

자동화기에서 자탄 탐지를 위한 모델링 및 시뮬레이션 방법

Method of Modelling & Simulation for Bullet Detection in the Gun Fire Control System

신승용 · 나형기 · 주정명 · 박준태 · 이행수

Seung-Yong Shin · Hyung-Ki Na · Joung-Myoung Joo · Joon-Tae Park · Hang-Soo Lee

요약

근접방어무기체계에서 자동화기는 군 함정에 탑재하여 적 항공기, 유도탄 및 고속 침투정 등의 위협표적으로부터 자함을 방어하기 위한 무기체계이다. 본 논문은 자동화기의 자동탄착수정에서 자탄 탐지를 위해 사격 조준점 계산 모델 및 탄 궤적 모델링 방법에 대해서 기술한다. 또한 펄스-도플러, CFAR, 모노펄스 오차계산 및 클러스터링 신호처리 알고리즘에 대해서 나타낸다. 제시한 방법의 성능을 보여주기 위해서 본 논문에서는 골키퍼 시스템의 사표결과와 제시한 방법의 모델링 및 시뮬레이션의 결과를 비교하여 이에 대한 비교 결과를 보여준다.

Abstract

In a closed-in weapon system, the gun fire control system protects the battleship from threatening targets, such as enemy aircraft, guided missiles, and high-speed permeable tablets. This paper describes the techniques of a shooting point calculation model and bullet trajectory modelling to detect a bullet target for automatic hit point correction (AHPC) in a gun fire control system. It also presents signal processing algorithms such as pulse-Doppler radar, constant false alarm rate, monopulse error calculation, and clustering. To demonstrate the performance of the proposed method, we compared the fire table results of the goalkeeper system with the modeling and simulation results of the proposed method.

Key words: CIWS, AHPC, Bullet Trajectory, Target Detection, CFAR

I. 서론

근접방어무기체계(CIWS: closed-in weapon system)에서 자동화기에 대한 자동탄착수정(AHPC)은 적 항공기 및 유도미사일 등의 표적을 요격하는데 있어서 명중률을 높이기 위해 중요한 요소이다. 자동탄착수정을 위해서 일반적으로 자동화기의 자탄에 대한 탄 탐지를 수행하여 탄착수정을 수행한다. 그림 1은 근접방어무기체계에 대한

개념도를 나타내며, 적 항공기(전투기) 및 유도미사일 등의 대공위협 표적과 고속 수상함정 등의 수상위협 표적으로부터 최종방어를 수행하여 함정의 생존성을 향상시키기 위한 무기체계이다^[1]. 최종방어를 위해 자동화기의 사격 조준점을 계산하거나 탄의 발사 위치를 예측함에 있어서 자탄의 궤적을 예측하여 탄을 탐지하는 것은 매우 중요한 요소이다.

미사일 및 유도탄을 탐지하기 위한 M&S는 연구 현재

LIG넥스원(주)(LIG Nex1 Co., Ltd.)

· Manuscript received November 21, 2023 ; Revised December 18, 2023 ; Accepted January 2, 2024. (ID No. 20231121-002S)

· Corresponding Author: Seung-Yong Shin (e-mail: seungyoung.shin@lignex1.com)



그림 1. 근접방어무기체계에 대한 개념도
Fig. 1. The concept of the closed-in weapon system.

까지 많은 연구가 이루어져 있지만, 초당 70발 이상 발사되는 자동화기의 자탄을 탐지하기 위한 연구는 거의 없으며, 본 논문에서 자동화기에서 자탄 탐지에 대한 모델링 및 시뮬레이션 결과를 제시한다.

본 논문은 자동화기의 명중률을 높이기 위한 사격 조준점 계산 모델과 자탄의 진행방향을 예측하는 궤적 모델링에 대해서 나타낸다. 또한 자탄을 탐지하기 위해서 탄에 대한 모델링 및 RCS(radar cross section) 분석결과를 제시하고, 펄스-도플러, CFAR(constant false alarm rate), 모노펄스 오차계산 및 클러스터링 신호처리 알고리즘에 대해서 나타낸다.

II. 본 론

2.1 사격 조준점 계산 모델

사격 조준점 계산 모델은 표적 운동에 대한 표적의 위치를 추정하고, 탄의 발사를 위해서 사격제원 계산에 따라 발사 예측지점을 계산한다^[2].

