

포 사격오차의 최적 수정에 관한 연구
(On Optimal Correction Of Gunfire Errors)

이 양 원, 김 영 주, 이 봉 기, 김 경 기
(Y. W. Lee, Y. J. Kim, B. K. Lee, K. K. Kim)

진 해 기 계 창 (Cninhae Machine Depot)

Gun system operation is represented as a first-order Markov process, and an optimum linear filter is derived for closed-loop control of mean square error. Potential improvement is then estimated by contrasting the variance in performance and the auto correlation for open-loop system with that for the optimum linearly corrected process.

1. 서 론

함포사격시에 발생하는 오차에 영향을 주는 요소로는 함운동, 급격한 기상변화, 포점프, 비행중 기체 역학의 변화, 포구 온도상승, 포신 마모 등이 있다. 이러한 주변 요인들은 시스템 성능에 큰 영향을 끼치나, 기존 시스템 모델에는 정확하게 반영되지 못하였다. [1] 따라서 실제 함포사격시 발생하는 오차를 측정하여 이 값을 시스템에 귀환시켜서 포 조준오차를 동적으로 제어하는 방법을 연구하였다. 귀환시스템을 구성함에 있어서 다음과 같은 세가지 주요사항을 가정하였다.

- (1) 포 사격오차의 실시간 측정이 가능하다.
- (2) 포 프로세스는 서로 상관된 성분을 포함하고 있다.

(3) 스토캐스틱(Stochastic) 상관 관계를 설명하는 최소한의 정보는 주어진다.
성능평가는 개회로 시스템과 귀환 시스템과의 분산값 비교를 통하여 수행하였다.

2. 포 프로세스 (Gun Process)

포 시스템의 최종 성능인 사격결과는 일반적으로 거리, 고각, 방위각의 오차간격 (Miss Distance) 을 나타내는 벡터량이다. 포 프로세스 (x_n) 는 조준 프로세스 (α_n) 와 탄도 프로세스 (β_n) 의 합으로 나타낼 수 있다. [2]

$$X_n = \alpha_n + \beta_n \quad \dots\dots (1)$$

가. 탄도 프로세스 (β)

β 프로세스는 통계적으로 직교인 잡음과 같은 오차로 나타낼 수 있다. 즉 β 의 기대값은 아래와 같이 영이 되고 서로 직교한다.

$$E \{ \beta_i \} = 0 ; \quad i = 1, 2, \dots\dots (2)$$

$$E \{ \beta_i \beta_j \} = \begin{cases} \sigma_\beta^2 & i = j \\ 0 & i \neq j \end{cases}$$

식 (2)에서 분산값은 i 에 무관함을 알 수 있다.

나. 조준 프로세스 (α)

α 프로세스는 포 프로세스에서 통계적인 상관관계에 관련되는 모든 인자들을 포함하고 있으며 1차 마르코프로써 가정하였다. 참고문헌 [2] 에 의하면 α 프로세스는 식 (3)과 같이 선형 결합 관계로 모델링 할 수 있다.

$$\alpha_n = C_n \alpha_{n-1} + K_n \theta_n \quad \dots\dots (3)$$

단, C_n, K_n : 스칼라량
 θ_n : 모든 변수에 직교인 랜덤 변수

$$E \{ \theta_n \} = 0 ; \quad n = 1, 2, \dots$$

$$E \{ \theta_n \theta_m \} = \begin{cases} \sigma_\theta^2 & n = m \\ 0 & n \neq m \end{cases} \quad \dots\dots (4)$$

식 (3)을 θ_j 랜덤 변수를 이용하여 다시 쓰면 아래와 같이 된다.

$$\alpha_n = C^{n-1}\theta_1 + K \sum_{i=2}^n C^{n-i} \theta_i ; n=2,3, \dots \quad (5)$$

단, $\alpha_1 = \theta_1$

식 (5)는 Wide Sense Stationary 에서 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$\alpha_n = \rho^{n-1}\theta_1 + (1-\rho^2)^{1/2} \sum_{i=2}^n \rho^{n-i} \theta_i \quad \dots \quad (6)$$

$$\text{단 } \rho = \frac{E\{\alpha_i \alpha_{i+1}\}}{\sqrt{E\{\alpha_i^2\}E\{\alpha_{i+1}^2\}}} \quad \dots \quad (7)$$

α 프로세스의 자동 상관 관계식은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} R_\alpha(m) &= E\{\alpha_{n+m} \alpha_n\} \\ &= \sigma_\alpha^2 \rho^{|m|} \quad ; m=-n, -n+1, -n+2, \dots \end{aligned} \quad (8)$$

3. 체계설계 목적

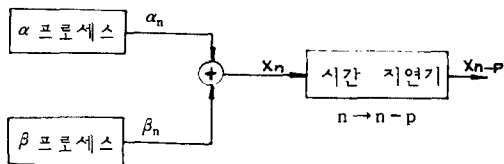
기존 포 시스템과 귀환 시스템을 갖는 포 시스템의 블록 다이어그램을 (그림 1)에 보였다. 기존 포 시스템은 개회로 시스템으로서 포 프로세스에서 모델링 한 것을 인용하였으나 여기에 시간 지연 요소가 첨가되어 있는데 이것은 탄환의 비행 시간을 나타내기 위함이다.

