

# 향상된 성능의 전술형 모노펄스 MIMO 레이더

안 찬 호\*, 진 현 보\*, 양 장 훈\*\*\*, 박 의 영\*\*, 류 영 재\*\*, 김 동 구°

## On the Performance Enhancement of a Tactical Monopulse MIMO Radar

Chan-ho An\*, Hyun Bo Jin\*, Janghoon Yang\*\*\*, Ui Young Pak\*\*, Young-Jae Ryu\*\*, Dong Ku Kim°

### 요 약

본 논문에서는 지상의 추적 장비들이 무선망으로 연결되어 협력하는 전술형 모노펄스(Monopulse) MIMO 레이더의 성능 향상 기법을 연구하였다. 우선, 기존의 모노펄스 MIMO 레이더에  $\alpha\beta$  필터를 적용하여 각도 다이버시티(Angular Diversity)를 충분히 얻지 못하는 환경에서의 위치추적 성능을 크게 향상시키는 방법을 제안하였다. 또한 필터링 기법과 연계하여 무선망을 이용하는 지상 추적 장비간 피드백(Feedback)을 줄일 수 있는 기법을 제안하였다.

**Key Words** : coordinated tracking, monopulse, MIMO radar,  $\alpha\beta$  filter, target localization

### ABSTRACT

In this paper, we proposed an enhanced monopulse MIMO radar system for the tactical scenario where the ground receivers are connected wireless backhaul and closely spaced. By applying the  $\alpha\beta$  filter to the conventional monopulse MIMO radar, we show that the localization performance can be improved significantly. We also propose an efficient localization algorithm for a system with lower rate feedback. Using numerical simulations, we demonstrate that the proposed scheme can improve the localization performance while reducing the feedback over conventional scheme.

### I. 서 론

비교적 최근까지 레이더 시스템은 인접한 안테나 배열에 상관도가 높은 신호를 전송/수신하는 위상 배열(Phased Array) 방식 또는 빔 형성(Beam forming) 방식<sup>[1]</sup>으로 신호를 집중/최대화 하는 방식이 선호되었다. 최근에는 넓게 분포한 안테나로부터 생기는 다이버시티 이득으로부터 페이딩으로 인한 성능저하를 완화하며, 타겟 검출 능력을 향상 시킬

수 있는 MIMO (Multiple-Input Multiple- Output) 레이더<sup>[2]</sup>의 개념이 제안되어 많은 연구가 진행되고 있다<sup>[4]</sup>. 따라서 다이버시티 이득을 통해 MIMO 레이더의 타겟 검출 성능은 높은 SNR (Signal-to-Noise Ratio) 영역에서 기존의 위상 배열 레이더보다 우수하다. 반면 낮은 SNR 영역에서는 어레이 이득을 갖는 위상 배열 레이더가 우수한 성능을 나타낸다<sup>[3]</sup>. 또한 MIMO 레이더와 위상 배열 레이더를 결합시킨 지향성 MIMO 레이더(Directional MIMO

※ 본 연구는 국방과학연구소의 지원으로 수행되었음. (영상정보용 공용데이터링크의 주파수 공유 기술구조 및 성능분석)

※ 본 연구의 일부 내용은 MILCOM2012 프로시딩에 게재됨[7].

◆ 주저자 : 연세대학교 전기전자공학과 이동통신연구실, chanhoa@yonsei.ac.kr, 정회원

◦ 교신저자 : 연세대학교 전기전자공학과 이동통신연구실, dkkim@yonsei.ac.kr, 중신회원

\* 연세대학교 전기전자공학과 이동통신연구실, jinhb1@yonsei.ac.kr

\*\* 국방과학연구소 제2기술연구본부 3부, puy@add.re.kr, yjryu@add.re.kr, 정회원

\*\*\* 한독미디어대학원대학교 뉴미디어학부, jhyang@kgit.ac.kr, 중신회원

논문번호 : KICS2012-11-546, 접수일자 : 2012년 11월 23일, 최종논문접수일자 : 2012년 12월 10일

Radar)는 다이버시티 이득과 어레이 이득간의 트레이드 오프(Trade-off)가 필요하지만, 실제 레이더의 동작범위에서는 타겟 검출능력이 가장 우수하게 나타난다<sup>[5]</sup>.

