JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 20, No. 10 : 1860~1866 Oct. 2016

헬리콥터에 장착된 회전 안테나를 이용한 착륙지형의 이미지 생성 기법

배창식[1] · 전현무[1] · 김재학[2] · 양훈기[1*]

Rotational Antenna based Clutter Imaging Algorithm in Helicopter Landing Mode

Chang-Sik Bae[1] · Hyeon-Mu Jeon[1] · Jae-Hak Kim[2] · Hoon-Gee Yang[1*]

[1*]Department of Electronics Convergence Engineering, Kwangwoon University, Seoul 01897, Korea
[2]Ace Antenna Corp., Incheon 22013, Korea

요 약

헬기 사고의 대부분은 시야가 제한된 상황에서 착륙 시 구조물과의 충돌에 의한 사고로 안전한 주행을 위해 레이더와 같은 보조 장비가 요구된다. 본 논문에서는 회전하는 안테나를 장착한 헬기 레이더가 착륙하는 과정에서 고정 클러터에 대한 거리-방위각 이미지를 얻는 알고리즘을 제시한다. 동일 거리에 위치한 각각의 클러터 패치로부터 수신되는 신호를 모델링하고 클러터 특성 및 도플러 특성을 분석한다. 부엽(side lobe) 성분을 억제하고 주 빔(main lobe) 신호성분을 얻기 위한 필터구조를 설계하고 이 과정에서 발생하는 문제점에 대한 해결책을 제시한다. 마지막으로 시뮬레이션에 의해 거리-방위각 도메인에서의 가상의 지형 시나리오를 생성한 후 제시한 알고리즘의 성능을 검증한다.

ABSTRACT

Helicopter-related collision accidents with structures mostly occur at landing, especially in a limited visibility environment, which necessitates some secondary equipment like a radar that can generate stationary clutter image. In this paper, we propose an algorithm that makes an image of stationary ground clutter in two dimensional range and azimuth angle domain. We present a mathematical model for the received signals from each clutter patch in the iso range ring and analyze their clutter and Doppler characteristics, assuming that a helicopter-borne radar has a rotational antenna. We propose a filter structure, which suppresses side lobe signal components while extracting a main lobe signal component, and suggest a solution for a problem stemmed from the filtering process. Finally, by conducting a simulation we show the performance of the suggested imaging algorithm on a two dimensional virtual scenario of the topographic clutter.

키워드 : 헬기 장착, 회전 안테나, 헬기 착륙, 클러터 이미지

Key word : Helicopter-borne, Rotational antenna, Helicopter landing, Clutter Image

Received 28 June 2016, **Revised** 29 June 2016, **Accepted** 12 July 2016

* **Corresponding Author** Hoon-Gee Yang(E-mail:hgyang@kw.ac.kr, Tel:+82-2-940-5187)
Department of Electronics Convergence Engineering, Kwangwoon University, Seoul 01897, Korea

Open Access http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.10.1860 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright Ⓒ The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

Ⅰ. 서 론

최근 헬기관련 사고가 급증하면서 헬기의 안전한 운행을 위한 시스템 개발이 관심을 받고 있다. 특히 헬기는 연기나 안개 등으로 인하여 시야가 제한된 상황에서 착륙 시에 사고 위험이 가장 크기 때문에 전선 또는 고층 구조물, 산과 같은 착륙지점에 대한 클러터 정보를 제공하는 시스템이 필요하다. 클러터 정보는 이차원 형태의 이미지로 제공되어 조종사가 주행 중에도 쉽게 확인할 수 있어야 한다.

착륙지형의 이미지를 생성하는 방법으로 Synthetic Aperture Radar(SAR)가 있다. SAR는 각 클러터 패치(scatterer)들에서 수신되는 고유의 주파수를 이용하여 고해상도의 이차원 이미지를 제공한다. 하지만 SAR는 side-looking 안테나를 이용하여 주행 방향과 다른 지점의 이미지를 제공하므로 착륙지형에 대한 이미지를 제공하는데 어려움이 있다[1]. Forward-looking SAR에 대한 알고리즘도 존재하지만 이는 바이스태틱 환경에서 동작이 가능하다[2].

착륙지점에 대한 이미지는 특정 각도에서 얻은 레인지 프로파일(range profile)들을 모아 거리-방위각 도메인으로 출력해주는 것과 같게 생각할 수 있다. 즉, 주 빔(main lobe)이 지향하는 방위각의 레인지 프로파일들을 안테나가 회전함에 따라 모든 각도에 대한 레인지 프로파일을 얻는 것이다. 이때 주 빔을 제외한 부엽(side lobe) 방향으로도 신호가 들어오게 되므로 부엽 성분을 억제하고 주 빔 성분만 얻을 수 있는 알고리즘이 필요하게 된다. Side lobe Canceller(SLC)[3]는 이에 대한 가장 대표적인 방법으로 많이 사용되고 있지만 이는 배열 안테나를 사용한 공간 필터링이기 때문에 단일 안테나를 사용하는 현 시스템에서는 적용하기 힘들다. 따라서 본 논문에서는 클러터 패치들이 가지는 고유의 도플러 주파수 특성을 이용한 필터를 사용하여 부엽 성분을 억제하고 주 빔의 성분만을 추출하여 이미지를 생성하는 알고리즘을 제안한다.