표적 운동 추정 모델은 표적의 운동에 따른 추적레이다의 추정 오차를 기준으로 표적의 움직임에 대한 표적 운동 추정 위치를 계산한다. 현재시간(t_0)을 기준으로 $t_0 + \Delta t, \dots, t_0 + n\Delta t$ 시간에 대한 표적 운동 추정 위치인 $s(t_0 + \Delta t), \dots, s(t_0 + n\Delta t)$ 를 획득한다. 그리고 표적의 운동 추정 위치에서 요격 가능 여부를 판단하고 발사고각

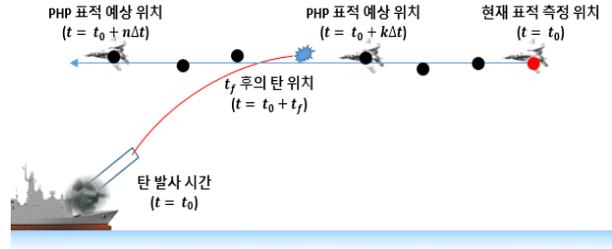


그림 2. 자동화기의 탄 발사에 대한 절차
Fig. 2. The bullet fire proceeding of the gun fire control system.

을 결정한다. 또한 $s(t_0 + k\Delta t)$ 의 위치에서의 비행시간, 발사시간($t_f(k)$) 및 발사각($\gamma(k)$)를 계산한다. 현재시간(t_0)에서 표적 예측지점인 $s(t_0 + k\Delta t)$ 로 발사를 시작하여 표적을 요격한다. 그림 2는 자동화기의 탄 발사에 대한 절차를 나타낸다.

2.2 자탄 궤적 모델링

자동화기의 자탄을 탐지하기 위해서는 탄도미분방정식을 이용하여 자탄에 대한 궤적을 예측해야 한다. 본 논문에서는 직사화기를 대상으로 공기저항을 고려하고 지구자전에 의한 코리올리(Coriolis) 힘을 적용한다. 또한 중력의 값을 고도에 따라 다르게 적용한다. 식 (1)은 탄도미분 방정식을 나타낸다.

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = -\frac{\rho C_D a^2}{m} \vec{u} - \vec{g} + \vec{a}_{drift} + \vec{a}_{coriolis} \quad (1)$$

여기서 \vec{v} 는 속도벡터이며 ρ 는 공기밀도 나타낸다. \vec{u} 는 항력을 고려한 속도벡터이고 C_D 는 공기항력계수를 나타낸다. \vec{g} 는 고도에 따른 중력 벡터를 나타내고 \vec{a}_{drift} 는 드리프트 벡터이며 $\vec{a}_{coriolis}$ 는 위도에 따른 코리올리 벡터를 나타낸다. 그림 3은 공기항력계수를 나타내며, 탄의 속도에 따라 모델링을 수행한다^[3]. 공기항력계수는 속도에 따라서 일정하다가 급격히 증가하고 지수함수의 형태로 감소한다.

코리올리 힘은 지구의 자전에 의해서 발생하는 힘으로 북반구에서는 시계방향으로 작용하고, 남반구에서는 시계 반대방향으로 작용한다. 식 (2)은 코리올리 힘을 나타낸다^[4].

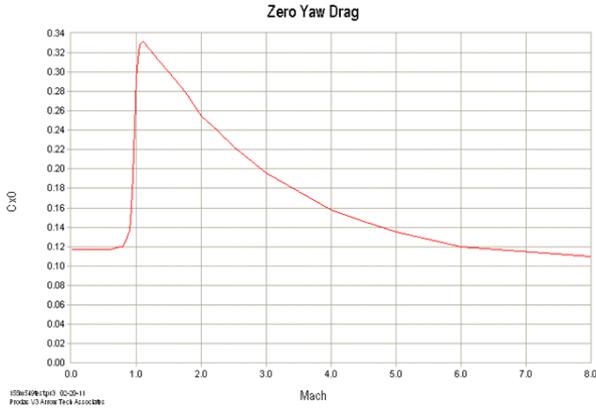


그림 3. 탄의 속도에 따른 공기의 항력계수
Fig. 3. The bullet velocity vs. the coefficient of air drag force.

$$a_c = 2\omega \begin{bmatrix} \nu_n \sin\psi - \nu_e \cos\psi \\ -\nu_e \sin\psi \\ \nu_e \cos\psi \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서 ω 는 지구의 회전율을 나타내며 7.29211×10^{-5} 의 값으로 주어진다. ν_e, ν_n, ν_u 는 국부좌표계에서 각각 east, north, upward 방향의 속도벡터를 나타낸다. ψ 는 위도(latitude)를 나타낸다.

2-3 펄스-도플러 신호처리

펄스-도플러 신호처리는 수신된 레이더 신호에서 펄스 단위로 펄스압축을 수행하여 거리 축으로 신호의 에너지를 모으고 버스트 단위로 도플러 주파수 축에서 에너지를 모으는 역할을 수행하여, 표적의 거리정보 및 시선각 방향의 속도정보를 나타내는 RD(range Doppler) 영상을 얻을 수 있다^[5]. 그림 4는 펄스-도플러 신호처리에 대한 개념도를 나타낸다. PRI(pulse repetition interval) 간격으로 배열 데이터가 형성되며 한 펄스 내에 시간 축을 fast time 이라고 표현하고, PRI 간격으로 된 펄스가 나열된 시간 축을 slow time 이라고 표현한다.

