

# 잡음 감소 기법을 활용한 레이더의 최대 거리 향상 기법<sup>+</sup>

## (Increment Method of Radar Range using Noise Reduction)

이 동 호<sup>1)\*</sup>, 정 대 원<sup>2)</sup>, 신 한 섭<sup>2)</sup>, 양 형 모<sup>2)</sup>, 김 상 동<sup>3)</sup>, 김 봉 석<sup>3)</sup>, 진 영 석<sup>3)</sup>

(Dong-Hyo Lee, Daewon Chung, Hanseop Shin, Hyung-Mo Yang, Sangdong Kim, Bong-seok Kim, and Youngseok Jin)

**요 약** 본 논문에서는 수신신호에 신호처리 기법을 수행함으로써 잡음을 감소시켜 탐지가능 거리를 향상시키는 방법을 제안한다. 레이더의 탐지 거리를 증가시키기 위해서는 수신신호의 잡음성분을 감소시켜야 한다. 제안하는 방식에서는 두 가지 방법을 이용하여 잡음성분을 감소시킨다. 첫째, 다수의 펄스로 송수신된 레이더 신호를 하나로 누적시킨다. 이때 더해지는 횟수가 증가할수록 잡음의 무작위성으로 인해 점차 작아지지만, 신호 부분은 점차 커지는 특성을 이용한다. 둘째, 누적된 신호를 주파수 스펙트럼으로 변환한 후 LMS (Least mean square) 필터를 적용시킨다. 레이더 수신신호의 경우 대부분이 잡음 성분이므로, 시간 영역에서 LMS 필터를 적용할 경우, 오히려 잡음이 더 증가하게 된다. 이를 방지하기 위해 수신신호를 전체 주파수 스펙트럼으로 변환한 후 LMS 필터를 적용한다. 이후 LMS 필터 출력을 시간 영역으로 다시 변환하고, 거리 추정 알고리즘을 수행한다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 알고리즘을 적용함으로써 잡음 성분을 25 dB 개선시킴을 보였다. 실험은 국제우주정거장을 대상으로 한국항공우주연구원에서 보유중인 레이더의 기존 결과와 제안된 결과를 비교분석하여 최대 거리가 약 1,000 Km이상 측정됨을 관찰할 수 있었다.

**핵심주제어:** 우주 감시 추적, 국제우주정거장, LMS 필터, 추적 레이더

**Abstract** This paper proposes a method to improve the detectable distance by reducing noise to perform a signal processing technique on the received signals. To increase the radar detection range, the noise component of the received signal has to be reduced. The proposed method reduces the noise component by employing two methods. First, the radar signals received with multiple pulses are accumulated. As the number of additions increases, the noise component gradually decreases due to noise randomness. On the other hand, the signal term gradually increases and thus signal to noise ratio increases. Secondly, after converting the accumulated signal into the frequency spectrum, a Least Mean Square (LMS) filter is applied. In the case of the radar received signal, desired signal exists in a specific part and most of the rest is a noise.

\* Corresponding Author: louislee@kari.re.kr

+ 이 논문은 “우주물체 탐지를 위한 나로호 추적용 레이더의 최대 탐지거리 향상 기술 개발 (1711094367)” 사업 및 “과학기술정보통신부에서 지원하는 대구경북과학기술원의 기관고유사업 (19-02-HRHR-03)”에 의해 수행되었습니다.

Manuscript received October 31, 2019 / revised December 04, 2019 / accepted December 06, 2019

1) 한국항공우주연구원 위성정보센터 위성운영실, 제1저자 및 교신저자

2) 한국항공우주연구원, 공동저자

3) DGIST 미래자동차연구부, 공동저자

Therefore, if the LMS filter is applied in the time domain, the noise increases. To prevent this, the LMS filter is applied after converting the received signal into the entire frequency spectrum. The LMS filter output is then transformed into the time domain and then range estimation algorithm is performed. Simulation results show that the proposed scheme reduces the noise component by about 25 dB. The experiment was conducted by comparing the proposed results with the conventional results of the radars held by the Korea Aerospace Research Institute for the international space station.

**Keywords:** Space surveillance and tracking, ISS, LMS filter, Tracking radar

## 1. 서 론

최근 레이더 센서는 보안 및 국방의 분야를 넘어 교통 및 우주 등의 분야에 까지 활용되고 있다. 카메라 센서와 같이 빛을 이용하는 센서의 경우 안개나 폭우와 같은 환경에서 안정적으로 동작하지 못한다. 이에 반해 레이더 센서는 전파를 이용하여 타겟의 정보를 탐지하기 때문에 광을 이용한 센서의 단점을 극복할 수 있다. 실제로, 지능형 자동차 분야에서 레이더 센서는 라이더 센서, 카메라 센서와 함께 대표적 센서로 손꼽히고 있다. 더욱이, 레이더 센서는 위성의 발사체 탐지나 우주 물체 탐지 등의 응용 분야에도 활용되고 있다 (Lee and Oh, 2000; Choi and Ra, 2014; Song, 2015; Scherr et al., 2017).

