

# 다중 레이더 시스템의 고속표적 인계 시점 결정기법 연구

## Take-Over Time Determination for High-Velocity Targets in a Multiple Radar System

박순서 · 장대성 · 최한림 · 김은희\* · 선 웅\*\* · 이종현\*\* · 유동길\*\*

Soon-Seo Park · Dae-Sung Jang · Han-Lim Choi · Eun-Hee Kim\* · Woong Sun\*\* · Jong-Hyun Lee\*\* · Dong-Gil Yoo\*\*

### 요 약

다중 방어 시스템은 표적의 장거리 조기탐지를 위해 조기 경보 레이더를 활용하고, 정밀 요격 통제를 위해 대공 레이더를 활용하는 방식을 취한다. 그러므로 레이더들 사이에 표적 인계 과정을 필요로 하게 되는데, 추적의 안정화 및 교전 통제를 고려하여 적절한 시점에 표적 인계가 이루어져야 한다. 본 논문에서는 다중 레이더 시스템의 운용 특성을 분석하고, 고속표적에 효과적으로 대응하기 위한 추적 성능 예측 기반의 표적 인계 시점 결정기법을 제안하였다. 또한, 탄도탄 방어 시나리오를 포함하는 통합 시뮬레이터 환경에서 제안 기법을 검증하였다.

### Abstract

A multiple radar system is comprised of early warning radar for fast detection of a target and air defense radar for precision intercept. For this reason, target take-over process is required between the two radars. The target take-over should be performed at an appropriate time by consideration of stable tracking and effective fire control. In this paper, operation characteristics of multiple radar system are analyzed and target take-over time determination method using estimation of target tracking performance is proposed for high-velocity targets. The proposed method is validated with ballistic target defense scenarios in the developed integrated simulator.

Key words: Multiple Radar System, Target Take-Over, High-Velocity Target, Estimation of Target Tracking Performance

### I. 서 론

장거리 초고속 표적에 대응하기 위한 효과적인 교전 통제 능력과 표적을 요격할 수 있는 정밀 교전 능력의 확보는 대공 방어체계에 필수적이다. 이를 위해 가장 많이 채용되고 있는 방식은 다중 방어 시스템이다. 이 시스템은 제원과 특성이 다른 여러 대의 다기능 위상 배열 레이

더들을 포함하는데, 표적의 추정 정보뿐만 아니라, 각 레이더의 표적 관리 현황을 공유하는 것이 가능하다.

다중 방어 시스템을 구성하는 각 레이더들은 표적의 탐지, 추적 및 교전통제 등 다양한 기능을 동시에 수행하는 것이 가능하므로 운용상의 가변성이 확보된다. 그러므로 자원관리<sup>[1]~[4]</sup>를 통해 여러 가지 기능과 임무에 레이더의 한정된 시간자원을 효율적으로 분배하여 성능을 최

「이 연구는 LIG 넥스원과 한국연구재단의 지원으로 연구되었음.」

한국과학기술원 항공우주공학과(Department of Aerospace Engineering, KAIST)

\*세종대학교 국방시스템공학과(Department of Defense System Engineering, Sejong University)

\*\*LIG 넥스원(LIG NEXI)

· Manuscript received December 21, 2015 ; Revised February 17, 2016 ; Accepted February 29, 2016. (ID No. 20151221-100)

· Corresponding Author: Soon-Seo Park (e-mail: sspark@lics.kaist.ac.kr)

대화 할 필요가 있다. 또한, 각 레이더들의 위치, 성능 그리고 시간자원을 고려하여 표적의 인계 시점을 유연하게 결정하는 것이 가능하므로, 협력적 운용기법을 통하여 전체 시스템의 효율성을 증대시킬 필요가 있다.

다중 방어 체계에서는 우선적으로 표적을 조기에 탐지하는 것이 필수적이며, 정밀 교전통제를 위해 추적의 안정화 및 정확한 표적의 인계가 이루어져야 한다. 이를 위해 탐색 및 표적 인수 기능의 특성을 분석하고, 각 기능의 성능을 최대화하기 위한 파라미터 최적화 기법이 제안되었다<sup>5)</sup>. 한 레이더의 표적을 다른 레이더로 인계하는 상황에서는 표적 손실 확률을 최소화하기 위해 적절한 표적 인수 영역의 지정이 필요하다. 두 레이더 간에는 표적의 방위/거리는 물론 고도 및 추적필터의 오차 공분산 정보를 사전에 공유하는 것이 가능하므로, 이 정보를 활용하여 이론적으로 인수받는 레이더에서 신속히 표적을 획득할 수 있다.

하지만 원거리에서 표적을 인수 받게 되면 반송신호가 상대적으로 약하므로 표적을 안정적으로 지속 추적하기 어렵고, 근거리에서 인수 받을 경우에는 위협에 대응할 수 있는 시간을 확보할 수 없게 된다. 그러므로 시스템의 특성을 고려하여 적절한 표적 인계 시점을 결정해야 한다.

본 연구에서는 고속표적에 대응하기 위한 이층 방어 체계의 특성을 분석하고, 이 시스템의 추적 성능을 향상시키기 위한 표적 인계 시점 결정 기법을 제안하였다. 이를 조기 경보 및 대공 레이더 시스템으로 구성된 통합 시뮬레이터를 통해 검증하였으며, 해당 임무에 부여된 부하

와 표적의 추정 정보를 활용한 순람표 이용 방식의 표적 인계 시점 결정 기법을 제시하였다.