펄스-도플러 신호처리에서 펄스 신호처리는 fast time 축에 대해서 펄스압축을 수행하고, 도플러 신호처리는 slow time 축에 대해 FFT(fast Fourier transform)를 수행하여 처리한다. 펄스-도플러 신호처리 수행시 부엽(sidelobe)이 발생하여 부엽으로 수신되는 큰 전력의 반사파가 상

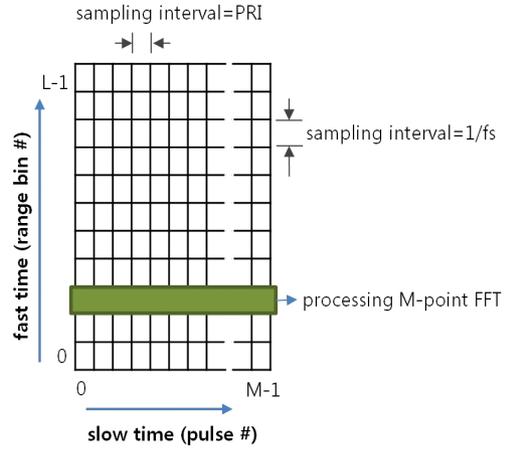


그림 4. 펄스-도플러 신호처리에 대한 개념도
Fig. 4. The concept of pulse-Doppler signal processing.

대적으로 적은 전력으로 수신되는 표적의 반사파를 가릴 수 있기 때문에 이를 방지하게 위해 윈도우 함수를 적용하여 부엽 레벨을 낮출 수 있다.

2-4 CFAR 신호처리

CFAR(constant false alarm rate) 신호처리는 표적을 탐지하기 위한 일반적으로 사용되는 방법으로 일정한 오경보 탐지확률을 유지하기 위해 문턱치값(threshold value)을 바꾸어 적용하는 방법이다^{[6][7]}. 본 논문에서는 표적을 탐지하기 위해서 CA(cell average)-CFAR를 사용한다. 그림 5는 CA-CFAR 알고리즘 신호처리 방법을 나타내며, 신호

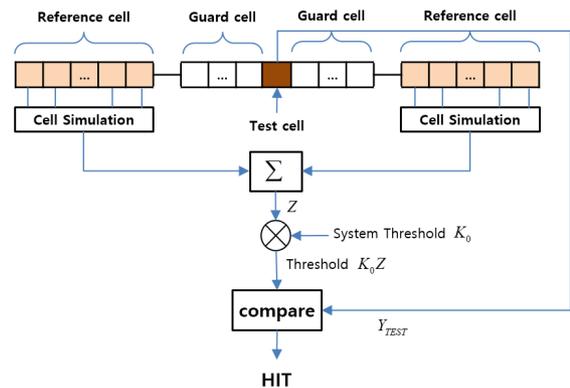


그림 5. CA-CFAR 알고리즘 신호처리
Fig. 5. The signal processing of CA-CFAR algorithm.

의 전력 값을 저장하고 있는 cell들에 대해서 test cell 좌우 데이터 값들의 평균값을 계산하고, 이를 체계 문턱치(system threshold)와 곱하여 실제 데이터를 고려한 문턱치(threshold value)를 계산한다. 그리고 test cell과 비교 연산하여 문턱치 보다 test cell 값이 클 경우 표적으로 인정하여 HIT 목록에 추가한다. 여기서 HIT는 탐지된 표적 셀(cell)을 의미한다. 문턱치 보다 작은 경우 잡음으로 인식하여 이 셀(cell)은 버리게 된다. 여기서 표적에 의한 부엽 신호의 영향을 최소화하기 위해 경계 셀(guard cell)을 지정한다.

2-5 모노펄스 오차계산 신호처리

모노펄스 오차 계산 신호처리는 그림 6과 같이 안테나 빔 조향각인 θ_{ant} 에 대하여 표적의 방향인 θ_{target} 과 얼마나 오차($\theta_{target} - \theta_{ant}$)를 가지느냐를 구하는 것으로 모노펄스에 대한 표적의 수신 반사파의 합 채널 신호와 차 채널 신호를 이용하여 구하게 된다.