레이더 센서는 송신 안테나를 통해 송신된 전파가 타겟에 반사된 후 수신 안테나로 수신되기까지의 지연시간을 추정하여 타겟의 거리 정보를 탐지한다. 여기서, 탐지 가능한 최대거리는 송신 펄스 간의 주거나 송신 전력과 같은 다양한 파라미터들에 의해 결정된다. 탐지 가능한 거리를 확장하기 위한 방법으로 신호대잡음비를 증가시키는 방법을 예로 들 수 있다 (Stimson, 1998). 신호대잡음비 (Signal to noise ratio: SNR)는 송신 전력의 세기를 높이거나, 수신 신호에 더해진 잡음 성분의 세기를 감소시키거나, 프로세싱 이득을 증가시키는 등 다양한 방법이 존재한다 (Levski and Choubey, 2016; Zhang et al., 2019; Dixit and Nagaria, 2017; Cao et al., 2019). 예를 들어, 우주 물체 탐지 레이더에서 SNR을 향상시키는 대표적 방법으로 펄스 누적 알고리즘을 들 수 있다. 앙상블 평균이 0인 잡음신호의 특성에 의해,

수신신호의 누적횟수를 증가할수록 펄스에 해당하는 부분은 증가하지만 잡음성분은 증가하지 않는 특성을 이용한다 (Janarthanan et al., 2015). 하지만, 이 방식은 각 펄스들 간의 위상이 동일하다는 가정이 필요하다. 도플러 효과에 의해 위상이 동일할 경우 상쇄간섭이 발생하여 오히려 SNR이 감소할 수 있다. 한편, LMS (Least mean square) 필터 (Dixit and Nagaria, 2017; Cao et al., 2019; Zhang et al., 2019)는 수신 신호의 잡음 성분을 적응적으로 감소시키는 역할을 한다. 수신 신호의 특성을 빠르게 파악하여 시간이 지남에 따라 신호대 잡음비를 높인다. 다만, 이 필터는 수신 신호가 신호 영역이 전반적으로 분포되어 있을 때, 효과적으로 동작한다. 따라서, 펄스 레이더 처럼 신호 영역이 수신 신호의 일부에만 존재하는 경우에는 정상적으로 동작하지 않게 된다.

본 논문에서는 수신신호에 두 가지 신호처리를 수행함으로써 잡음성분을 감소시켜 최대거리를 확장시키는 방식을 제안한다. 첫째, 다수의 펄스로 송수신된 레이더 신호의 진폭값을 누적시킴으로 펄스 간 위상차이가 존재하더라도 상쇄간섭이 발생하지 않도록 한다. 둘째, 누적된 신호를 주파수 스펙트럼으로 변환한 후 LMS 필터를 적용시킨다. 레이더 수신신호의 경우 어느 특정 부분만 원하는 신호성분이고, 나머지 대부분은 잡음 성분이므로, 시간 영역에서 LMS 필터를 적용할 경우 오히려 잡음이 더 증가하게 된다. 이를 방지하기 위해 FFT (Fast fourier transform)를 이용해 수신신호를 전체 주파수 스펙트럼으로 변환한 후 LMS 필터를 적용한다. 이후 IFFT (Inverse fast fourier transform)를 통해 시간 영역으로 역변환한다. 제안된 기법의 성능을 검증하기 위해,

한국항공우주연구원(이하: 항우연)에서 보유중인 추적레이다(Choi et. al., 2015)로 국제우주정거장을 탐지 및 추적한 후 획득한 수신신호에 제안된 신호처리 기법을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우의 결과를 비교 분석하였다. 제안된 신호처리 기법을 적용한 경우, 적용하지 않은 경우에 비해 신호대 잡음비가 확연히 개선될 뿐 아니라 탐지거리 또한 증가됨을 보였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 추적레이다의 시스템 모델 및 항우연에서 보유중인 추적레이다의 사양을 분석한다. 3절에서는 최대거리 향상기법에 대해 논의한다. 4절에서는 제안된 기법에 의한 성능 개선을 확인하기 위해 실험결과를 보이며 5절에서 결론으로 본 논문을 맺는다.

## 2. 시스템 모델 및 추적 레이더 사양분석

본 절에서는 고려하는 레이더의 시스템 모델 및 항우연에서 보유 중인 추적레이더의 시스템 및 사양을 분석한다.

### 2.1 시스템 모델

본 논문에서 고려하는 시간  $t$ 에 대한 펄스 신호는  $p(t)$ 로 표기하며 Fig. 1에서 보인대로 가우시안 2차 미분 신호이며 수식 (1)과 같이 표현한다.

$$p(t) = (1 - 4\pi(t/v)^2) \exp(-2\pi(t/v)^2) \quad (1)$$

여기서  $v$ 는 펄스의 폭을 결정하는 파라미터 값으로 가우시안 분포의 분산 성분이다.