## II. 표적 인계 및 기대 추적 성능 산출

### 2-1 표적 인계 기법

본 절에서는 조기 경보 레이더(EWR)와 대공 레이더(SAM-MFR)로 구성된 이층 방어 시스템의 운용 개념과 표적 인계 기법에 대해 설명한다.

조기 경보 레이더는 표적의 탐색뿐만 아니라, 지정 영역에서의 추적 임무 또한 수행하게 된다. 먼저 지정 탐색 영역에 미리 설정된 빔 격자 상에서 빔의 위치를 바꾸어가며 표적 탐색 임무를 수행한다. 탐색 중 표적으로 의심되는 플롯이 발견되면, 해당 위치에 빔을 재주사하여 실제 표적인지를 확인한다.

두 차례의 확인 빔을 통해 동일한 플롯이 측정되면, 추적 초기화와 추적을 순차적으로 수행한다. 여기서 추적 초기화란 표적을 안정적으로 지속 추적하기 위하여 추적 필터를 충분히 수렴시키는 과정을 말하며, 추적과 기능은 동일하지만, 빠른 주기로 임무를 수행한다는 점에서 차이가 있다<sup>6)</sup>. 추적 필터는 추적 초기화 단계부터 사용하며, 표적의 추정 정보를 활용하여 각도상의 표적 예상 이동 위치에 다음번 추적빔을 주사하게 된다.

조기 경보 레이더에서 추적 중인 표적이 대공 레이더의 탐지반경 내에 진입하면 교전 통제를 위해 적절한 시점에 표적 인계가 이뤄져야 한다. 표적 인계가 결정되면, 대공 레이더에서 지정영역(표적 인수 영역) 탐색을 통해 표적을 획득하는 과정인 표적 인수 기능을 수행한다. 표적 인수 영역 지정은 조기 경보 레이더에서의 표적 추정 정보 및 두 레이더들의 위치 정보를 활용하여 좌표변환을 통해 이루어지는데, 표적 추정 정보에 불확실성이 존재하므로 좌표변환된 위치를 중심으로  $\theta^\circ \times \theta^\circ$  영역을 지정해 줄 필요가 있다(그림 2). 두 레이더간의 좌표변환은 아래와 같은 식을 따른다.

$$X_B = \Psi_A^B X_A \tag{1}$$

여기서  $X_A$ 는 조기 경보 레이더에서 추정된 표적의 상태 변수,  $\Psi_A^B$ 는 두 레이더간의 좌표변환 행렬을 의미하며,

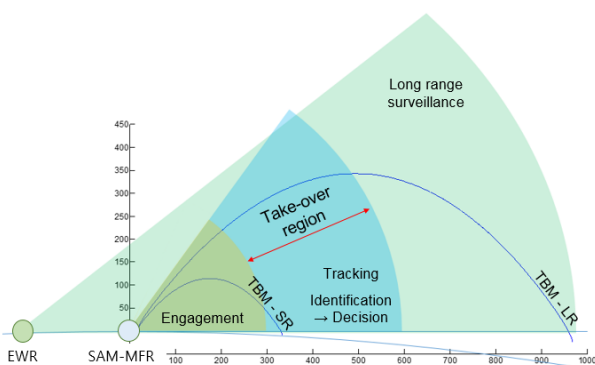


그림 1. 이층 방어 시스템의 운용 개념도  
Fig. 1. A conceptual diagram of a multiple radar system.

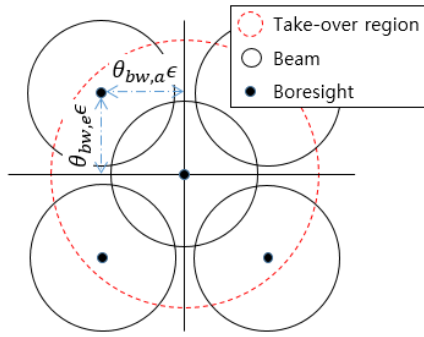


그림 2. 표적 인수를 위한 빔 패턴 형성  
Fig. 2. Construction of a beam pattern for target acquisition.

$X_B$ 는  $X_A$ 와  $\Psi_A^B$ 를 통해 예측된 대공 레이더에서의 표적 추정 정보를 의미한다.

두 레이더 간에는 표적의 위치정보뿐만 아니라, 추적 필터의 오차 공분산 정보의 공유가 가능한데, 이를 활용하면 대공 레이더 추적 필터의 수렴속도 향상을 도모할 수 있다. 오차 공분산의 변환 식은 아래와 같다.

$$P_B = [\Psi_A^B] P_A [\Psi_A^B]^T \quad (2)$$

여기서  $P_B$ 는 좌표변환을 통해 계산된 대공 레이더 추적 필터의 표적 추정 오차 공분산,  $P_A$ 는 조기 경보 레이더 추적 필터의 오차 공분산이다.

조기 경보 레이더의 표적 추적 임무는 대공 레이더가 표적 인수 기능을 통해 표적 탐색에 성공하는 시점까지 수행한다. 대공 레이더는 표적을 인수받은 후, 조기 경보 레이더와 동일하게 추적 초기화/추적을 순차적으로 수행한다.