위상배열 레이다에서 합 채널 신호는 위상배열의 각 element에 들어오는 모든 신호를 합하여 만들며, 차 채널 신호는 위상배열의 중심을 기준으로 각도 오차를 구하려는 방향의 좌측 element에 들어오는 신호들의 합과 우측 element에 들어오는 신호들의 합의 차이를 구하여 만든다. 보통 차 채널 신호를 만들 때 element들의 수가 같게

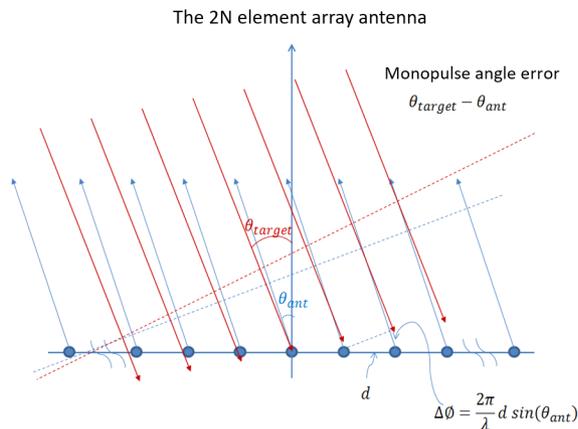


그림 6. 배열 안테나의 모노펄스 오차 계산 개념도
Fig. 6. The concept of monopulse error calculation for array antenna.

하여 양쪽에 들어오는 이득에 의한 전력의 양이 같도록 한다.

모노펄스를 이용한 각도 오차 계산은 모노펄스의 기울기 이용하여 구하게 되는데, 위상배열 레이다에서 모노펄스 각도 오차 계산은 빔 조향 방향에 상관없이 하나의 모노펄스 기울기를 이용하기 위하여 sin 영역에서 모노펄스 기울기를 구하게 된다. 식 (3)은 모노펄스 기울기를 구하기 위해 linear array 안테나를 기준으로 모노펄스 각도 오차 계산에 대한 수식을 전개한다.

$$\begin{aligned} \Delta\phi_{ta} &= \frac{2\pi}{\lambda}d(\sin(\theta_{target}) - \sin(\theta_{ant})) \\ SUM &= \sum_{k=0}^{N-1} \exp(j\Delta\phi_{ta}k) + \sum_{l=N}^{2N-1} \exp(j\Delta\phi_{ta}l) \\ DIFF &= \sum_{k=0}^{N-1} \exp(j\Delta\phi_{ta}k) - \sum_{l=N}^{2N-1} \exp(j\Delta\phi_{ta}l) \\ \frac{DIFF}{SUM} &= -j \tan(\Delta\phi_{ta}N/2) \\ \text{Imag}\left(\frac{DIFF}{SUM}\right) &= -\tan(\Delta\phi_{ta}N/2) \\ &= -\tan\left(\frac{N\pi}{\lambda}d(\sin(\theta_{target}) - \sin(\theta_{ant}))\right) \\ &\approx -\frac{N\pi}{\lambda}d(\sin(\theta_{target}) - \sin(\theta_{ant})) \\ &= S_{slope}(\sin(\theta_{target}) - \sin(\theta_{ant})) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 S_{slope} 는 모노펄스 기울기를 나타낸다. 위의 수식에서 보듯이 차 채널의 신호를 합 채널의 신호로 나눈 값의 imaginary 성분 값은 sin 영역에서 모노펄스 각도 오차를 나타내는 $\sin(\theta_{target}) - \sin(\theta_{ant})$ 와 비례하며, 그 비례상수 S_{slope} 가 모노펄스 기울기이다. 즉 모노펄스 기울기와 차 채널의 신호를 합 채널의 신호로 나눈 값의 imaginary 성분 값을 알고 있으면 모노펄스 각도 오차 $\sin(\theta_{target}) - \sin(\theta_{ant})$ 를 알 수 있으며, 식 (4)와 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} V_{error} &= \sin(\theta_{target}) - \sin(\theta_{ant}) \\ &= \text{Imag}\left(\frac{DIFF}{SUM}\right) / S_{slope} \end{aligned} \quad (4)$$

모노펄스 각도 오차 수식을 기반으로 표적의 방향인 θ_{target} 을 식 (5)으로 정확하게 구할 수 있다.

$$\theta_{target} = \sin^{-1}(V_{error} + \sin(\theta_{ant})) \quad (5)$$

2-6 클러스터링 신호처리

CFAR 신호처리를 수행한 결과의 HIT는 임계치 (threshold) 값을 넘어서는 전력크기 값을 가지게 되고 이러한 HIT들의 위치는 표적이 존재하는 위치로 여겨지게 된다. 표적신호의 거리/도플러 방향의 신호가 크면, 실제 표적위치 외에 주변 셀의 위치에서도 HIT로 추출되기 때문에 실제 표적 HIT와 주변의 셀에서의 HIT들을 한 표적으로 클러스터링 하는 것이 필요하다.