레이더 시스템에서 타겟을 검출한 이후에 타겟의 위치를 식별(Localization)하기 위한 알고리즘이 필요하다. MIMO 또는 지향성 MIMO 레이더의 경우 각 수신기에서의 위상차 정보를 이용하는 동기식 방식을 필요로 하는데, 넓게 분포한 수신 안테나 사이의 시간/위상 동기를 맞추는 데에는 많은 제약이 따르게 된다. 최근 이러한 동기화 과정이 필요 없는 모노펄스(Monopulse) MIMO 레이더가 제안되었다<sup>[6]</sup>. 모노펄스 MIMO 레이더는 지향성 레이더<sup>[5]</sup>와 같이 MIMO 레이더의 각 수신단에 위상배열 안테나를 조합한 형태로, 모노펄스로 각도를 추정하고 추정된 각도를 조합한다. 그 후 각 수신단에서 추정된 각도는 퓨전센터(Fusion Center) 또는 대표되는 수신단으로 전송되고, 각각의 각도 정보를 조합하여 타겟의 위치를 식별하게 된다. 따라서 (지향성) MIMO 레이더의 공간 다이버시티 이득과 모노펄스를 통한 타겟의 각도 및 위치 식별 능력을 모두 갖게 된다. 모노펄스 수신기의 성능은 위상배열 어레이의 개수와 수신 SNR 등에 영향을 받는데, 낮은 SNR 또는 적은 어레이 개수로 인한 낮은 빔 해상도에서는 각도 추정 오차가 커지게 된다. 또한 각 모노펄스 수신기 사이의 거리가 가까워지면, 각도 다이버시티를 얻지 못해 최종 타겟의 위치 식별 성능도 낮아지게 된다.

본 논문에서는 이러한 환경을 뒷받침하는 전술형 모노펄스 MIMO 레이더를 가정하였다. 즉, 레이더의 위치가 미리 고정되어 있지 않고, 상황에 따라 유동적으로 이동성이 보장되어 무선망을 통해 협력하는 환경이다. 이러한 환경에서 모노펄스 MIMO 레이더에  $\alpha\beta$  필터를 적용하여 위치식별 성능을 향상시킬 수 있는 방법을 연구하였다. 또한 필터링 기법과 연계하여 무선망에서 피드백을 줄일 수 있는 위치식별 기법을 제안하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저, II장에서는 레이더 신호모델을 살펴보고, III장에서는 기존의 모노펄스 MIMO 레이더 방식을 설명한다. IV장에서는 기존 모노펄스 MIMO 레이더에서 성능이 향상되고 피드백을 줄일 수 있는 방식을 제안한다. V장에서는 성능평가를 위한 임의의 환경을 가정하고, 제안된 방식의 성능을 확인하였으며, 최종적으로 VI장에서 연구 결과를 정리한다.