대공 레이더는 상대적으로 원거리에서 표적을 인수 받게 되면 반송신호가 약하므로 표적을 안정적으로 추적하기 어렵고, 이에 따라 표적을 손실할 확률이 증가하게 된다. 반면에 매우 근거리에서 표적을 인수 받을 경우에는 조기 경보 레이더의 위치와 성능에 따라 표적에 대한 추적 정밀도가 감소할 수 있으며, 대공 레이더는 표적의 위협에 대응할 수 있는 시간을 확보할 수 없게 된다.

이러한 다층방어 시스템의 특성이 있기 때문에, 대공 레이더의 탐지 성능을 고려하여 최대 인수거리를 설정하고, 위협에 대응하기 위한 시간적 여유를 고려하여 최소

인수거리를 설정할 필요가 있다. 최대/최소 인수거리 사이에서의 표적 인계 시점은 표적 손실에 직접적으로 영향을 미칠 수 있는 추적 성능에 의해 결정될 수 있다.

추적 성능을 기반으로 표적의 인계 시점을 결정하기 위해서는 각 레이더에서 표적의 추적성능을 예측하는 과정이 필요하다. 조기 경보 레이더는 표적의 추정 정보를 활용하고, 대공 레이더는 조기 경보레이더에서 해당 표적의 정보를 넘겨받아 식 (1)을 통해 좌표 변환된 정보를 활용하여 추적성능을 예측한다. 이를 통해 조기 경보 레이더 대신에 대공 레이더가 추적 임무를 수행하면 추적 성능(정밀도)이 향상된다고 판단되는 시점에 표적 인계 임무를 수행하는 것이다. 추적성능은 직접적으로 빔을 주사하여 측정하는 거리 및 각도의 추정 오차를 통해 정의하며, 그 식은 아래와 같다.

$$\text{추적 성능} = \frac{1}{W_r \times \sigma_r / n_r + W_a \times \sigma_a / n_a} \quad (3)$$

여기서  $W_r$ 과  $W_a$ 는 각각 거리 및 각도 오차에 대한 가중치를 의미하며, 사용자가 조절할 수 있는 값이다.  $\sigma_r$ 과  $\sigma_a$ 는 거리/각도 추정 오차를 나타내는데, 단위가 상이하므로 정규화를 필요로 한다.  $n_r$ 과  $n_a$ 는 거리와 각도 오차의 정규화 계수를 나타낸다.

거리와 각도 오차는 기대 추적성능 산출 기법<sup>[7]</sup>을 통해 현재 표적의 상태추정 정보 및 장기적 관점에서의 자원 할당량을 활용하여 예측하는 것이 가능하다. 이에 대해서는 2-2절에서 설명한다.

### 2-2 기대 추적 성능 산출

본 연구에서 제안하는 표적 인계 시점 결정 기법은 추적 성능의 예측을 필요로 한다. 참고문헌 [7]에 의하면, 다기능 레이더에서 특정 임무에 일정한 자원량을 장기적으로 할당하는 경우, 표적과 레이더간의 다른 조건이 동일할 때 표적 평균 추적 성능 또한, 특정한 수준으로 안정하게 유지되는 경향을 보인다. 따라서 추적이 안정화된 상태에서 시간 자원 분배량에 따른 평균 추적 성능은 사전에 데이터베이스를 구축하여 활용할 수 있다.

이 기법은 우선 레이더가 처리하는 여러 임무에 분배된 시간 자원을 장기적으로 평가하기 위해서, 아래와 같

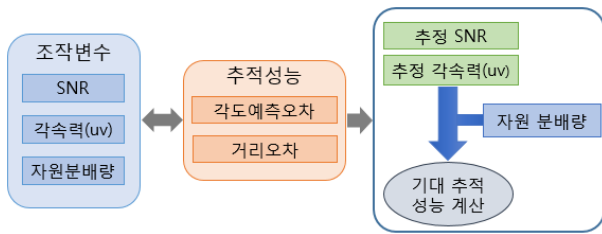


그림 3. 기대 추적성능 산출기법 구성도  
 Fig. 3. The structure for the estimation of target tracking performance.

은 식을 통해 임무 부하를 정의한다.

$$\text{임무 부하(자원)} = \frac{\text{임무 소요시간}}{\text{임무 반복주기}} \quad (4)$$

여기서 임무 반복주기는 추적 및 영역 탐색임무의 수행 주기를 나타낸다.

이후 추적 성능산출에 적합한 고속표적의 표준 운동 모델을 정의하고, 거리 및 각도정확도에 주요 영향을 미치는 빔 중심에서의 반송신호강도 SNR, uv 평면상의 각속력, 자원 분배량을 조작변수로 정의하여 Monte Carlo 시뮬레이션을 수행한다. 그리고 시뮬레이션 결과를 통해 추적이 안정화된 상태에서의 오차를 평균하여 데이터베이스를 구축하는 것이다. 그림 3은 이러한 기대 추적성능 산출 기법의 전체 개념도를 나타낸다.

이층 방어 시스템을 구성하는 각각의 레이더는 제원 및 특성이 다르므로 데이터베이스를 별도로 구성할 필요가 있다. 구성된 데이터베이스를 검증하기 위하여, 고속 표적 추적시에 시변하는 SNR과 표적의 uv 평면상의 각속도에 따라 고정된 추적 임무 부하를 할당하였을 경우의 추적 정밀도를 순람표를 통해 계산하는 시뮬레이션을 수행하였다.

