

○
윤 형식 최 중락 김 경기 김 영수
진 해 기 계 창

A Analysis of Closed-Loop Spotting Algorithm to
Enhancement of kill Probability for Gun Fire Control Systems.

Hyeng-Sig Youn, Joong-Lak Choi, Kyung-Ki Kim, Yong-Su Kim
Jinhae Machine Depot

Abstract

In the existing GFCS (Gun Fire Control Systems) there is sometimes the problem of the miss distance which is between a target and the projectiles from gun and cannot be neglected. This errors are difficult to reduce either in the gun design phase or by precalibration exercise.

In this paper the CLSA (Closed Loop Spotting Algorithm) which is applied to improve the performance of the GFCS is proposed and analysed. The results simulated by Monte Carlo technics show us better performance than the existing GFCS.

1. 서 론

화기제어체계 (GFCS) 는 추적레이다, 사격통제장치, 및 포로 구성되며 레이더 정보를 분석하여 포를 통제한다. 이때 표적과 탄두 사이에는 회피거리 (Miss Distance)가 발생하며 이 오차는 시스템 설계나 영점조정(Precalibration)으로도 제거할 수 없다. R.J.Corn¹⁾ 은 발생된 오차를 줄이기 위하여 회피거리를 측정 한 후 CLSA 에 의한 수정표적 정보를 계산하여 포의 정확도를 향상시키는 연구를 수행하였다.

그림 1-1과 같이 화기제어 시스템이 오차를 가지고 있을 경우 표적과 탄두 사이에는 회피거리가 발생하며 이로 인하여 포의 정확도가 떨어지게 된다.

본 연구에서는 회피거리를 최소화 하는 방안을 제시하고자 한다.

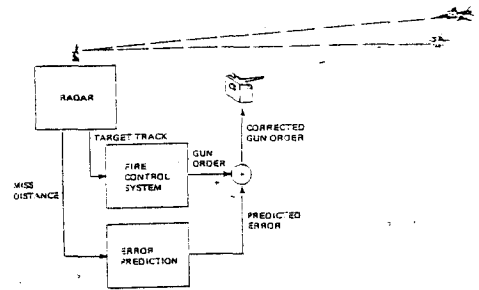


그림 1-1. 화기제어시스템의 오차

Fig 1-1 Error of GFCS

2. 본 론

회피거리를 줄이기 위해서는 시스템 오차모델이 필요하며, F.R. Sinal²⁾ 이 제시한 오차 프로세스 (Error Process)를 이용하였다.

2.1 오차 프로세스 모델

표적의 중심과 탄두중심 사이에 발생한 회피 거리는 식 (2-1)과 같다.

$$x(i) = f(i) + \alpha(i) + \beta(i) \quad (2-1)$$

여기서

- $x(i)$: i 번째 탄두의 회피거리
- $\alpha(i)$: 상관오차 (Correlated Error)
- $\beta(i)$: 비상관오차 (Uncorrelated Error)
- $f(i)$: 시스템 편향오차 (System Bias Error)

측정 프로세스 (Measurement Process)는 식 (2-2)와 같다.

$$y(i) = x(i) + \eta(i) \quad (2-2)$$

여기서

- $y(i)$: 측정 값 (Measurement Value)
- $\eta(i)$: 측정오차 (Measurement Error)

가) 시스템 편향오차

시스템 편향오차는 식 (2-3)과 같다.

$$f(i) = c + dg(i) \quad (2-3)$$

여기서

c, d: 상 수

나) 상관오차

상관오차는 식 (2-4) 와 같다.

$$\alpha(i) = \tau_1 \alpha(i-1) + \tau_2 \alpha(i-2) + s_1 \theta(i), \quad i=1, 2, \dots, \quad (2-4)$$

여기서

$$\alpha(i) = 0 \quad (i \leq 0)$$

$\theta(i)$: 화이트 가우시안 랜덤 넘버

$$r(1) = 0$$

$$r(2) = \frac{\rho}{1-\tau}; \quad r(i) = \rho, \quad i = 3, 4, \dots,$$

$$s(1) = 1$$

$$s(2)^2 = \left[1 - \frac{\rho^2}{(1-\tau)^2} \right]$$

$$s(i)^2 = \left[1 - \rho^2 - \tau^2 - 2 \frac{\rho^2 \tau}{1-\tau} \right]$$

단, $i = 3, 4, \dots$

ρ : 1차 오토레그레션 계수

(Autoregression Coefficient)

τ : 2차 오토레그레션 계수

(Autoregression Coefficient)