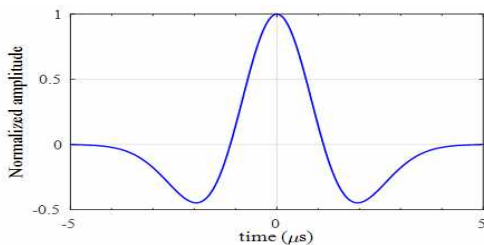


Fig. 1 TX Pulse Signal ( $v = 4 \times 10^{-6}$ )

총  $N_f$ 회의 frame을 송신하는 시스템에서  $S_{TX}^{(q)}(t)$ 는  $q$ 번째 프레임에서 송신신호를 전송한다. 이때, 한 프레임 당  $N_p$ 개의  $p(t)$ 가 전송되며, 이때  $p(t)$ 의 전력은  $P_t$ 이고, PRI (Pulse repetition interval)가  $T_f$ 일 때 수식 (2)와 같이 표현한다.

$$S_{TX}^{(q)}(t) = P_t \sum_{i=1}^{N_p} p(t - iT_f) \quad \text{for } 1 \leq q \leq N_f \quad (2)$$

송신신호  $S_{TX}^{(q)}(t)$ 는  $i$ 번째 펄스에 곱해지는 채널 페이딩 주파수 성분  $H^{(q,i)}$ 와 가산성백색잡음 (Additive white Gaussian noise: AWGN)  $z^{(q)}(t)$ 의 영향을 받아 수신되므로 수신신호  $S_{RX}^{(q)}(t)$ 는 수식 (3)과 같이 표현된다.

$$S_{RX}^{(q)}(t) = P_t \sum_{i=1}^{N_p} H^{(q,i)} p(t - \tau^{(q,i)} - iT_f) + z^{(q)}(t) \quad (3)$$

여기서  $\tau^{(q,i)}$ 는 레이더와 타겟 사이의 지연시간 성분이다.

### 2.2 상관기를 이용한 지연시간 검출 기법

수신신호를 이용하여 지연 시간을 검출하기 위해, 수신부에서는 수식 (4)와 같은 수신 상관기  $S_0^{(q)}(t)$ 를 이용한다.

$$S_0^{(q)}(t) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} p(t - iT_f) \quad (4)$$

이때,  $S_{RX}^{(q)}(t)$ 와  $S_0^{(q)}(t)$  사이의 상관기 출력값  $R^{(q)}(u)$ 은 수식 (5)와 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} R^{(q)}(u) &= \int_{-\frac{T_f}{2}}^{\frac{T_f}{2}} S_{RX}^{(q)}(t) S_0^{(q)}(t+u) dt \\ &= \int_{-\frac{T_f}{2}}^{\frac{T_f}{2}} H^{(i)} S_{RX}^{(q)}(t) S_0^{(q)}(t+u) dt \\ &\quad + \int_{-\frac{T_f}{2}}^{\frac{T_f}{2}} z^{(q)}(t) S_0^{(q)}(t+u) dt \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $u$ 는 상관기에서 이동한 값이므로 지연 시간  $\tau$ 와 일치할 때, 즉,  $u = \tau^{(q,i)}$ 일 때, 첨두치를 가지며, 잡음성분  $z^{(q)}(t)$ 와  $S_0^{(q)}(t)$  간의 상관성이 없으므로 2번째 적분 성분을  $z^{(q)}(u)$ 라 하면, 수식 (5)는 수식 (6)과 같이 근사화할 수 있다.

$$\begin{aligned} R^{(q)}(u) &\approx P_t \int_{-\frac{T_f}{2}}^{\frac{T_f}{2}} \sum_{i=1}^{N_f} H^{(q,i)} p(t - \tau^{(q,i)} - iT_f) S_0^{(q)}(t+u) dt \\ &\quad + z^{(q)}(u) \\ &= P_t \sum_{i=1}^{N_f} \int_{-\frac{T_f}{2}}^{\frac{T_f}{2}} H^{(q,i)} p(t - \tau^{(q,i)} - iT_f) S_0^{(q)}(t+u) dt \\ &\quad + z^{(q)}(u) \end{aligned} \quad (6)$$

여기서,  $R^{(q)}(u)$ 의  $i$ 번째 성분을  $R^{(q,i)}(u)$ 로 표현하면 수식 (6)은 수식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$R^{(q)}(u) = \sum_{i=1}^{N_f} R^{(q,i)}(u) + z^{(q)}(u) \quad (7)$$

일반적으로,  $z^{(q)}(t)$ 와 펄스신호의 값은 상관성이 없으므로  $z^{(q)}(u)$ 는 0에 가까운 값이므로 무시 가능하다. 하지만, 우주 물체 탐지를 추적하기 위해서는 1,000 Km 이상 떨어진 타겟을 탐지해야 하고 (Lee et al., 2018), SNR (Signal to noise ratio)은 탐지거리의 4승, 즉,  $r^4$ 에 반비례하므로,  $H^{(q,i)}$ 값은 매우 작으므로, 잡음성분  $z^{(q)}(u)$ 의 영향을 무시할 수 없게 된다.