레이더의 표적 탐지와 측정치 생성에는 참고문헌 [1]과 동일한 모델을 사용하였다. 레이더에서 측정치의 질을 결정하는 가장 큰 요소는 표적으로부터의 반송신호강도(SNR)이다. AESA에서는 빔 방향이 전환을 각 array element의 위상차 등을 변경하여 수행한다. 위상 차이에 의한 간섭과 element 간의 비등방성으로 far-field에서 배열 수직축에 대한 각도에 따라 전기장의 세기가 변하게 되는데, 이 효과를 element pattern과 array factor로 구분할 수

있다. 본 연구에서는 이 효과를 통상의 레이더 방정식에 포함한 SNR 식을 사용하였다<sup>[11]~[18]</sup>.

SNR에 따른 표적의 탐지확률은 표적 RCS의 통계적 모델링에 따라 근사식을 활용할 수 있다<sup>[9]~[12]</sup>. 고속표적은 반송신호의 우월한 산란점이 존재하고, 기동이 느리다고 판단하여 Swerling III형을 가정하였다.

고속 표적 추적에 대응하기 위한 레이더에서 측정하는 표적의 정보는 표적과의 상대거리와 레이더 좌표계에서 정의된 방위각 및 고도각이다. 표적의 측정치는 실제 값에 백색 Gaussian 잡음을 더하여 생성되는 것으로 가정하였다<sup>[9]</sup>. 또한, 추적 필터로 등가속 운동 모델을 이용하는 EKF(extended Kalman filter)<sup>[13],[14]</sup>를 사용하였다.

조기 경보 레이더와 대공 레이더는 각기 다른 지정된 위치에서 독립적으로 운용되는 것으로 가정하였다. 독립적 운용은 표적 인계 기능이 없고, 자체 탐색 기능을 통해 표적을 획득하고 추적하는 것을 의미한다.

그림 4와 5는 각각 조기 경보 레이더와 대공 레이더에서 일정한 자원량을 추적 임무에 할당하였을 때, 100번의 Monte Carlo 시뮬레이션을 통해 얻은 각도 및 거리 추정 오차를 1초 간격으로 평균한 결과를 나타낸다. 이를 보면 거리 오차의 경우, 앞서 구성한 데이터베이스에서 읽어 들인 오차가 시뮬레이션을 통해 얻은 평균 오차와 전체 추적 시간대에서 근사적으로 일치함을 확인할 수 있다.

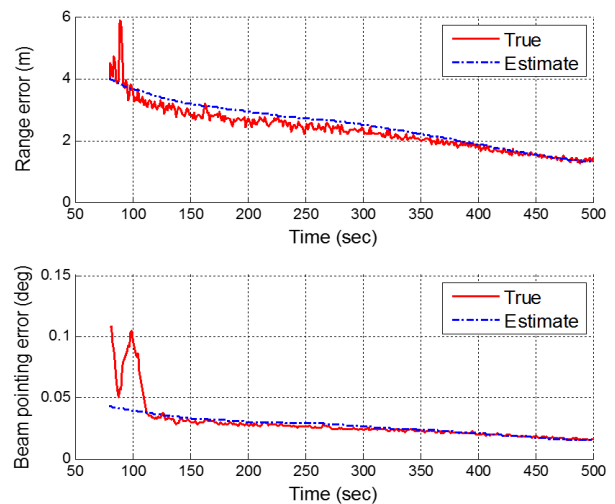


그림 4. 조기 경보 레이더에서의 표적 추정 오차  
 Fig. 4. Averaged variation of estimation errors in EWR.

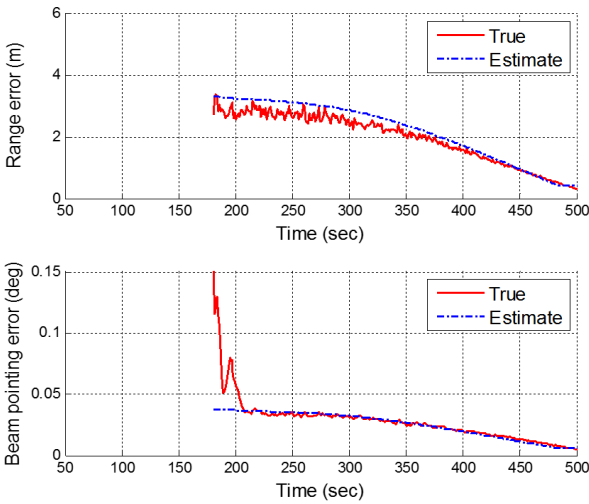
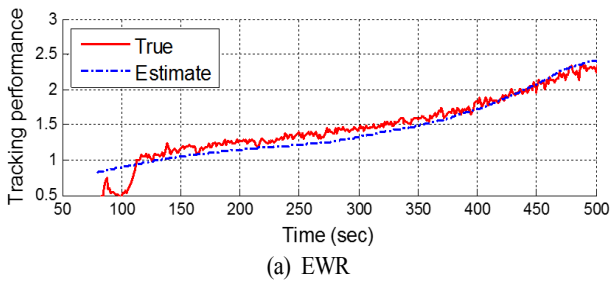
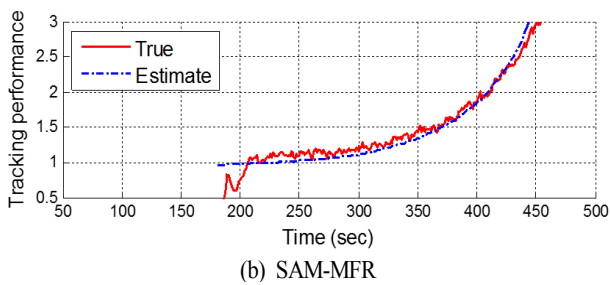


그림 5. 대공 레이더에서의 표적 추정 오차  
Fig. 5. Averaged variation of estimation errors in SAM-MFR.