다) 비상관오차

$\beta(i)$: 화이트 가우시안 랜덤 넘버 β)

2.2 CLSA (Closed Loop Spotting Algorithm)

i 번째 탄두의 수정표적 정보를 $u(i)$ 라 두면 수정오차는 식 (2-5)와 같다.

$$x(i) = \alpha(i) + \beta(i) + c + dg(i) + u(i) \quad (2-5)$$

식 (2-5)를 1차 미분방정식으로 기술하면

식 (2-6), 식 (2-7)과 같다.

$$x(i) = h'(i)a(i) + \beta(i) + u(i) \quad (2-6)$$

$$a(i) = \Phi(i)a(i-1) + \Gamma\theta(i) \quad (2-7)$$

여기서

$$a(i) = \begin{bmatrix} a_1(i) \\ a_2(i) \\ a_3(i) \\ a_4(i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha(i) \\ \alpha(i-1) \\ c \\ d \end{bmatrix}$$

$$\Phi(i) = \begin{bmatrix} r(i) & \tau & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\Gamma = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$h(i) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 1 \\ g(i) \end{bmatrix}$$

칼만필터 4) 를 포함한 CLSA 는 식(2-8) - 식 (2-13)와 같다.

$$\Sigma(k) = \Phi(k)P(k-1)\Phi'(k) + \Gamma\sigma_3^2(k)\Gamma' \quad (2-8)$$

$$W(k) = h'(k)\Sigma(k)h(k) + \sigma_3^2(k) + \sigma_3^2(k) \quad (2-9)$$

$$P(k) = \Sigma(k) - \Sigma(k)h(k)W^{-1}(k)h'(k)\Sigma(k) \quad (2-10)$$

$$G(k) = \Sigma(k)h(k)W^{-1}(k) \quad (2-11)$$

$$\hat{a}(k) = \Phi(k)\hat{a}(k-1) + G(k)[y(k) - u(k) - h'(k)\Phi(k)\hat{a}(k-1)] \quad (2-12)$$

$$u(n) = -h'(n)\Phi(n,k)\hat{a}(k) \quad (2-13)$$

CLSA 의 블록선도는 그림 2-1과 같다.

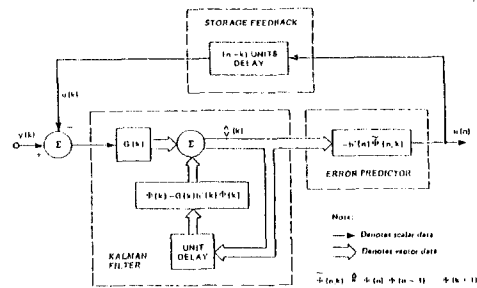


그림 2-1 블록선도

Fig 2-1. Block Diagram

수정 표적정보는 계산된 총돌지점과 실제 충격 지점 사이의 측정된 회피거리로부터 결정된다. 회피거리 $y(i)$ 는 측정된 값이며, 다음에 발사 될 탄두의 수정표적 정보 $u(i)$ 는 CLSA 에 의하여 계산된다.

3. 시뮬레이션

알고리즘에 대한 성능분석을 위하여 본 기법을 이용하였으며 사건발생(Event Generation) 은 다음과 같이 하였다.

가) 사건발생(Event Generation)

표적은 기동을 하지 않고 일정속도를 유지

하면서 포를 향하여 직진하며 포의 발사율은 일정하다.
 포에서 발사한 탄두는 식 (3-1)과 같으며 표적에 접근하면 파열한다.

$$T = C (e^{kR} - 1) \quad (3-1)$$

여기서

T : 인터셉트 시간 (Time of Intercept)

R : 거 리

c, k : 상 수

명중결정(Hit Determination)은 그림 3-1과 같이 탄두가 표적전면에 접근한 상태를 고려하여 판단한다.

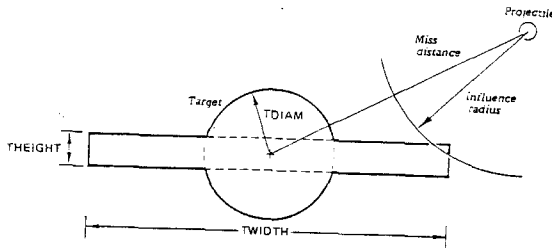


그림 3-1 명중결정

Fig3-1 Target-Projectile Intercept Geometry

나) 결과분석

입력매개 변수는 표 3-1과 같으며 프로그램 흐름도는 그림 3-2와 같다.