### 2.3 항우연 추적 레이더 분석

나로우주센터 추적레이더는 발사체를 정밀 추적하기 위해 운용되며 스킨 모드와 비콘 모드로 운영된다. 여기서 스킨 모드는 레이더에서 송신한 신호가 발사체에 의해서 반사된 신호를 수신해서 추적하는 모드이고, 비콘 모드는 발사체의 트랜스폰더에서 송신하는 응답신호를 수신하여 추적하는 방식이다. 여기서 우주물체를 감시하는 데 사용가능한 모드는 스킨 모드이다. 레이더로 탐지가능한 최대거리  $r_{\max}$ 는 레이더 방정식에 의해 계산될 수 있으며 레이더 방정식은 수식 (8)과 같다 (Ardalan et al., 2015; Kim and Lee, 2018).

$$r_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_t G_t G_r \sigma G_p L}{(4\pi)^3 KTB \rho_{\text{req}}}} \quad (8)$$

여기서,  $G_t$ 와  $G_r$ 은 각각 송신안테나와 수신안테나의 이득이며,  $\sigma$ 는 타겟의 RCS,  $G_p$ 는 PG,  $L$ 은 시스템의 손실계수,  $K$ 는 볼츠만 상수,  $T$ 는 절대온도,  $B$ 는 대역폭,  $\rho_{\text{req}}$ 는 요구되는 SNR을 의미한다. 각 파라미터 값은 Table 1에 제시되어 있다. Table 1에서의 파라미터와 수식 (8)로부터, 본 레이더 시스템의 최대거리가 결정되는데, 스킨모드에서 최대 300 Km 까지 측정이 가능하다 (Choi et. al., 2015). 하지만, 우주 물체를 탐지해야하는 주 대상지역은 LEO 영역이므로 최소 1,000 Km이상 떨어진 타겟을 탐지할 수 있어야 한다.

### 3. 제안하는 최대거리 향상 기법

본 절에서는 항우연 보유 추적레이더의 시스템 파라미터를 변경하지 않고, 레이더에 수신된 신호를 신호처리 함으로써 잡음 전력을 감소시켜 최대 탐지 거리를 증가시키는 알고리즘을 기술한다. 수식 (8)에서 분자의 파라미터 값을 증가시키거나 분모의 파라미터 값을 감소시킴으로써 최대 탐지 거리를 증가시킬 수 있다. 하지만, 주어진 레이더 시스템의 파라미터들을 변경하는데 제한이 있으므로, 이 값들을 변경할 수 없다. 따라서,  $R(u)$ 의 ADC (Analog to digital converter) 신호  $R[n]$ 에 Fig. 2와 같은 신호처리를 수행함으로써 잡음 성분을 감소시키는 기법을 제안한다.

Fig. 2에서 ADC 신호  $R[n]$ 을 누적시 상쇄간섭이 발생하지 않도록 하기 위하여 절대값을 취한다. 즉,  $R[n]$ 이  $|R[n]|$ 이 되게 한다. 이후,  $|R[n]|$ 의  $i$ 번째 성분  $|R^{(i)}[n]|$ 을  $i=1$ 에서  $N_f$ 까지 누적한 신호  $\tilde{R}[n]$ 을 수식 (9)와 같이 구한다.

$$\tilde{R}[n] = \sum_{i=1}^{N_f} |R^{(i)}[n]| \quad (9)$$

누적의 개수가 증가할수록 신호의 크기는 증가하지만, 매 펄스에 더해진 잡음 성분은 상관성이 없으므로 크기가 증가하지 않는다. Fig. 3은 SNR 및 펄스의 누적 개수에 따른 탐지율을 보인 것이다. Fig. 3으로 부터 펄스의 개수가 증가할수록 낮은 SNR에서도 높은 탐지율을 달성함을 알 수 있다. 다만,  $i=1, \dots, N_f$  동안  $r^{(i)}$ 가 변하지 않는다는 가정이 필요하다.

누적신호  $\tilde{R}[n]$ 에 LMS 필터를 수행하기 전에 FFT를 수행한다. 이는,  $\tilde{R}[n]$ 의 일부분에 원하는 피크 신호가 존재하고 대부분은 잡음성분이므로, LMS 필터를 그대로 적용할 경우 Fig. 4(b)와 같이 피크신호가 잡음에 영향을 받아 LMS를 적용하기 이전 (Fig. 4(a)) 보다 신호가 더욱 왜곡된다. 이를 회피하기 위해, 시간 영역 신호를 주파수 영역으로 변환하여 최대 신호와 잡음성분을

대역 전체로 확산시킨 후 LMS 필터를 적용시킨다 (Levski and Choubey, 2016). 이로써, Fig. 4(c)와 같이 잡음성분의 크기를 확연히 감소시킨다. 누적신호  $\tilde{R}[n]$ 에 대한  $N$  point FFT 출력의  $k$ 번째 성분  $\tilde{\Gamma}[k]$ 를 수식 (10)과 같이 계산한다.

$$\tilde{\Gamma}[k] = \sum_{n=1}^N \tilde{R}[n] \exp(-j2\pi nk/N) \quad (10)$$

이후  $\tilde{\Gamma}[k]$ 의 LMS 출력  $\hat{\Gamma}[k]$ 를 통해 잡음성분의 크기를 더욱 감소시킨 후 다시 시간영역으로 변환하기 위해 IFFT를 수행한다. IFFT 출력의 침두치 검출을 이용해 지연시간을 추정하고 추정한 지연시간으로 부터 타겟의 거리를 계산한다.