각도 예측 오차는 추적 필터의 표적 속도 추정 정보를 활용하여 빔을 계획하였을 시, 표적과 빔 중심 간의 각도 차이를 의미하는데, 추적 필터가 충분히 수렴할 때까지는 비교적 큰 차이를 보이지만, 이후 데이터베이스를 통한 예측 결과와 일정 수준 내에서 일치하는 것으로 나타난다.



(a) EWR



(b) SAM-MFR

그림 6. 시간에 따른 추적 성능 변화  
Fig. 6. Variation of tracking performances.

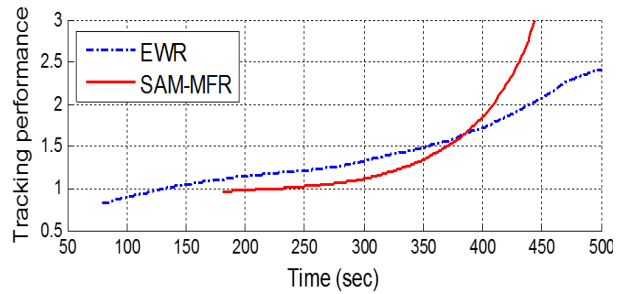


그림 7. 시간에 따른 추적 성능 변화  
Fig. 7. Variation of estimated tracking performances.

위의 결과를 바탕으로 거리와 각도 오차를 4 m와 0.03 deg로 정규화하고, 각각 50 %의 가중치를 적용하여 얻은 실제 추적 성능 및 추적 성능의 예측 결과를 그림 6과 그림 7에 나타내었다. 그림 6을 보면 약 380초에서 실제 추적 성능이 교차하는 것을 확인할 수 있다. 그림 7은 해당 교차 시점의 예측 결과를 나타낸다. 본 연구에서 제안하는 기법은 조기 경보 레이더의 표적 추정 정보를 활용하여 추적 성능의 교차시점을 예측하는 것이다.

### Ⅲ. 시뮬레이션

#### 3-1 시뮬레이션 환경 및 시나리오

고속표적 인계 시점 결정 기법을 검증하기 위해서는 적절한 시뮬레이션 환경 및 시나리오 구성이 필요하다. 우선 레이더들은 완전구체로 가정된 지구 표면상의 지정 위치에서 운용되고 있는 것을 가정하였다. 표 1은 두 가지 시뮬레이션 시나리오 상에서 레이더의 위치와 방위각을 나타낸다.

표 1. 두 가지 시나리오에서의 레이더 위치 및 방위각  
Table 1. Positions and azimuths of radars in two scenarios.

		Latitude (deg)	Longitude (deg)	Azimuth (deg)
Scenario 1	EWR	35.18	129.08	90
	SAM-MFR	37.53	126.96	62
Scenario 2	EWR	35.16	126.90	90
	SAM-MFR	37.53	126.96	62

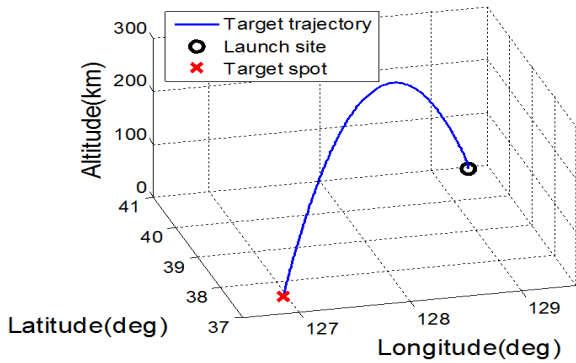


그림 8. LLA 좌표상의 고속표적의 궤적  
Fig. 8. The trajectory of a ballistic target in LLA coordinates.

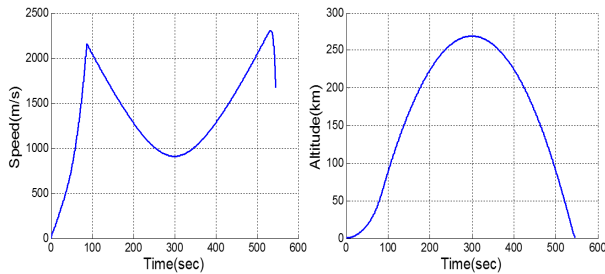


그림 9. 고속표적의 속도 및 고도 변화  
Fig. 9. Variation of the speed and the altitude of the ballistic target.

표적의 최대/최소 인수 거리는 대공 레이더의 탐지 성능 및 교전 통제를 위한 여유 시간을 고려하여 각각 400 km, 200 km로 설정하였으며, 표적의 인계 시점 결정 과정은 2초 간격으로 수행하는 것을 가정하였다.