Ⅱ. 시스템 모델링

그림 1은 회전하는 안테나가 장착된 헬기가 착륙하는 환경을 나타낸 것이다. 착륙하는 과정에서 헬기는

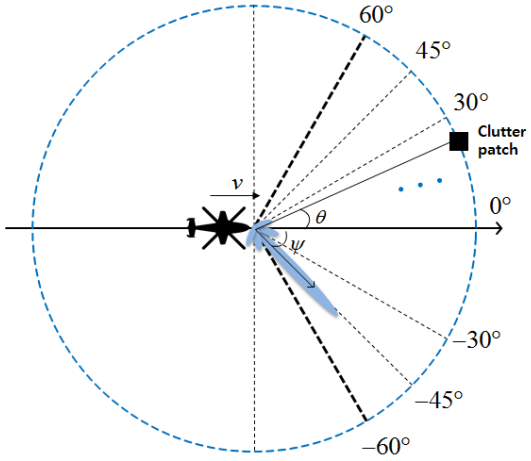


Fig. 1 System Geometry

안테나를 회전하면서 특정 거리, 방위각에 위치한 클러터 패치들로부터 신호를 수신하게 된다. 이때 헬기와 정지해있는 클러터 패치들 사이에 도플러 효과가 발생하게 되고 고각에 의한 도플러 효과를 무시한다면 도플러 주파수 f_D는 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다[4].

$$f_D = \frac{2v}{\lambda}\cos\theta \tag{1}$$

여기서 v는 헬기의 이동속도, λ는 레이더의 운용주파수에 해당하는 파장, 그리고 θ는 헬기의 진행방향과 클러터 패치가 이루는 각도(방위각)이다. 레이더의 주 빔이 특정각도 ψ를 지향하고 있을 때 l번째 레인지빈(range bin)에 있는 클러터 패치들로부터 수신된 신호 $\overline{y_l}$은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}\overline{y_l}(t,\theta_i;\psi) &= Q_l(\theta_i)\,G(\theta_i;\psi)\\ &\times \exp\left(-j\frac{4\pi}{\lambda}R_l\right)\exp\left(-j2\pi f_D(\theta_i)\frac{R}{c}\right)\\ &\times \exp(-j2\pi f_D(\theta_i)t)\exp(j2\pi f_c t)\end{aligned} \tag{2}$$

여기서 Q_l은 클러터 특성으로 클러터의 반사계수, 클러터 분포 등을 나타내는 값이고, G는 안테나의 이득, R_l은 l번째 레인지빈까지의 거리, f_c는 캐리어 주파수, θ_i는 i번째 클러터 셀의 방위각을 나타낸다. 일반적

인 지형의 클러터는 이산 분포를 가지므로 클러터를 log-normal분포로 모델링 할 수 있다. 즉, Q_l은 다음과 같은 확률분포를 가지는 랜덤 변수로 표현할 수 있다.

$$f_Q(q) = \frac{1}{q\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left\{\frac{-(\ln q-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\};\ q>0 \qquad (3)$$

여기서 μ는 위치모수(location parameter), σ는 척도모수(scale parameter)로 Q_l의 평균과 분산을 결정하는 값이다. 만약 이러한 지형위에 구조물, 전선 또는 산과 같이 평균이상의 반사계수를 가지는 클러터들이 존재할 경우 클러터가 위치한 방위각, 레인지빈에서 수신되는 신호는 해당 반사계수의 영향을 받게 될 것이다. 식 (2)에서 처음 두 개의 지수항은 거리와 도플러에 의한 위상 지연으로 다음과 같이 간단하게 표현할 수 있다.

$$\phi(\theta_i,l) = \left(\frac{4\pi}{\lambda}R_l\right)\times\left(2\pi f_D(\theta_i)\frac{R}{c}\right) \qquad (4)$$

최종적으로 모든 각도에 있는 K개의 클러터 패치들로부터 수신되어 복조과정을 거친 기저대역 신호 y_l은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$y_l = \sum_{i=1}^{K} Q_l G(\theta_i;\psi)\exp(-j\phi(\theta_i,l)) \times \exp(-j2\pi f_D(\theta_i)t) \qquad (5)$$

이 신호는 Pulse Repetition Interval(PRI) 주기로 샘플링이 되고 저장된 데이터는 Coherent Processing Interval(CPI) 구간에 해당하는 M개의 펄스들로 묶여 신호처리과정을 거친다. 이때 M은 다음과 같이 구해진다[5].

$$M = \frac{\theta_{3dB}}{T\dot{\theta}} \qquad (6)$$

여기서 θ_{3dB}는 안테나의 3dB 빔 폭, T는 PRI, 그리고 $\dot{\theta}$는 안테나의 스캔율이다. 이렇게 얻어진 수신 데이터는 이미지 생성 알고리즘을 거쳐 거리-방위각 도메인의 이미지로 출력된다.