귀환 시스템에서는 신호 \hat{X}_n 이 측정된 데이터로부터 유도되어 입력으로 귀환된다. 폐회로 시스템과 개회로 시스템의 출력 관계식은 아래와 같다.

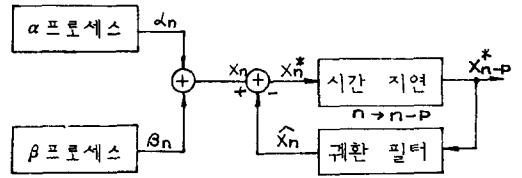
$$X_i^* = X_i - \hat{X}_i \quad \dots \quad (9)$$

따라서 문제는 귀환필터의 설계에 있다. 귀환필터를 설계함에 있어서 목적은 포 시스템의 명중률 향상을 위한 것이 되게 하여야 하므로 \hat{x}_i 는 표적의 오차간격이 최소화 되게 하는 것이다.

\hat{x}_i 에 대한 적절한 조건은 최소 평균자승 오차가 되게 하는 것이다.



개회로 시스템



폐회로 시스템

그림 1. 시스템 블록 다이어그램

4. 귀환필터 설계

귀환신호에 대한 해를 구하기 위해서 먼저 측정된 성능 X_i^* 와 개회로 시스템의 성능 X_i 와의 관계를 구하면 아래와 같다.

$$X_i = X_i^* + \hat{X}_i \quad \dots \quad (10)$$

식 (10)을 이용하여 구성한 시스템에서 조준프로세스에 대한 평균자승 오차 추정기(Mean Square Error Estimator) $\hat{\alpha}_n$ 을 구성한다. 구성에 관계된 식은 아래와 같다.

$$V_n = \begin{cases} \frac{\sigma_\theta^2(1-\rho^2) + \rho^2 V_{n-1}}{\sigma_\theta^2(1-\rho^2) + \sigma_\beta^2 + \rho^2 V_{n-1}} & \sigma_\beta^2 : n=2, 3 \dots \\ \frac{\sigma_\theta^2}{\sigma_\theta^2 + \sigma_\beta^2} & \rho^2 : n=1 \end{cases} \quad (11)$$

$$S_n = \frac{V_n}{\sigma_\beta^2} \quad \dots \quad (12)$$

$$r_n = \rho \left(1 - \frac{V_n}{\sigma_\beta^2} \right) \quad \dots \quad (13)$$

식 (12)와 식 (13)의 S_n, r_n 은 α 프로세스의 계수이다.

$$\hat{\alpha}_n = r_n \hat{\alpha}_{n-1} + S_n X_n \quad \dots \quad (14)$$

$\hat{\alpha}_n$ 으로부터 \hat{x}_{n+p} 를 구하는 식은 아래와 같다.

$$\hat{x}_{n+p} = \rho^p \hat{\alpha}_n \quad \dots \quad (15)$$

단 p 는 탄환의 비행시간이다.

(그림 2)에 최적 귀환필터의 구성도를 보였다.

5. 성능평가

유도된 귀환 시스템의 성능평가를 위하여 VAX-8530 컴퓨터를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 본 시뮬레이션에서는 각 오차만을 고려하여서 수행하였으며 사용된 인자는 아래와 같다.

$$P = 0.85 \quad \sigma_e = 2 \text{ mils} \quad \sigma_\beta = 0.5 \text{ mils}$$

시뮬레이션의 결과는 (그림 3 ~ 6)에 나타났다.