표적은 사정거리 500 km급 탄도탄을 선정하여 모델링을 수행하였으며, 위도 40.95 deg / 경도 129.32 deg에서 발사되어 대공 레이더가 위치한 곳으로 탄착되도록 하여 앞서 제시한 두 가지 시나리오에 동일하게 적용하였다. 그림 8은 위도-경도-고도 좌표(LLA)에서의 고속표적의 궤적 생성 결과이며, 그림 9는 시간에 따른 표적의 속도 및 고도 변화를 나타낸다.

### 3-2 시뮬레이션 결과

제안 기법이 최적의 인계 시점을 제대로 예측하였는지 확인하기 위해서는 우선적으로 최적의 인계 시점을 찾을

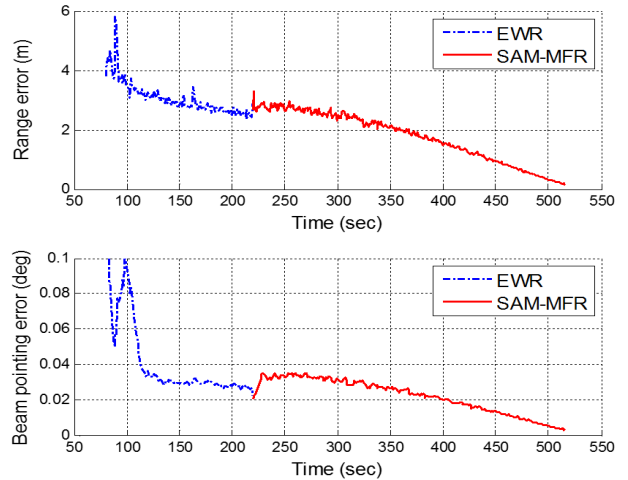


그림 10. 시나리오 1에서의 표적 추정 오차  
Fig. 10. Averaged variation of the estimation error in the scenario 1.

필요가 있다. 식 (4)에서 정의한 추적성능이 최대인 최적 인계 시점을 구하기 위해서 표적 인계 시점을 달리해가며 시뮬레이션을 수행한 후, 각 시점에 대한 거리와 각도 오차를 구해야 한다. 이를 위해 앞서 설명한 최대/최소 표적 인수 거리 사이에서 20 km 간격으로 11개의 거리(시점)를 선택하여 각 시점에 대해 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 10은 시나리오1에서 표적이 대공 레이더로부터 380 km 거리에 진입하였을 때, 표적 인계 임무를 수행하는 것으로 가정하여 300번의 Monte Carlo 시뮬레이션을 수행한 후 1초 간격으로 오차를 평균한 결과를 나타낸다. 두 레이더의 위치, 성능, 시간 자원 할당량 차이에 의해 인계 시점에서 오차간의 차이가 발생함을 확인할 수 있다.

위와 동일한 방식으로 각 인계 시점에 대해 300번의 시뮬레이션을 수행하여 1초 간격으로 오차를 평균한 후, 이를 다시 전체 추적 시간에 대해 평균한다. 이렇게 해서 구한 결과를 곡선 접합하면 최대/최소 표적 인수 거리사이의 연속적인 거리에 해당하는 평균 오차를 근사적으로 구할 수 있다. 그림 11과 12는 시나리오 1상황에서의 표적 인계 시점에 따른 거리와 각도 오차를 나타낸다. 결과를 확인해 보면 거리, 각도 오차가 각각 최소인 인계 시점이 존재하는 것을 알 수 있으며, 인계 시점에 따라 전체

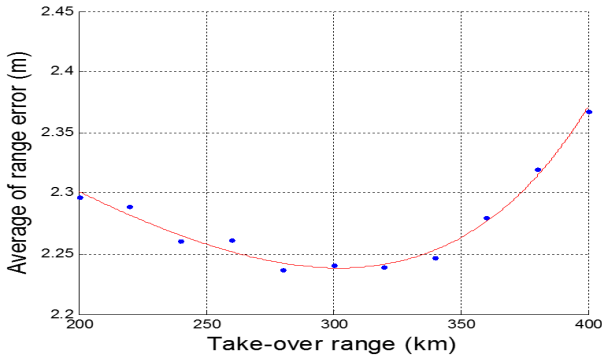


그림 11. 인계 거리에 따른 거리 오차의 평균  
Fig. 11. Average of range error vs. take-over range.

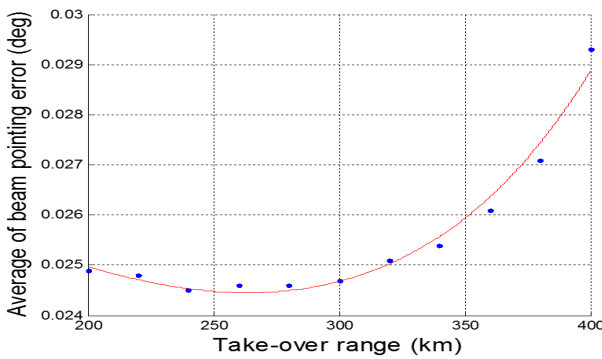
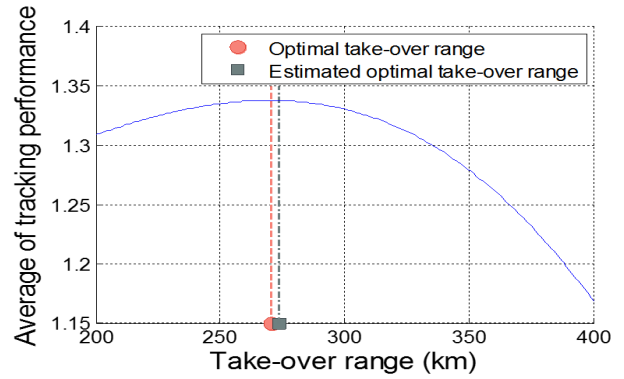


그림 12. 인계 거리에 따른 각도 오차의 평균  
Fig. 12. Average of angle error vs. take-over range.