#### 4. 실험결과

본 절에서는 제안된 신호처리 기법의 효용성을 검증하기 위한 실험을 수행하고 결과를 분석한다. 실험을 위해서 항우연 제주추적소의 나로우주센터 추적레이다 (Choi et. al., 2015)를 이

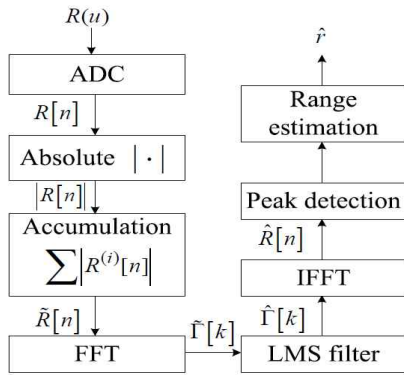


Fig. 2 Structure of Proposed Algorithm

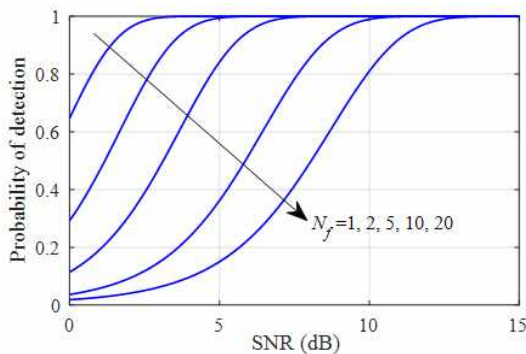


Fig. 3 Probability of Detection according to SNR

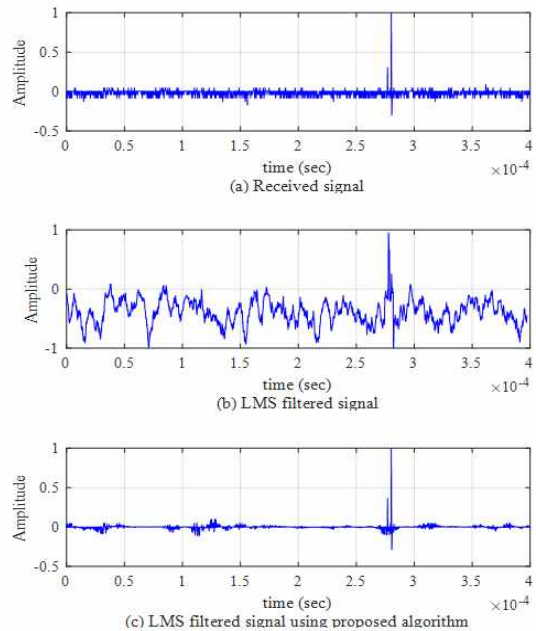


Fig. 4 Received Signal and Output of LMS Filter

용하여 국제우주정거장(ISS)을 추적하기 위해 송신한 후 수신한 레이더 신호에 제안된 방식을 적용하였다. 실험은 국제우주정거장이 1,486 Km에 위치한 때부터 시작하여 최단 거리 455 Km까지 접근한 후, 다시 1,429 Km까지 멀어진 경우에 대해 진행되었다.

#### 4.1 항우연 나로우주센터 추적레이더 분석

나로우주센터 추적레이더는 발사체를 정밀 추적하기 위해 운용되며 스킨 모드와 비콘 모드로 운영된다. 여기서 스킨 모드는 레이더에서 송신한 신호가 발사체에 의해서 반사된 신호를 수신해서 추적하는 모드이고, 비콘 모드는 발사체의 트랜스폰더에서 송신하는 응답신호를 수신하여 추적하는 방식이다. 여기서 우주물체를 감시하는데 사용가능한 모드는 스킨 모드이다. 레이더로 탐지가 가능한 최대거리  $r_{max}$ 는 레이더 방정식에 의해 계산될 수 있으며 레이더 방정식은 수식 (11)과 같다 (Ardalan et al., 2015; Kim and Lee, 2018).

$$r_{max} = \sqrt[4]{\frac{P_t G_t G_r \sigma G_p L}{(4\pi)^3 KTB \rho_{req}}} \quad (11)$$

여기서,  $G_t$ 와  $G_r$ 은 각각 송신안테나와 수신안테나의 이득이며,  $\sigma$ 는 타겟의 RCS,  $G_p$ 는 PG,  $L$ 은 시스템의 손실계수,  $K$ 는 볼츠만 상수,  $T$ 는 절대온도,  $B$ 는 대역폭,  $\rho_{req}$ 는 요구되는 SNR을 의미한다. 각 파라미터 값은 Table 1에서 제시하였다.