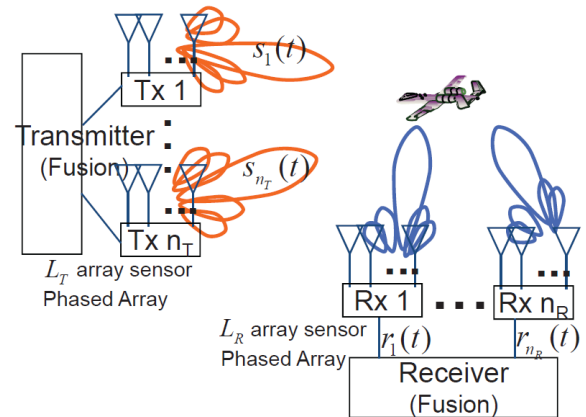


그림 1. 지향성 MIMO 레이더 시스템  
Fig. 1. Directional MIMO Radar System

## II. 레이더 신호 모델

그림 1에 나타난 바와 같이 지향성 MIMO 레이더는  $L_T$ 개의 위상 배열 소자로 송신 빔 형성을 하며, 넓게 분포한  $n_T$ 개의 개별 빔은 개별적인 직교 파형을 전송하게 된다. 마찬가지로 수신단에서는  $L_R$ 개의 위상 배열 소자로 수신 빔 형성을 하여  $n_R$ 개의 빔으로 수신하게 된다. 타겟의 위치와 송신 안테나 빔 방향이 일치하는 경우에  $L_T$ 배의 이득을 얻을 수 있다. 각 송신 빔에서 송신하는 신호벡터를  $\mathbf{s}(t) = [s_1(t), \dots, s_{n_T}(t)]^T$ 라 하면,  $i$ 번째 수신 안테나 빔을 형성하는 위상 배열 소자들이 수신하는 신호벡터  $\mathbf{r}(t)$ 는 수식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{r}_i(t) = L_T \sqrt{\frac{E_s}{n_T L_T}} \mathbf{a}(\theta_i) \mathbf{a}^H \mathbf{s}(t - \tau) + \mathbf{n}(t), \quad (1)$$

여기서  $n_T \times 1$  채널 벡터  $\mathbf{a}$ 는 분산이 1인 복소 가우시안 랜던 변수들로 구성되어 있으며,  $\mathbf{n}(t)$ 는 복소 가산성 백색 가우시안 잡음으로 평균이 0이고, 분산은  $\sigma_n^2$ 을 가지고,  $E_s = E[\mathbf{s}(t)^H \mathbf{s}(t)]$ 는 송신 신호전력을 나타낸다. ( $(\cdot)^T$ 와  $(\cdot)^H$ 는 전치(Transpose)와 복소공액 전치(Hermitian Transpose)를 나타내는 기호로 사용한다)

마찬가지로  $i$ 번째 수신 안테나 빔을 형성하는  $L_R$ 개의 위상 배열 소자들을 통해 수신 빔 형성을 하면, 어레이 이득을 얻을 수 있다. 타겟의 위치와 수신 빔의 방향이 일치하는 경우, 수식 (1)은 수식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} r_i(t) &= \mathbf{a}(\hat{\theta}_i) \mathbf{r}_i(t) \\ &= L_R L_T \sqrt{\frac{E_s}{n_T L_T}} \boldsymbol{\alpha} s(t-\tau) + n(t), \end{aligned} \quad (2)$$

보다 자세한 신호 모델은 [2]와 [5]에 나타나 있다.

### III. 모노펄스 MIMO 레이더

모노펄스는 타겟 신호의 각도 정보를 추정할 수 있는 신호처리 기술이다. 본 논문에서는 합( $\mathbf{w}_\Sigma$ )과 차( $\mathbf{w}_\Delta$ ) 빔 가중치를 사용하는 진폭비교방식의 모노펄스 수신기를 고려한다.

빔 형성 조향(Steering) 벡터는 타겟과의 각도  $\theta_i$ 에 대한 복소 진폭 프로파일(Complex Amplitude Profile)로 정의된다. 예를 들어 타겟이 다음과 같은 지향벡터를 가진다고 하자.

$$\mathbf{d}(\theta_i, f_c) = \begin{bmatrix} 1 \\ \exp(j2\pi d \sin(\theta_i)/\lambda) \\ \vdots \\ \exp(j2\pi d(L_R - 1) \sin(\theta_i)/\lambda) \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서  $d$ 와  $\lambda$ 는 어레이간의 간격과 주파수  $f_c$ 에 따른 파장을 나타낸다.

각 수신단에서는 중심 방향으로부터  $\pm \theta_s/2$  방향을 지향하는 두 개의 이중 빔을 형성한다.  $i$ 번째 수신 안테나에의 좌, 우 두 개의 빔을  $\mathbf{w}_i^l$ 와  $\mathbf{w}_i^r$ 이라 표기하면, 두 빔의 가중치(weight)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{w}_i^l = \mathbf{d}(\theta_i^0 - \theta_s/2, f_c) \quad (4)$$

$$\mathbf{w}_i^r = \mathbf{d}(\theta_i^0 + \theta_s/2, f_c) \quad (5)$$

여기서  $\theta_i^0$ 는  $i$ 번째 수신기가 지향하는 중심 방향을 나타낸다. 수식 (4)와 (5)의 가중치를 이용하여 합 빔( $\mathbf{w}_i^\Sigma = \mathbf{w}_i^l + \mathbf{w}_i^r$ )과 차 빔( $\mathbf{w}_i^\Delta = \mathbf{w}_i^l - \mathbf{w}_i^r$ )을 나타낼 수 있으며, 모노펄스 비율(Monopulse Ratio)를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$q_i(\theta_i) = \mathbf{w}_i^\Delta \mathbf{d}(\theta_i, f_c) / \mathbf{w}_i^\Sigma \mathbf{d}(\theta_i, f_c) \quad (6)$$