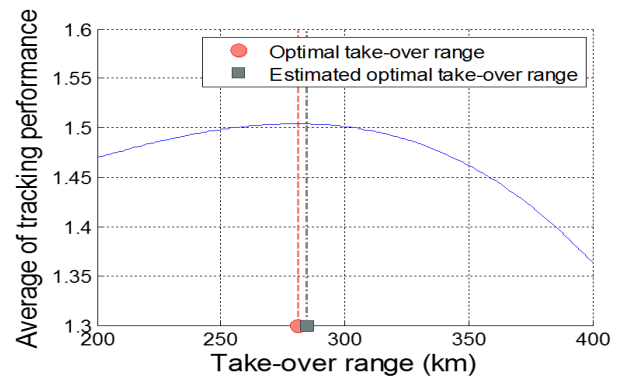
추적 시간 동안 평균적으로 거리오차는 최대 5%, 각도오차는 최대 17%까지 감소시킬 수 있는 것으로 나타난다.

위의 결과를 바탕으로 앞서 제시한 식 (4)의 추적 성능을 계산하기 위해서는 오차를 정규화하고 가중치를 정의할 필요가 있다. 본 시뮬레이션에서는 거리와 각도 오차를 각각 4 m, 0.03 deg로 정규화하고, 몇 가지 가중치를 선정하여 추적성능을 계산하였다. 이렇게 하면 시뮬레이션을 통해 얻은 전체 추적 시간에서의 평균 오차 데이터를 이용하여 추적 성능이 최대인 최적 인계 시점을 근사적으로 찾는 것이 가능하다.

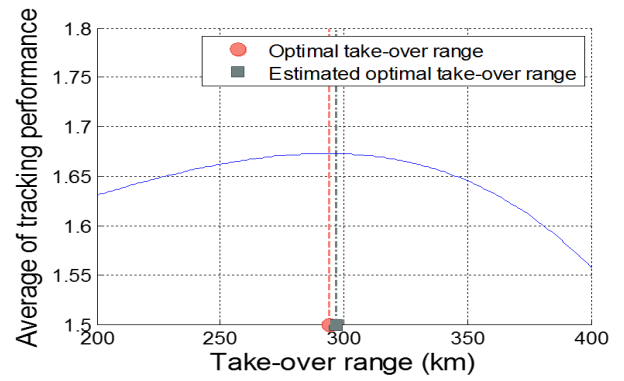
그림 13은 시나리오 1 상황에서 표적 인계 거리에 따른 추적 성능과 본 연구에서 제안한 기법을 통해 예측한 최적 인계 시점을 도시화 한 것이다. 결과에 나타나듯이, 제안 기법을 통해 수 킬로미터의 오차 범위 내에서 최적 인계 시점 예측이 가능한 것을 확인할 수 있다.



(a)  $W_a = 0.8, W_r = 0.2$



(b)  $W_a = 0.5, W_r = 0.5$



(c)  $W_a = 0.2, W_r = 0.8$

그림 13. 가중치에 따른 최적 인계 시점 예측 결과  
Fig. 13. Estimation results for three weighting factor sets.

최종적으로 3-2절에서 구성한 두 개의 시나리오와 몇 개의 가중치에 대한 결과를 표 2에 정리하였다. 모든 경우에 대해 예측된 최적 인계 거리가 실제 최적의 인계 거리와 근사함을 확인할 수 있다.

표 2. 시나리오와 가중치에 따른 인계 거리 예측 결과  
Table 2. Results of take-over range estimation for several scenarios and weighting factors.

	Weight ( $W_a / W_r$ )	Optimal take-over range(km)	Estimated take-over range(km)
Scenario 1	0.8 / 0.2	271	274
	0.5 / 0.5	281	285
	0.2 / 0.8	294	297
Scenario 2	0.8 / 0.2	245	251
	0.5 / 0.5	253	259
	0.2 / 0.8	262	269

#### IV. 결 론

본 논문에서는 고속 표적에 효과적으로 대응하기 위한 다층 방어 레이더 시스템의 특성을 분석하고, 추적 성능의 향상을 도모할 수 있는 표적 인계 시점 결정 기법을 제안하였다. 이 기법은 표적의 상태 추정정보와 표적에 할당된 시간 자원량을 활용하여 다층 방어 시스템을 구성하는 각 레이더들에서의 표적 추적성능을 예측하고, 이를 통해 표적 인계 시점을 결정하는 것이다. 제안 기법을 검증하기 위해 조기 경보 레이더 및 대공 레이더로 이루어진 통합시물레이터 및 검증 시나리오를 구성하였으며, 이를 활용한 시뮬레이션을 통해 추적 성능 예측 기반의 표적 인계 시점 결정 기법을 검증하였다. 제안 기법이 다층 방어 시스템의 표적 인계 의사 결정 도구로써 활용될 수 있을 것이라 기대한다.