Table 1에서의 파라미터와 수식 (8)로 부터, 본 레이더 시스템의 최대거리가 결정되는데, 스킨모드에서 최대 300 Km 까지 측정이 가능하다 (Choi et al., 2015). 하지만, 우주 물체를 탐지해야하는 주 대상지역은 LEO 영역이므로 최소 1,000 Km이상 떨어진 타겟을 탐지할 수 있어야 한다(Lee et al., 2018).

#### 4.2 항우연 추적 레이더 실험결과

Fig. 5와 Fig. 6은 수신신호의 파형(Fig. 5(a))과 제안된 기법을 적용한 경우(Fig. 5(b))의 신

Table 1 Main Specs of Tracking Radar System (Choi et al., 2015)

Parameter	Unit	Value	Remarks
TX power ( $P_t$ )	KW	250	
Pulse width	$\mu s$	0.5, 1, 4	
TX and RX antenna gain	dBi	43	Polarization: vertical
Center Frequency	GHz	5.3~5.8	
RCS	$dBm^2$	0	Skin mode
Noise figure	dB	4	
Required S/N ( $\rho_{req}$ )	dB	10	Detection prob.: 95% Error rate: $10^{-2}$

호가운데 15번째 프레임과 30번째 프레임을 발췌하여 보인 것이다. Fig. 5(a)에서 수신신호는 피크 신호와 이외 신호의 차이가 크지 않다. 반면에 Fig. 5(b)에서는 피크신호와 이외의 신호가 확연히 차이가 존재함을 관찰할 수 있다.

Fig. 7은 누적횟수에 따른 잡음전력을 보인다. 누적횟수가 증가함에 따라 잡음전력이 감소함을 알 수 있다. 이때 잡음전력은 펄스신호의 최대값을 1로 정규화한 후 잡음신호의 전력을 계산하였다.

누적횟수가 30회 이상인 경우 누적하지 않은 경우에 비해 약 15 dB의 이득이 있음을 알 수 있다.

Fig. 8은 누적을 통해 SNR을 개선한 신호에 기존 LMS 알고리즘과 제안된 LMS 알고리즘을 적용한 결과이다.

기존 LMS 알고리즘의 경우 잡음 전력의 레벨이 0.5로 확연히 높아져있음을 알 수 있다. 반면에 제안된 LMS 알고리즘의 경우 잡음 전력의 레벨이 0.2 이하에 존재함을 알 수 있다. 두 기법의 잡음전력을 계산해 보면 기존 LMS 기법 대비 제안 기법이 약 16 dB의 SNR이 개선됨을 알 수 있다. 또한, 제안 기법의 경우 LMS를 적용하기 이전 대비 약 10 dB의 SNR이 개선되므로 제안기법은 총 25 dB의 SNR 향상을 달성함을 알 수 있다.

Fig. 9는 제안된 기법을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우 국제우주정거장의 거리를 추정 한 결과이다.

여기서 frame index는 수식 (2)에서  $q$ 에 해당

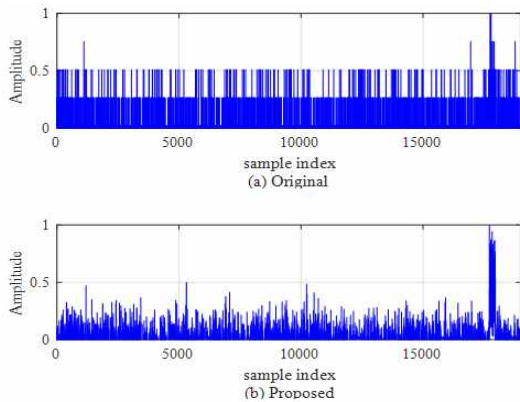


Fig. 5 Comparison of the Received Signal in the Experiment; (a) Signal before Proposed Algorithm, (b) Signal after Proposed Algorithm at  $q = 15$

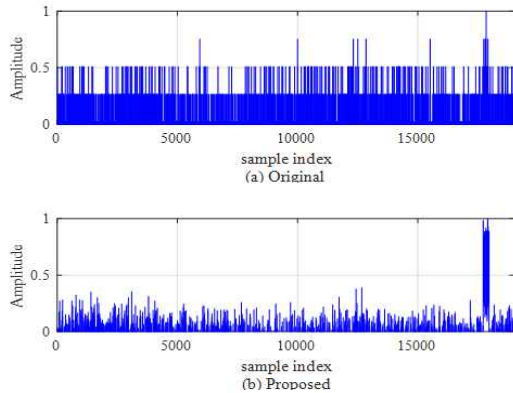


Fig. 6 Comparison of the Received Signal in the Experiment; (a) Signal before Proposed Algorithm, (b) Signal after Proposed Algorithm at  $q = 30$

한다. 제안한 알고리즘을 적용하지 않은 경우, 즉, 항우연 보유중인 레이더 시스템의 결과를 Conventional로 표기하였으며 Conventional 방식의 결과는 항우연 추적레이더 시스템에서 제공하는 추적결과를 보인 것이다. Fig. 8에서 알 수 있듯이 제안된 기법의 경우 신호처리를 하지 않은 경우에는 추정할 수 없었던 거리의 타겟을 탐지함을 관찰할 수 있다.