클러스터링 알고리즘은 유사한 특성을 가진 데이터들을 같은 집단으로 분류하는 방법으로 레이다 신호처리에서는 대용량의 HIT들을 시스템 운용개념에 적합하고 실시간으로 데이터를 처리하기 위해서 클러스터링 알고리즘이 고안되었다^{[8],[9]}.

본 논문에서는 거리/도플러 데이터에 대한 클러스터링 알고리즘을 제시한다. 다음의 그림 7은 클러스터링을 위한 거리/도플러 셀 검사 방법에 대해서 나타낸다. 그림에서 보듯이 HIT의 위치에 대한 전력크기를 저장하고 거리/도플러 셀에서 검사 순서에 해당하는 셀 인덱스를 부여한다. 여기서 셀 인덱스는 그림 7에서 보듯이 거리/도플러에 대한 레이다 영상에서 거리방향으로 먼저 부여하고 도플러 방향으로 순차적으로 부여한다. 2차원 거리/도플러 영역에서 위의 그림처럼 각 셀에 (1)부터 인덱스를 부여했을 때, 인덱스 순서에 따라 셀 (1)부터 차례로 HIT가 있는지 확인하고, HIT가 있다면 해당 셀의 인덱스와 전력의 크기를 저장한다. 그림에서 (3202)번째 셀에서 전력의

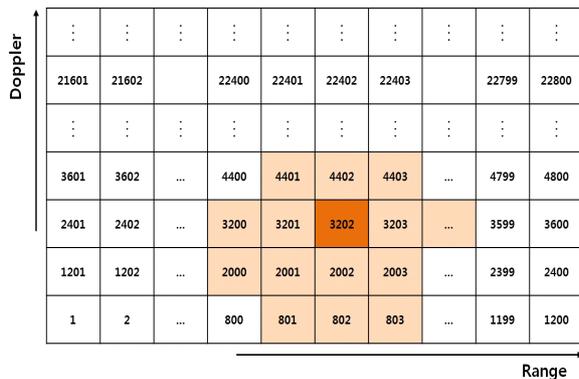


그림 7. 클러스터링 알고리즘 신호처리
Fig. 7. The signal processing of clustering algorithm.

크기가 가장 크게 나오면 주변의 HIT 셀과 묶어서 클러스터를 형성한다.

형성된 클러스터에서 하나의 표적으로 추출하기 위해서 각 원소들에 대한 centroiding 방법을 통해서 표적의 위치와 속도를 최종적으로 획득할 수 있으며, 식 (6)으로 나타낸다. centroiding 방법은 한 표적에 대한 여러 개의 HIT들에 대해서 1개의 표적으로 생성하기 위해서 각 HIT의 전력크기를 가중치를 부여한 무게중심점을 찾는 방법이다.

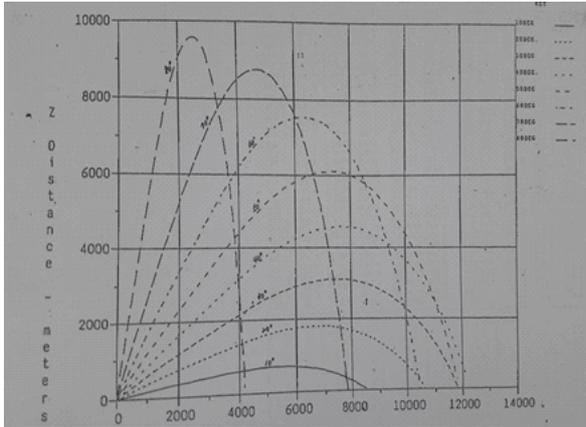
$$\hat{i}_c = \frac{\sum_{m=1}^{M_c} i_c(m) Y(i_c(m))}{\sum_{m=1}^{M_c} Y(i_c(m))} \quad (6)$$

여기서 M_c 는 클러스터 c 의 총 원소 개수를 나타내며, $i_c(m)$ 은 클러스터 c 에서 m 번째 원소의 셀 위치에 해당하는 셀 인덱스 값을 나타낸다. $Y(i_c(m))$ 은 클러스터 c 에서 m 번째 원소의 전력 크기 값을 나타내고, \hat{i}_c 는 클러스터 c 에 해당하는 표적의 최종적으로 결정한 위치를 나타낸다.