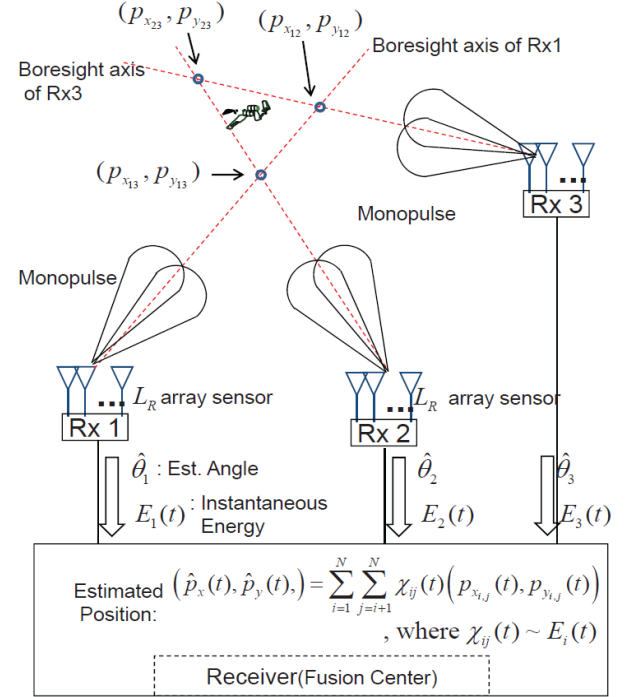


그림 2. 모노펄스 MIMO 레이더 수신기 구조  
Fig. 2. Monopulse MIMO radar Receiver

수식 (6)에 대한 Look-up 테이블을 통해, 수신 신호 (1)에 대한 각도 추정( $\hat{\theta}_i$ )은 다음과 같이 할 수 있다.

$$\hat{\theta}_i = q_i^{-1}(\text{Re}[\mathbf{w}_i^\Delta \mathbf{r}_i / \mathbf{w}_i^\Sigma \mathbf{r}_i]) \quad (7)$$

이후, 각 수신단에서는 추정된 타겟 각도( $\hat{\theta}_i$ )와 순시전력(Instantaneous Energy:  $E_i(t)$ )을 퓨전센터로 보내게 된다. 이러한 정보를 수집한 퓨전센터는  $n_R(n_R - 1)/2$ 개의 각도 교차점( $p_{x_{ij}}(t), p_{y_{ij}}(t)$ )을 형성하고, 순시 전력( $E_i(t)$ )을 이용하여 최종 타겟의 위치( $\hat{p}_x(t), \hat{p}_y(t)$ )를 다음과 같이 결정하게 된다.

$$(\hat{p}_x(t), \hat{p}_y(t)) = \sum_{i=1}^{n_R} \sum_{j=i+1}^{n_R} \chi_{ij}(t) (p_{x_{ij}}(t), p_{y_{ij}}(t)) \quad (8)$$

여기서 각 교차점에 대한 가중치  $\chi_{ij}(t)$ 는 순시 전력( $E_i(t)$ )에 대한 비율로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\chi_{ij}(t) = \frac{E_i(t) + E_j(t)}{\sum_{i'=1}^{n_R} \sum_{j'=1}^{n_R} E_{i'}(t) + E_{j'}(t)} \quad (9)$$