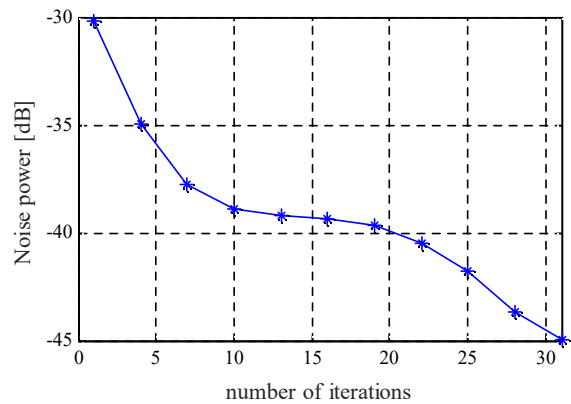


Fig. 7 Noise Power according to the Number of Iterations at  $q = 30$

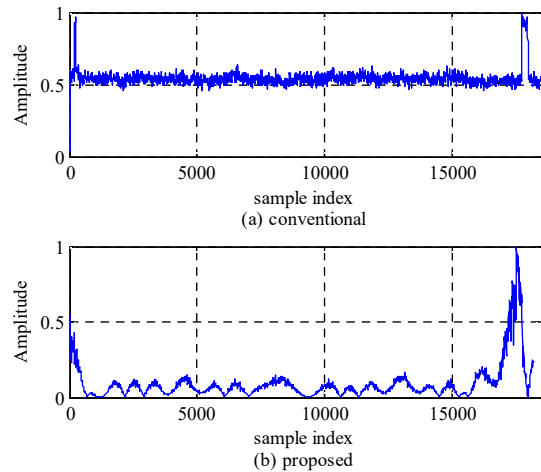


Fig. 8 Results of Conventional and Proposed LMS Algorithms at  $q = 30$

### 5. 결론

본 논문에서는 항우연에서 보유중인 추적레이더의 파라미터를 변경하지 않고 획득한 수신신호의 잡음을 감소시킴으로써 탐지 가능한 최대 거리를 향상시키는 방법에 대해 제안하였다. 레이더 탐지가능 거리 증가를 위해서는 수신신호의 잡음성분을 감소시켜야 한다. 제안된 기법에서는 다수의 펄스로 송수신된 레이더 신호를 하나로 누적하는 방법과 누적된 신호를 주파수 스펙트럼으로 변환한 후 LMS 필터를 적용시키는

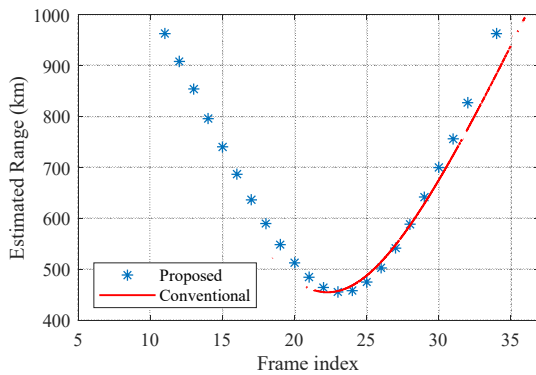


Fig. 9 Comparison of Range in the Experiment

기법을 적용하였다. 제안된 기법의 성능 검증을 위해 항우연 제주 추적소에서 실험을 수행하였으며 제안된 알고리즘을 적용함으로써 잡음 성분을 25 dB 개선시킴을 보였다. 또한, 제안된 기법을 적용함으로써 1,000 Km 까지의 국제우주정거장을 탐지할 수 있음을 관찰하였다.

향후 연구 계획으로 국제우주정거장의 이동에 따른 도플러 효과에 의해 발생하는 위상변화량을 추정하여 보상함으로써 1,000 Km 이상의 타겟을 탐지하는 알고리즘을 연구하고자 한다.

### References

Ardalan, S., Moghadami, S., and Jaafari, S. (2015). Motion Noise Cancellation in Heartbeat Sensing Using Accelerometer and Adaptive Filter, *IEEE Embedded Systems Letter*, 7(4), 101-104.

Cao, D., Chen, Z., and Gao, X. (2019). Research on Noise Reduction Algorithm Based on Combination of LMS Filter and Spectral Subtraction, *Journal of Information Processing Systems*, 15(4), 748-764.

