawa, “Bilateral Control of Master-Slave Manipulators for Ideal Kinesthetic Coupling-Formulation and Experiment”, IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol. 10, No. 5, October 1994.
- [5] T. Miyazaki, T. Kodama, T. Furuhashi, and H. Ohno, “Modeling of Human Behaviors in Real Driving Situations”, IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings, August 2001.
- [6] T. Itoh, K. Kosuge, and T. Fukuda, “Human-Machine Cooperative Telemanipulation with Motion and Force Scaling Using Task-Oriented Virtual Tool Dynamics”, IEEE Trans. on Robotics and Automation, Vol. 16, No. 5, October 2000.
- [7] D. T. McRuer, “Human Dynamics in Man-Machine Systems”, Automatica, Vol.16, 1980.
- [8] D. L. Kleinman, S. Baron, and W. H. Levison, “An Optimal Control Model of Human Response, PartI: Theory and Validation”, Automatica, Vol.6, 1970.
- [9] D. T. McRuer and H. R. Jex, “A Review of Quasi-Linear Pilot Models”, IEEE Trans. on Human Factors in Electronics, Vol. 8, pp.231-249, September 1967.
- [10] J. M. E. Van De Vegte, P. Milgram, and R. H. Kwong, “Teleoperator Control models: Effects of Time Delay and Imperfect System Knowledge”, IEEE Trans. on Systems Man Cybernetics, Vol. 20, No. 6, pp.1258-1272, Nov./Dec. 1990.
- [11] M. R. Anderson, “A Model of the Human Operator Using Sensitivity Function Shaping”, Proc. of the American Control Conference, June 1994.
- [12] S. Lee and H. S. Lee, “Modeling, Design, and Evaluation of Advanced Teleoperator Control Systems with Short Time Delay”, IEEE Trans. On Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 9, No.5, October 1993.

저 자 소 개



이 석 재

1990년 경북대학교 전기공학과
학사 졸업.

1992년 경북대학교 전기공학과
석사 졸업.

1992년~현재 국방과학연구소
선임연구원

2004년~현재 충남대학교 전자공학과 박사과정
<주관심분야 : 시스템 식별, 모델링, 최적화 기법,
지능제어>



유 준

1978년 서울대학교 전자공학과
학사 졸업.

1980년 한국과학기술원 전기전자
공학과 석사 졸업

1984년 한국과학기술원 전기전자
공학과 박사 졸업

1984년~현재 충남대학교 전기정보통신공학부
교수

<주관심분야 : 산업공정제어, 센서신호처리, IT기
반 로봇, 항법시스템>