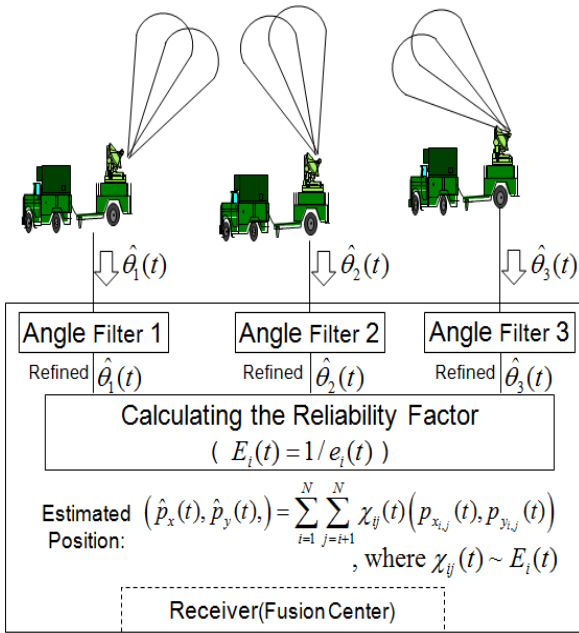


그림 3. 제안된 모노펄스 MIMO 레이더 수신기 구조  
Fig. 3. Proposed Monopulse MIMO Radar Receiver

여기서 각 수신단으로 부터의 순시전력( $E_i(t)$ )은 다음과 같다.

$$E_i(t) = |(\mathbf{w}_i^T \mathbf{r}_i(t))| \quad (10)$$

#### IV. 제안된 모노펄스 MIMO 레이더

본 장에서는 기존의 모노펄스 MIMO 레이더의 위치식별 성능을 향상시키며, 무선망에서 피드백을 줄일 수 있는 위치식별 기법을 제안하였다. 특히, 낮은 SNR로 인해 각도 추정 오차가 큰 경우와, 각도 다이버시티를 얻기 힘든 경우, 타겟 위치 식별에 큰 이득을 얻을 수 있는 기법이다. 제안된 방식은 수식 (3)-(7)까지의 기존 모노펄스 MIMO 레이더와 동일한 방식을 가지며, 수식 (7)에서 추정된 타겟 각도( $\hat{\theta}_i$ )는 퓨전센터로 보내진다. 이 때, 기존 방식과는 다르게 순시전력( $E_i(t)$ )의 정보는 전송되지 않는다. 즉, 순시전력에 대한 피드백을 없앴으로서 그림 3에서와 같이 유동적이며 무선으로 연결된 전술형 시스템에 유용한 장점을 갖는다.

먼저 각 수신단에서 추정한 각도는  $\alpha\beta$  필터를 통해 보정을 하게 된다. 또한 필터링 과정으로부터 순시전력을 대체하기 위한 신뢰도 인자를 적용하여 타겟의 위치를 추정하게 된다. 본 장에서는 제안된 방식의 주요 메커니즘인  $\alpha\beta$  필터와 신뢰도 인자에

대해 설명한다.

##### 4.1. $\alpha\beta$ 필터링

$\alpha\beta$  필터는 수식 (7)에서의 추정된 현재 타겟 각도( $\hat{\theta}_i(t)$ )를 이전 샘플시간에서의 추정 값( $\hat{\theta}_i(t-1)$ )을 토대로 보정하는 역할을 수행한다.  $\alpha\beta$  필터에 근거하여 본 연구에서 사용하는  $i$ 번째 수신기의 각도 필터의 한 주기는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{\mathbf{s}}_i(t|t-1) = \Phi \hat{\mathbf{s}}_i(t-1|t-1) \quad (11)$$

$$e_i(t) = \hat{\theta}_i(t) - \mathbf{A} \hat{\mathbf{s}}_i(t|t-1) \quad (12)$$

$$\hat{\mathbf{s}}_i(t|t) = \hat{\mathbf{s}}_i(t|t-1) + \mathbf{K}_i e_i(t) \quad (13)$$

여기서  $\hat{\mathbf{s}}_i(t|t) = [\hat{\theta}_i(t), \nu_i(t)]^T$ 는 필터링 모델의 상태추정(state estimate)이고  $\nu_i(t)$ 는 필터링 모델에 의해 추정된 각속도이다. 또한 상태추정 행렬(State transition matrix)  $\Phi$ 와 측정 행렬(Measurement matrix)  $\mathbf{A}$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A} = [1 \ 0] \quad (14)$$

여기서  $T$ 는 레이더의 스캔 주기이며, 필터 계수  $\mathbf{K}_i = [\alpha \ \beta]^T$ 는 필터인자  $\xi$  ( $0 \leq \xi \leq 1$ )에 의해 다음과 같이 주어진다.