Choi, J., Shin, H., Kim, D., and Kim, T. (2015). The Technical Trends of Recent Bistatic Radar, *Current Industrial and Technological Trends in Aerospace*, 13(1), 160-165.

Choi, Y., and Ra, S. (2014). Implementation of Slaving Data Processing Function for Mission Control System in Space Center, *Journal of the Korea Industrial Information Systems Society*, 19(3), 31-39.

Dixit, S., and Nagaria, D. (2017). LMS Adaptive Filters for Noise Cancellation, *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 7(5), 2520 - 2529.

Janarthanan, V., VenkataRamana, P., Bhargavi, P., Suresh, M., and Gopala K, J. (2015). Optimized Correlation Algorithm for Enhancing Tracking Performance in pulsed CW Radar, *2015 International Conference on Signal Processing and Communication Engineering Systems*, Jan. 3, Guntur, India.

Kim, S., and Lee, K. (2018). Improved Low SNR Super-accuracy Spectral Estimator with a Short Window Time For Noncontact Vital Radar, *Journal of Institute of Electronics and Information Engineers*, 55(2), 97-104.

Lee, C., and Oh, S. (2000). A Data Processing System on the Transportable Meteorological Radar, *Journal of the Korea Industrial Information Systems Society*, 5(3), 44-50.

Lee, J., Choi, E., Moon, H., Park, J., and Cho, S. (2018). Design of L-Band-Phased Array Radar System for Space Situational Awareness, *Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, 29(3), 214-224.

Levski, D., and Choubey, B. (2016). On Noise in Time-delay Integration CMOS Image Sensors, *Proceedings of SPIE 9891, Silicon Photonics and Photonic Integrated Circuits V, 989122*, May 13, Brussels, Belgium.

Scherr, S. Afroz, R. Ayhan, S. Thomas, S. Jaeschke, T. Marahrens, S. Bhutani, A. Pauli, M. Pohl, N., and Zwick, T. (2017). Influence of Radar Targets on the Accuracy of FMCW Radar Distance Measurements,



*IEEE Transactions Microwave Theory and Techniques*, 65(10), 3640-3647.

Song, H. (2015). Performance Enhancement of Launch Vehicle Tracking Using GPS-based Multiple Radar Bias Estimation and Sensor Fusion, *Journal of the Korea Industrial Information Systems Society*, 20(6), 47-56.

Stimson, G. (1998). *Introduction to Airborne Radar*, SciTech Publishing Inc.

Zhang, S. Wang, Y. Guo, H., Yang, C., Wang, X., and Liu N. (2019). A Normalized Frequency-domain Block Filtered-x LMS Algorithm for Active Vehicle Interior Noise Control, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 120, 150-165.



**이 동 효 (Dong-Hyo Lee)**

- 정회원
- 남서울대학교 정보통신공학과(공학사)
- 고려대학교 컴퓨터·전파통신공학과 (공학석사)
- 한밭대학교 정보통신공학과

(공학박사 수료)

- (현재) 한국항공우주연구원 국가위성정보활용지원센터 위성운영부 선임기술원
- 관심분야: 위성통신시스템, 재구성 안테나

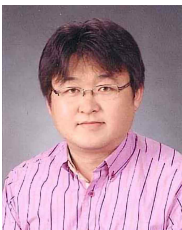


**정 대 원 (Daewon Chung)**

- 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
- 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
- (현재) 한국항공우주연구원 국가위성정보활용지원센터

위성운영부장

- 관심분야: 우주상황인식, 위성시스템 엔지니어링, 위성 운영, 정밀궤도결정, GPS



**신 한 섭 (Hanseop Shin)**

- 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
- 경북대학교 전자공학과 (공학박사)

- (현재) 한국항공우주연구원 나로우주센터 비행안전기술부 선임연구원
- 관심분야: 추적레이다, 레이다 신호처리



**양 형 모 (Hyung-Mo Yang)**

- 한밭대학교 정보통신공학과 (공학사)
- 한밭대학교 정보통신공학과 (공학석사)
- (현재) 한국항공우주연구원 국가위성정보활용지원센터

위성운영부 선임기술원

- 관심분야: 위성통신 지구국 안테나시스템 및 RF시스템



**김 상 동 (Sangdong Kim)**

- 한양대학교 전자공학과 (공학석사)
- 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
- (현재) DGIST 미래자동차연구부 선임연구원

- 관심분야: 생체용 레이다, 레이다 신호처리 알고리즘 등



**김 봉 석 (Bong-seok Kim)**

- 영남대학교 정보통신공학과 (공학석사)
- 영남대학교 정보통신공학과 (공학박사)
- (현재) DGIST 미래자동차연구부 선임전임연구원

- 관심분야: 레이다 신호처리 알고리즘, 레이다 통신 알고리즘



**진 영 석 (Youngseok Jin)**

- 대구대학교 정보통신공학과 (공학사)
- 대구대학교 정보통신공학과 (공학석사)
- (현재) DGIST 미래자동차연구부 전임연구원

- 관심분야: 레이다, 임베디드 시스템