#### References

[1] 박정우, 장대성, 최한림, 탁민제, 노지은, 김선주, "항공기용 다기능 레이더 자원 관리자 및 환경 통합 시물레이터", 한국항공우주학회지, 41(7), pp. 577-587, 2013년 7월.  
 [2] J. M. Butler, "Tracking and control in multi-function radar", Ph.D. dissertation, University College London, 1998.  
 [3] S. Ghosh, R. Raj Rajkumar, J. Hansen, and J. Lehoczky, "Integrated qos-aware resource management and sched-

uling with multi-resource constraints", *Real-Time Systems*, vol. 33, no. 1-3, pp. 7-46, 2006.  
 [4] S. Miranda, C. Baker, K. Woodbridge, and H. Griffiths, "Knowledge-based resource management for multifunction radar: a look at scheduling and task prioritization", *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 23, no. 1, pp. 66-76, 2006.  
 [5] 박순서, 장대성, 최한림, 김은희, 유동길, 이종현, 선웅, "고속 표적 대응을 위한 다기능 레이더의 탐색 및 표적 인수 최적화 기법 연구", 한국항공우주학회 2015 춘계학술대회, pp. 672-675, 2015년 4월.  
 [6] 장대성, 박순서, 최한림, 유동길, 이종현, 선웅, "고속 표적 추적을 위한 다기능 레이더에서 추적 초기화 기능의 필요성과 특성 분석", 한국항공우주학회 2014추계학술대회, pp. 773-776, 2014년 11월.  
 [7] 장대성, 박순서, 조두현, 최한림, 유동길, 이종현, 선웅, "다기능 레이더의 효율적 자원분배를 위한 기대 추적 성능 산출기법 연구", 한국항공우주학회 2015춘계학술대회, pp. 676-679, 2015년 4월.  
 [8] M. Skolnik, *Radar Handbook*, 3rd Ed., ser. Electronics electrical engineering, McGraw-Hill, 2008.  
 [9] M. Sankaran, "Approximations to the non-central chi-square distribution", *Biometrika*, vol. 50 pp. 199~204, 1963.  
 [10] D. A. Shnidman, "Determination of required SNR values [radar detection]", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 38, no. 3, pp. 1059-1064, 2002.  
 [11] D. O. North, "An analysis of the factors which determine signal/noisediscrimination in pulsed carrier systems", *Proceedings of the IEEE*, vol. 51, no. 7, pp. 1015-1027, 1963.  
 [12] D. K. Barton, "Universal equations for radar target detection", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 41, no. 3, pp. 1049-1052, 2005.  
 [13] D. J. Simon, *Optimal State Estimation - Kalman, Infinity, and Nonlinear Approaches*, John & Wiley, 2006.  
 [14] R. A. Singer, "Estimating optimal tracking filter perfor-



mance for manned maneuvering targets", *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 6,

no. 4, pp. 473-483, 1970.

박 순 서



20014년 2월: 한국항공대학교 항공우주공학과 (공학사)  
2016년 2월: 한국과학기술원 항공우주공학과 (공학석사)  
2016년 2월~현재: 한국과학기술원 항공우주공학과 박사과정  
[주 관심분야] 레이더 자원관리, 경로 계획

획

최 한 림



2000년 2월: 한국과학기술원 항공우주공학과 (공학사)  
2002년 2월: 한국과학기술원 항공우주공학과 (공학석사)  
2009년 2월: MIT Aero/Astro (Ph.D.)  
2002년 3월~2004년 7월: PSIA(주)  
2008년 10월~2010년 2월: MIT Aero/

Astro (Postdoctoral Associate)

2010년 3월~현재: 한국과학기술원 항공우주공학과 조교수/부교수

[주 관심분야] 레이더 자원관리, 추정 이론, 협업 제어, 로봇틱스, 최적화

장 대 성



2008년 2월: 한국과학기술원 항공우주공학과 (공학사)  
2015년 8월: 한국과학기술원 항공우주공학과 (공학박사)  
2015년 9월~현재: 한국과학기술원 항공우주공학과 박사후 연구원  
[주 관심분야] 계산 기하학, 복수 에이전트

트 임무 할당/스케줄링, 레이더 자원관리

김 은 희



1997년 3월: 한국과학기술원 정밀공학과 (공학석사)

2004년 8월: 한국과학기술원 기계공학과 (공학박사)

2007년 10월: LIG넥스원 ISR연구센터 수석연구원

2013년 9월~현재: 세종대학교, 국방시스

템공학과 조교수

[주 관심분야] 레이더 신호처리, 레이더 시스템

선 응



1986년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학사)  
1988년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학석사)  
2003년 8월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)  
1988년 2월~2000년 6월: 국방과학연구소

선임연구원

2009년 3월~현재: LIG 넥스원 레이더연구센터 센터장  
[주 관심분야] 레이더, SAR, 신호처리 등

유 동 길



2011년 2월: 한양대학교 전자정보시스템 공학과 (공학사)  
2013년 2월: 한양대학교 전자전기제어계측공학과 (공학석사)  
2013년 1월~현재: LIG 넥스원 레이더연구센터 선임연구원  
[주 관심분야] 레이더, 표적추적시스템설계, 자료결합 및 정보융합

이 종 현



1997년 2월: 부산대학교 전자공학과 (공학사)  
1999년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)  
2005년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)  
2005년 1월~현재: LIG 넥스원 레이더연구센터

수석연구원

[주 관심분야] 레이더, 배열신호처리, 병렬신호처리