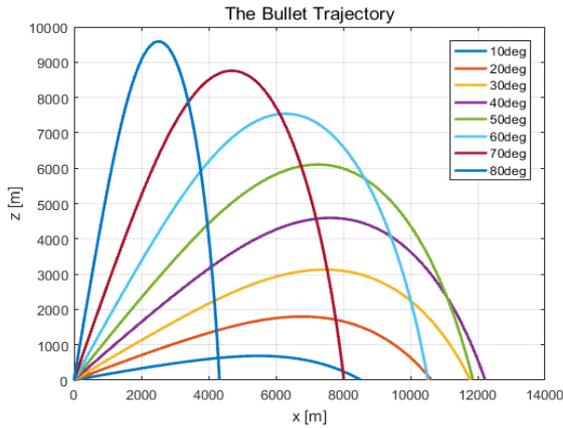
III. 시뮬레이션 결과

자동화기에서 자탄을 탐지하기 위해서 식 (1)을 기반으로 자탄에 대해서 궤적 모델링을 수행한다. 다음의 그림 8은 현재 군에서 운용중인 30 mm 자동화기의 발사각도에 대한 탄 궤적을 모델링 및 시뮬레이션 수행한 결과를 나타낸다, 그림 8(a)는 현재 군 함정에서 운용중인 골키퍼 장비에서의 사표 결과를 나타내며, 그림 8(b)는 본 논문에서 모델링 및 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 군에서 실제로 운용중인 골키퍼 장비의 탄 궤적 결과와 본 논문에서 제시한 방법의 결과가 일치함을 확인할 수 있다.

자탄 탐지를 위한 탄의 RCS(radar cross section) 분석을 위해서 직사화기의 30 mm 탄에 대한 모델링 및 시뮬레이션을 수행한다. 그림 9 및 그림 10은 자동화기의 자탄에 대한 3D 모델링 및 RCS 분석 결과를 나타낸다. 30 mm 탄의 후면에 대한 RCS 값이 -27 dBsm($0.002m^2$)임을 분석 결과로 확인할 수 있다. 그림 10의 가로축의 θ 는 표적을 바라보는 관측각도를 나타낸다.



(a) 골키퍼 장비에서의 사표 결과
(a) The gun fire table results of the goalkeeper system



(b) 본 논문의 모델링 및 시뮬레이션 결과
(b) The modeling and simulation results of this paper

그림 8. 발사각도에 대한 탄 궤적
Fig. 8. The bullet trajectory to fire angles.

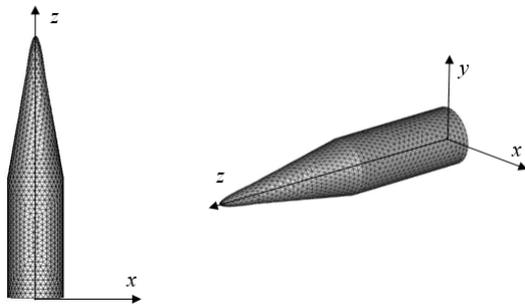


그림 9. RCS 분석을 위한 자탄의 모델링
Fig. 9. The bullet modelling for RCS analysis.

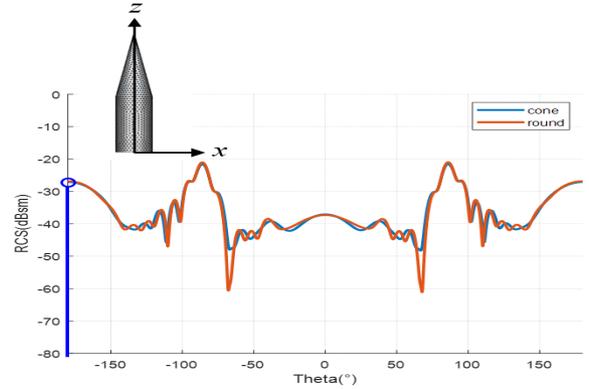


그림 10. 자동화기의 자탄에 대한 RCS 분석결과
Fig. 10. The analysis results of RCS for the bullet in gun fire control system.

자동화기의 탄에 대한 궤적 및 RCS 분석 다음 단계로 탄에 대한 레이더로 수신되는 신호를 생성하고 신호처리를 수행한다. 자탄 탐지를 위한 신호생성 및 신호처리를 위한 주파수는 Ku대역의 운용주파수로 설정하고 초구 발사속도는 1,150 m/sec로 한다. 그림 11은 자탄 탐지에 대한 거리 신호처리 결과를 나타내며, 거리가 멀어짐에 따라 수신신호의 크기가 감소됨을 확인할 수 있다. 또한 1.5 초 동안 발사한 거리만큼 표적의 정보를 획득함을 확인할 수 있다.

그림 12는 자탄 탐지에 대한 거리-도플러 신호처리 결과를 나타낸다. 거리가 증가함에 따라 자탄의 속도 및 수신신호의 크기가 감소됨을 확인할 수 있다.