$$\alpha = 1 - \xi^2, \quad \beta = (1 - \xi)^2 \quad (15)$$

##### 4.2. 신뢰도 측정

제안된 모노펄스 MIMO 레이더는 각 수신기로부터 각도 정보만을 퓨전센터로 피드백한다. 기존 방식에서는 순시전력에 대한 정보를 함께 피드백하며, 각 수신기 각도의 꼭지점에 가중치를 순시전력에 대한 비율로 정하여 최종 타겟의 위치를 추정하였다. 이러한 순시전력에 대한 정보를 피드백하지 않는 제안된 방식에서는 가중치를 정하는 새로운 방식이 필요하다. 본 소장에서는 필터링과 연계하여 가중치를 정하고 최종 위치를 결정하는 방법을 제시한다.

수식 (12)의  $e_i(t)$ 는 현재의 측정된 각도( $e\hat{\theta}_i(t)$ )와 이전 샘플정보를 통해 예측된 각도( $\mathbf{A} \hat{\mathbf{s}}_i(t|t-1)$ )의 차이를 나타낸다. 현재의 측정된 신호가 필터링

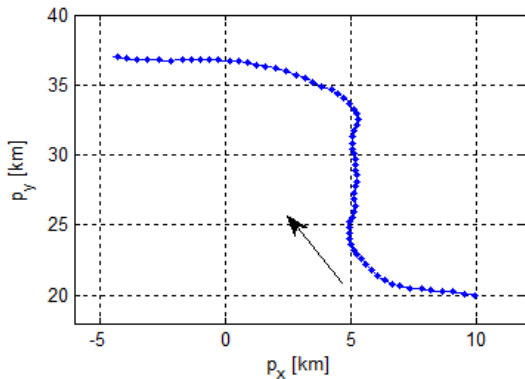
자체에서 모델링한 신호와의 신뢰도를 나타내어준다. 만일  $e_i(t)$ 의 차이가 크게 나타나면, 필터링 모델에서 가지고 있는 움직임 정보와 측정된 움직임 정보가 상이하게 나타나는 것이다. 이러한 현상은 측정값이 잡음의 영향을 크게 받은 결과로  $e_i(t)$ 는 순시전력과 역수의 관계로 나타낼 수 있다. 따라서 수식 (9)와 (10)에서의 순시전력으로 사용된  $E_i(t)$  값을 다음과 같이 변형할 수 있다.

$$E_i(t) = 1/(e_i(t) + \epsilon) \quad (16)$$

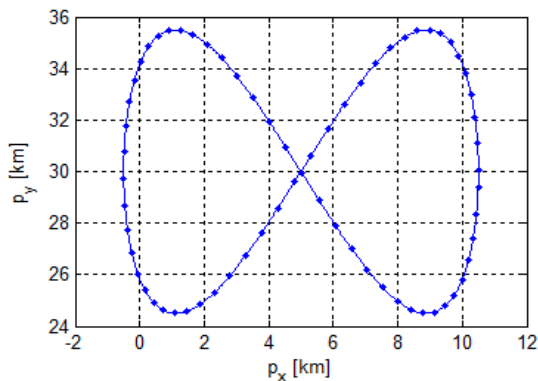
여기서  $\epsilon$ 은  $E_i(t)$ 가 무한대로 발산하는 것을 막기 위한 임의의 작은 실수이다.

### V. 시뮬레이션 결과 및 성능 비교

본 장에서는 제안된 방식과 기존 방식의 모노펄스 MIMO 레이더의 성능을 비교한다, 실험환경은 4개( $L_T=4$ )의 위상 배열 소자로 송신 빔을 형성하는 2개( $n_T=2$ )의 전송 안테나에서 신호를 전송한다. 수