상기의 입력데이터로 몬테칼로 시뮬레이션을 수행한 대표적인 결과는 그림 3-3 및 그림 3-4와 같다. 그림3-4의 결과는 CLSA 기법을 적용한 것이며 그림 3-3은 기존 확기제어체계에 적용한 결과로서 이와같이 동일한 오차프로세스 모델에서 CLSA 기법을 적용할 경우 표적이 근접해 올수록 근사치수적으로 명중확율이 크게 향상됨을 보여 준다.

표 3-1 매개변수 및 크기

매개변수	크 기	매개변수	크 기
ρ	0.85	σ_{η}	0.1mils
τ	0.14	c	6 mils
σ_{θ}	2mils	d	1

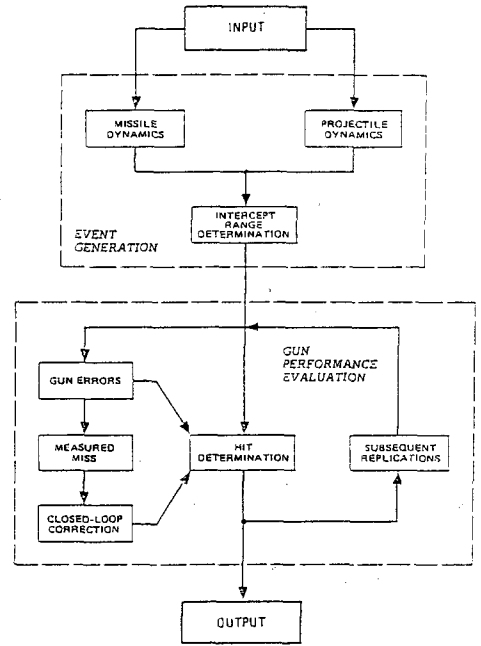


그림 3-2 프로그램 흐름도

Fig 3-2. Functional Block Diagram

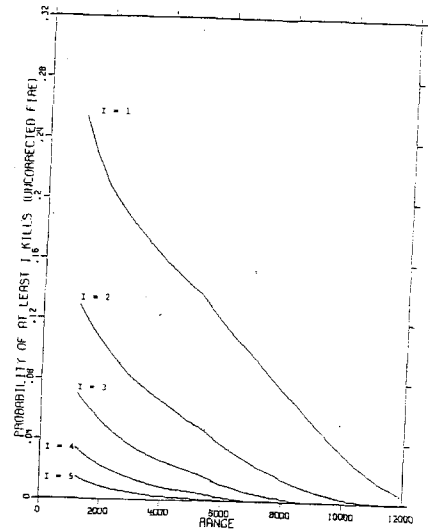


그림 3-3 명중확율 및 거리

Fig 3-3. Kill Probability VS. Range

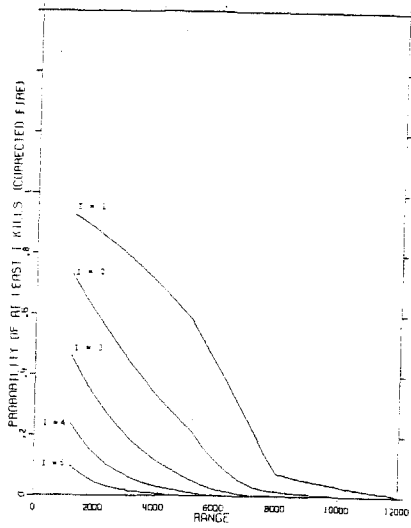


그림 3-4 명중확률 및 거리
Fig 3-4. Kill Probability VS. Range

4. 결 론

기존 화기제어 시스템에서 표적과 탄두 사이의 회피거리를 줄이는 데는 상당한 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 대책방안으로 Closed Loop Spotting Algorithm을 분석, 제시 하였으며, 몬테카를로 시뮬레이션에 의한 성능분석 결과 기존 방식 보다 성능이 향상됨을 확인 하였다.

참 고 문 헌

- 1) CAN Professional Paper No. 105, "On Optimal Correction of Gunfire Errors", R.J.Corn, G.R.Phillips, Mar, 1973.
- 2) CAN Memorandom 692-72, "Parameter Relationships for Second Order Stationary Gaussian Markov Processes", F.R.Sinal, Apr, 1973.
- 3) McGraw-Hill, New York, "Stochastic Optimal Linear Estimation and Control", J.S.Meditch, 1969.
- 4) Prentice-Hall, "Optimal Filtering", D.O.Anderson, J.B.Moore, 1979.