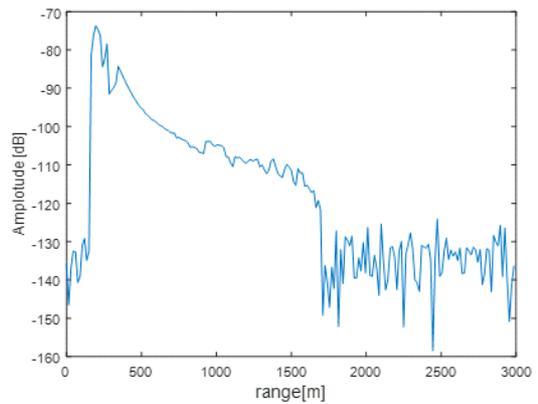


그림 11. 자탄 탐지에 대한 거리 신호처리 결과
Fig. 11. The range signal processing result for bullet detection.

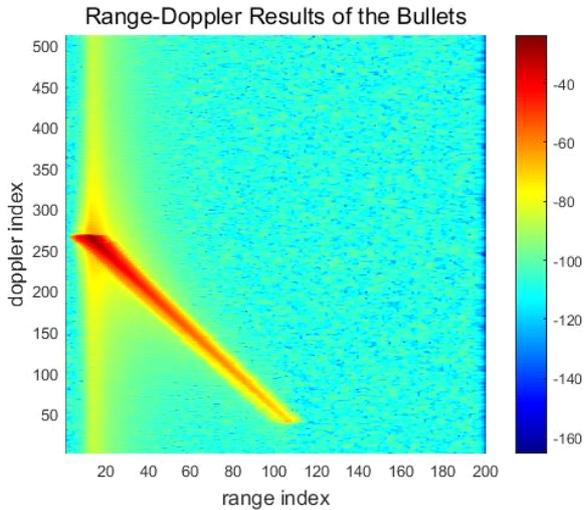


그림 12. 자탄 탐지에 대한 거리-도플러 신호처리 결과
Fig. 12. The range-Doppler signal processing result for bullet detection.

그림 13은 자탄 탐지를 위한 CFAR 신호처리 결과를 나타내며, 수신구간에서 탄에 대한 HIT들이 형성됨을 확인할 수 있다. 그림 14는 CFAR 결과를 바탕으로 자탄 탐지에 대한 클러스터링 신호처리 결과를 나타낸다. 레이다 수신구간에서 시뮬레이션을 위해 설정한 5개의 표적에 대해서 정확하게 5개의 표적이 추출됨을 확인할 수 있다.

표 1은 자탄 탐지 신호처리를 통해서 추출한 5개의 탄

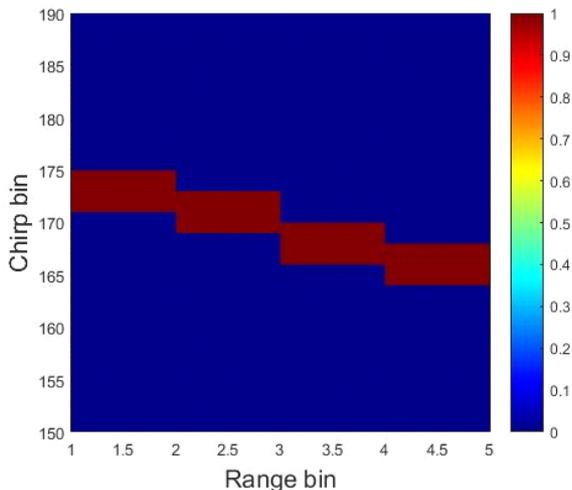


그림 13. 자탄 탐지를 위한 CFAR 신호처리 결과
Fig. 13. The CFAR signal processing result for bullet detection.

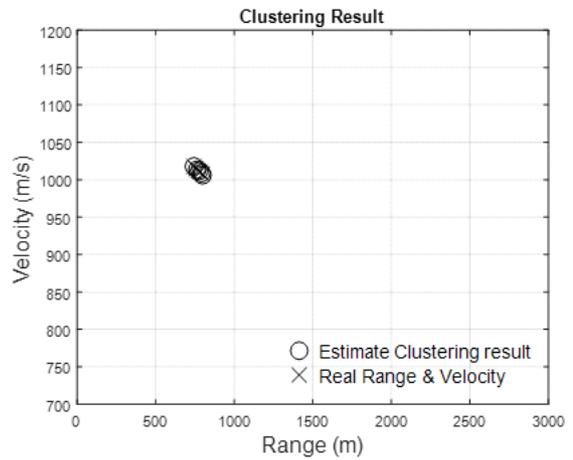


그림 14. 자탄 탐지에 대한 클러스터링 신호처리 결과
Fig. 14. The clustering signal processing result for bullet detection.

표 1. 탄 표적 탐지 정보

Table 1. Information of bullet target detection.