(a) 'ㄱ' 이동 궤적



(b) '8' 이동 궤적

그림 4. 타겟의 이동경로  
Fig. 4. Target Trajectory

신 안테나는 총 3개( $n_R=3$ )로 10개( $L_R=10$ )의 위상 배열 소자로 모노펄스 빔을 형성한다. 모노펄스 수신기는 5km간격으로 [0,0], [5,0km], [10,0km]에 위치하고 있으며, 모노펄스 좌-우 두 빔은 지향 방향을 중심으로 5°씩 벌어져 있다(즉,  $\theta_s = 10^\circ$ ). 그림 4에 나타낸 바와 같이, 타겟은 'ㄱ' 이동 궤적과 '8' 이동 궤적(평균속도: 186km/h, 최고속도: 1000샘플 사용 하였으며, 신호대 잡음 비율은 SNR=10dB를 가정하였다. 또한 'ㄱ' 이동 궤적에서는 필터 인자  $\xi$ 는 0.97을 사용하였으며, '8' 이동 궤적에서는 0.95를 사용하였다.

표 1. 'ㄱ' 이동 궤적에서 Outage 확률에 대한 위치추적 오차 [단위: km]

Table 1. Outage Localization Performance for 'ㄱ'-shape trajectory [Unit: km]

Outage Prob.	Conventional Monopulse	Monopulse with Filtering	Proposed Scheme
0.1 %	6.92	0.93	0.93
0.2 %	5.98	0.85	0.85
0.5 %	4.81	0.75	0.74
1 %	3.92	0.66	0.66
2 %	3.06	0.58	0.58
5 %	2.03	0.47	0.47
10 %	1.39	0.38	0.38
20 %	0.89	0.31	0.31
50 %	0.36	0.20	0.20

표 2. '8' 이동궤적에서 Outage 확률에 대한 위치추적 오차 [단위: km]

Table 2. Outage Localization Performance for '8'-shape trajectory [Unit: km]

Outage Prob.	Conventional Monopulse	Monopulse with Filtering	Proposed Scheme
0.1 %	6.12	1.24	1.23
0.2 %	5.34	1.14	1.13
0.5 %	4.37	1.00	0.99
1 %	6.65	0.90	0.89
2 %	2.90	0.79	0.78
5 %	1.99	0.64	0.64
10 %	1.37	0.53	0.53
20 %	0.88	0.41	0.41
50 %	0.38	0.23	0.23

표 1은 '7c' 이동 궤적에서 기존 위치추적 방법(기존 모노펄스)과 기존 방법에 필터링을 적용한 방식(모노펄스+필터링), 그리고 필터링과 신뢰도를 사용하는 방법(모노펄스+필터+신뢰)을 적용한 경우의 위치추적 오차를 각 Outage에 대해 나타내었다. 기존 모노펄스 MIMO 레이더에  $\alpha\beta$  필터를 적용하는 방법으로 타겟 위치추정 성능이 크게 향상되는 것을 볼 수 있다. 낮은 Outage 확률에서의 위치추정의 성능 차이가 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 50%의 Outage에서는 필터링의 유무에 대한 위치추정 오차가 약 0.16km 나타나지만, 0.1%의 Outage에서는 6km 가까이 위치추정오차가 발생하는 것을 알 수 있다. 또한 순시전력에 대한 피드백없이 신뢰도 측정방식을 사용하는 경우에도 기존의 방식에 필터링을 적용한 것과 동일한 성능을 나타내는 것을 알 수 있다.

표 2는 '8' 이동 궤적에서 위치추적오차를 Outage로 나타내었다. 보다ダイナミック한 이동궤적으로 인해 낮은 Outage에서 필터링으로 인한 효과가 다소 약해졌지만, 이러한 환경에서도 제안된 알고리즘으로 인한 이득이 크게 작용하는 것을 알 수 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 지향성 MIMO 레이더의 특성을 갖는 모노펄스 MIMO 레이더의 성능향상에 대한 연구를 하였다. 우선, 타겟의 위치 추정을 보정하기 위해  $\alpha\beta$  필터를 적용하여 기존 레이더 방식보다 Outage발생 확률을 크게 낮출 수 있는 방식을 제안하였다. 또한 기존 모노펄스 MIMO 레이더에서 요구되던 피드백 정보를 줄이면서도, 동일한 성능을 보일 수 있는 방식을 제안하였다. 본 연구에서 제안한 방식은 수신 레이더가 무선으로 연결되어, 거리와 피드백이 제한되어 있는 환경인 전술형 모노펄스 MIMO 레이더에서 큰 이득을 보일 수 있다.