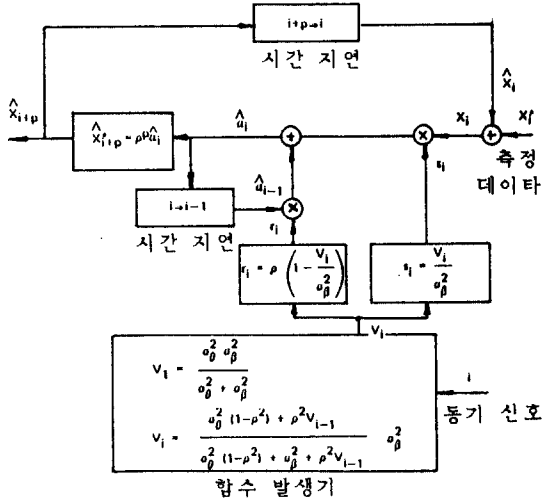


그림 2. 최적 귀환 필터 구성도

(그림 3.)은 조준 프로세스의 발생된 조준오차의 필터링 결과를 나타낸 것이다. (그림 4)는 개회로 시스템과 폐회로 시스템의 성능을 비교한 것으로서 각 오차 값을 보였다.

(그림 5)는 폐회로 시스템을 사용했을 경우 사격오차 값이 발사탄수의 증가에 따라 영으로 수렴되어가는 과정을 보인 것이다.

(그림 6)은 접근하는 표적에 대해서 두 시스템의 성능을 비교한 것으로서 거리오차를 기준으로 하였다.

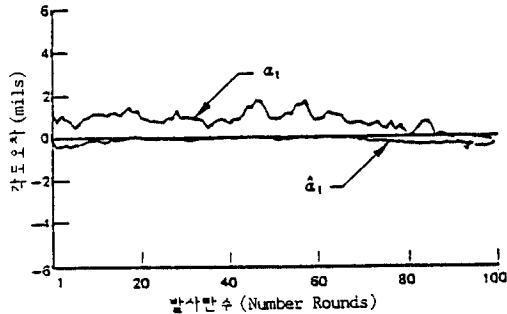


그림 3.

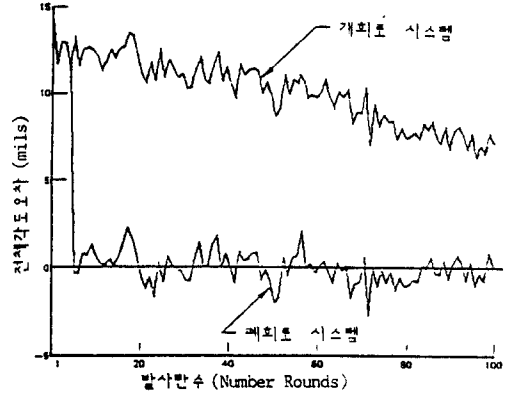


그림 4.

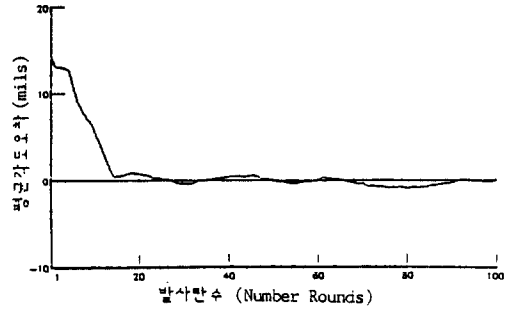


그림 5.

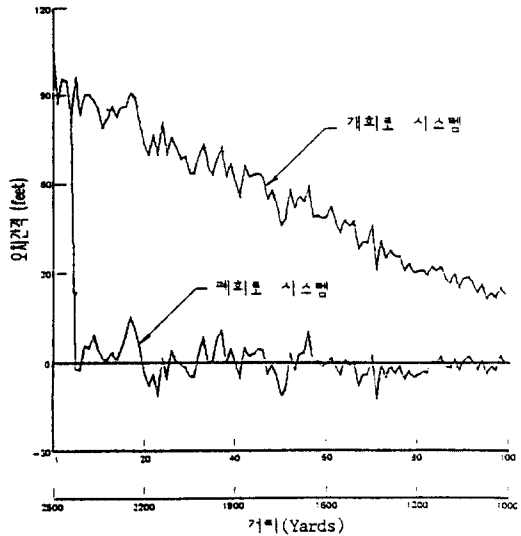


그림 6.

6. 결 론

포 사격오차를 동적으로 제어할 수 있는 귀환 피드백 필터를 구성하였다. 구성된 시스템의 성능은 시뮬테이션을 통하여 확인한 결과 개회로 시스템에 비하여 거리 및 각 오차가 급격히 감소되었다.

그러나 이와 같은 개념의 포 사격오차 수정을 실현화 시키기 위해서는 서론에서 가정한 정밀한 추적센서의 개발이 선행되어야 한다.

7. 참 고 문 헌

- [1] Origen K.Bingham, "Air-to-ground Gunnery Simulation", CNA Computer Program 6-70, Nov. 1970
- [2] Robert J.Corn, "An Analysis of Closed Loop Control of Gun Systems", CNA Research Contribution 185, Jan. 1972