Item		Target 1	Target 2	Target 3	Target 4	Target 5
Range [m]		743.76	762.73	775.33	791.46	797.71
Velocity [m/sec]		1,017.5	1,014.1	1,011.6	1,009.1	1,006.2
Monopulse error [degree]	Az	0.81	-1.22	1.35	1.11	0.33
	El	1.08	0.65	1.08	0.44	0.47
Power [dB]		-50.9	-51.1	-51.6	-52.1	-52.3

표적에 대한 정보를 나타낸다. 실제 5개의 표적 거리 (743.4 m, 757.9 m, 772.5 m, 786.9 m, 801.4 m) 및 속도 (1,017.6 m/sec, 1,015.1 m/sec, 1,012.5 m/sec, 1,010.0 m/sec, 1,007.5 m/sec)가 시뮬레이션을 통해 획득한 결과와 거의 일치함을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 근접방어무기체계에서 자동탄착수정을 위한 자동화기에 대한 자탄을 탐지하는 방법에 대해 기술하였다. 자탄 탐지를 위해 탄의 궤적을 모델링하여 진행 경로를 예측하고, 탄에 대한 RCS 분석 결과를 제시한다. 또한 탄에 대한 레이다 수신신호 생성, 신호처리 방법 및 알고리즘에 대해서 기술하였다. 제시한 방법에 대해서

는 모델링 및 시뮬레이션 결과와 비교분석 결과를 제시하여 성능을 검증하였다.

References

- [1] I. H. Whang, "Optimal evasive maneuver for sea skimming missiles against close-in weapon system," in *The Korean Institute of Electrical Engineers Summer Conference*, "여수", 2002, pp. 2096-2098.
- [2] J. Kim, E. Kim, S. Yu, and S. Kim, "A computation method for time of flight in the anti-aircraft gun fire control system," *Korea Information Processing Society Transactions on Computer and Communication Systems*, vol. 4, no. 11, pp. 361-368, 2015.
- [3] P. Weinacht, G. R. Cooper, and J. F. Newill, "Analytical prediction of trajectories for high-velocity direct-fire munitions," Army Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, MD, ARL-TR-3567, 2005.
- [4] Wikipedia, "Coriolis force." Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Coriolis_force
- [5] G. Morris, L. Harkness, *Airborne Pulsed Doppler Radar*, 2nd ed. Norwood, MA, Artech House Publishers, 1996.
- [6] S. J. Shin, "A study of efficient CFAR algorithm," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 25, no. 8, pp. 849-856, Aug. 2014.
- [7] E. Hyun, W. Oh, and J. H. Lee, "Fast CA-CFAR processor design with hardware complexity," *The Institute of Electronics Engineering of Korea-Signal Processing*, vol. 48, no. 5, pp. 123-128, Sep. 2011.
- [8] S. Y. Shin, Y. J. Kong, S. M. Chon, Y. H. Jang, and E. J. Yang, "Implementation of target clustering using the local maximum detection(LMD) algorithm," in *The Korea Institute of Military Science and Technology General Conference*, Seogwipo, Jun. 2018, pp. 455-456.
- [9] J. A. Hartigan, *Clustering Algorithms*, Hoboken, NJ, Wiley & Sons, pp. 1-2, 1975.

신 승 용 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0009-0001-2290-0152>



2004년 2월: 포항공과대학교 정보통신학과 (공학석사)
 2009년 2월: 한국과학기술원 전자전산학과 (공학박사)
 2009년 3월~2010년 5월: 한국과학기술원 박사후 연구원
 2010년 6월~현재: LIG넥스원(주) 레이더

연구소 수석연구원

[주 관심분야] 근접방어무기체계, 레이더시스템, 레이더 신호처리 및 영상처리 등

나 형 기 [LIG넥스원/연구위원]

<https://orcid.org/0000-0002-3031-8998>



1993년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)
 1996년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)
 1996년 1월~현재: LIG넥스원(주) 레이더연구소 연구위원
 [주 관심분야] 레이더, 안테나 등

주 정 명 [LIG넥스원/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-8210-1758>



2013년 2월: 홍익대학교 전자정보통신공학과 (공학석사)

2013년 1월~현재: LIG넥스원(주) 초고주파기술개발단 선임연구원

[주 관심분야] 수동 및 능동 위상배열안테나, 디지털 레이더시스템 등

이 행 수 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-6323-6294>



2006년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학석사)

2006년 3월~현재: LIG넥스원(주) 레이더연구소 수석연구원

[주 관심분야] 능동위상배열레이더, 근접방어무기체계, 레이더시스템 등

박 준 태 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-7895-1792>



2011년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학석사)

2011년 3월~현재: LIG넥스원(주) 레이더연구소 수석연구원

[주 관심분야] 레이더 신호처리, 레이더시스템, 능동위상배열레이더 등