## 참 고 문 헌

[1] S. Haykin, J. Litva, and T. J. Shepherd, *Rdar Array Processing*, 1st Ed, New York, 1993  
 [2] E. Fishler, A. Haimovich, R. Blum, L. Cimini, D. Chizhik, and R. Valenzuela, "MIMO radar: an idea whose time has come," in *Proc IEEE Intr. Conf. on Radar*, pp. 71-78, Philadelphia, USA, Apr. 2004

[3] E. Fishler, A. Haimovich, R. Blum, L. Cimini, D. Chizhik, and R. Valenzuela, "Spatial diversity in radars-models and detection performance," *IEEE Trans. Signal. Proces.*, vol. 54, no. 3, pp. 823-838, Mar. 2006.  
 [4] J. Li and P. Stoica, *MIMO Radar Signal Processing*, 1st Ed. New York: Wiley, 2009  
 [5] C.-H. An, J. Yang, U.Y. Pak, Y.-J. Ryu, D.C. Han, and D.K. Kim, "Detection Performance of Noncoherent Radar: MIMO Radar, Phased Array Radar, Directional MIMO Radar," *J. KICS*, vol. 36, no. 12, pp. 1752-1757, Dec. 2011.  
 [6] S. Gogineni, and A. Nehorai, "Monopulse MIMO radar for target tracking," *IEEE Trans. Aero Elec Sys.*, vol. 47, no. 1, pp. 755-768, Jan. 2011  
 [7] C. H. An, J. Yang, R. Ran, U. Y. Pak, Y. J. Ryu, and D. K. Kim "Enhanced monopulse MIMO radar using reliable alpha beta filtering," in *Proc. MILCOM 2012*, pp. 425-430, Orlando, USA, Nov. 2012.

### 안 찬 호 (Chan-ho An)



2006년 2월 경희대학교 전자정보학부 (공학사)  
 2008년 2월 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)  
 2008년 3월~현재 연세대학교 전기전자공학과 박사과정  
 <관심분야> MIMO 송수신 기법, Lattice Reduction, 통신신호처리, OFDMA/SC-FDMA, MIMO Radar, 이동체 추적 알고리즘

### 진 현 보 (Hyun Bo Jin)



2012년 8월 연세대학교 전기전자공학과 (공학사)  
 2012년 9월~현재 연세대학교 전기전자공학과 석사과정  
 <관심분야> MIMO 송수신 기법, MIMO Radar, 이동체 추적 알고리즘

**양 장 훈 (Janghoon Yang)**



1996년 2월 연세대학교 전파공학  
학과 (공학사)  
2001년 U.S.C. Dept of Electrical  
Engineering (공학석사)  
2001년 U.S.C. Dept of Electrical  
Engineering (공학박사)  
2001년~2006년 삼성전자 책

임 연구원

2006년~2010년 연세대학교 공과대학 전기전자공학  
부 연구 교수

2010년~현재 한독미디어대학원대학교 뉴미디어학  
부 조교수

<관심분야> CDMA, OFDMA, MIMO, Relay,  
Cross layer optimization, 간섭 채널, 정보이론,  
neural signal processing

**박 의 영 (Ui Young Pak)**



2003년 3월 연세대학교 전기전  
자공학과 (공학박사)  
현재 국방과학연구소  
<관심분야> 이동통신, 데이터  
링크

**류 영 재 (Young-Jae Ryu)**



2000년 2월 경북대학교 전자  
전기공학부 (공학사)  
2002년 2월 경북대학교 전자  
공학과 석사 (공학석사)  
2002년~현재 국방과학연구소  
<관심분야> 대역확산통신, 디  
지털신호처리

**김 동 구 (Dong Ku Kim)**



1983년 2월 한국항공대학교  
통신공학과 졸업  
1985년 U.S.C. Dept. of Elec-  
trical Engineering 석사  
1992년 U.S.C. Dept. of  
Electrical Engineering 박사  
1994년~현재 연세대학교 공

과대학 전기전자공학과 교수

<관심분야> 4세대 이동통신 시스템, 협력 MIMO  
기술, 무선 이동 Relay 기술, Compressed  
Sensing, 차세대 에너지 효율 무선 시스템 기술