Ⅲ. 이미지 생성 알고리즘

원하는 지점을 이미지를 생성하기 위해서는 해당 지점으로부터 수신된 데이터, 즉 주 빔이 향하고 있는 각도의 데이터만 필요하다. 하지만 식 (5)에서 얻어진 수신 신호 y_l은 모든 클러터 패치들로부터 반사된 성분들의 합이다. 높은 Side lobe Level(SLL)을 갖는 안테나의 경우 부엽으로 부터 들어오는 신호 성분이 많이 포함되므로 부엽 성분을 억제하고 주 빔 방향에 대한 데이터만 얻을 수 있는 필터를 설계하는 것이 착륙지형의 이미지를 생성하는데 필요하다. 부엽 성분을 억제하는 방법은 디지털 빔 포밍 기법을 적용시키는 것이 일반적이나 본 논문에서는 첨단 군용이 아닌 하나의 안테나가 회전하는 레이더를 가정하였으므로 시간 축 처리에 의한 부엽 성분을 억제하는 방법을 고려하였다.

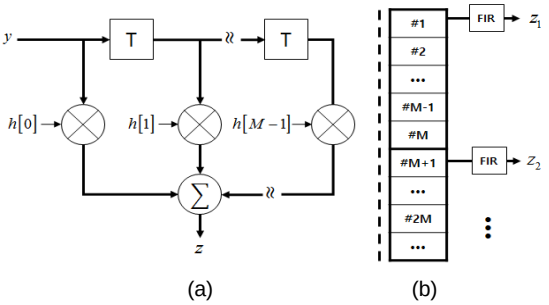


Fig. 2 Side lobe suppression filter (a) structure, (b) data processing

3.1. 부엽 억제 필터

부엽 성분을 억제하고 안테나의 주 빔이 지향하고 있는 각도 ψ에 대한 성분만을 얻기 위해 Finite Impulse Response(FIR) 필터를 사용하였다. FIR 필터에 적당한 가중치 값을 주어서 특정한 주파수 성분만을 뽑아내었으며 이때 주파수는 주 빔에 속하는 클러터 패치가 만드는 도플러 주파수에 해당한다. 회전하는 안테나의 주 빔은 정해져있는 스캔속도와 회전각에 의해서 방사되므로 주 빔의 폭이 충분히 작다면 주 빔에 의해 야기되는 도플러 주파수도 주 빔 방향과 연동되어 정해져 있다고 할 수 있다. 그러므로 주 빔이 향하는 각도가 정해지면 도플러 주파수를 계산하여 가중치 계산이 가능해진다. 이에 따라 FIR 필터의 응답 h는 다음과 같이 주어진다.

$$h[m]=\exp(j\phi)\exp(j2\pi f_w m T),\ m\in[0,\ M-1] \quad (7)$$

여기서 M은 식 (6)에서 구한 CPI구간에 해당하는 데이터의 개수로 주 빔이 한 방향을 바라보는 동안 얻는 펄스의 개수이며 이를 일반적으로는 stop-and-hop방식이라 부른다[6]. stop-and-hop방식에서는 CPI구간동안 안테나가 정지하여 동일한 각도를 바라보는 것을 가정하므로 M개의 데이터가 모두 동일하다. 하지만 넓은 빔 폭을 가진 단일 안테나의 경우 매 펄스마다 동일한 신호로 볼 수 없기 때문에 실제 매 펄스마다 연속적으로 움직이는 환경을 고려해야 한다. 이러한 방식으로 모은 M개의 데이터들도 각도에 해당하는 도플러 주파수와 여러 파라미터를 알고 있기 때문에 CPI내에 있는 데이터라고 볼 수 있다. f_w는 가중치에 해당하는 주파수로 얻고자 하는 각도, 즉 주 빔이 향하고 있는 각도에 대응되는 도플러 주파수이다. 이는 M개의 데이터의 중간에 해당하는 각도에 대응되는 도플러 주파수로 하는 것이 가장 타당하며 매 M개의 데이터마다 변한다. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$f_w=\frac{2v}{\lambda}cos\left(\left(\frac{\psi_0+(\psi_0+\theta_{3dB})}{2}\right)\pm(n-1)\times\theta_{3dB}\right) \quad (8)$$
$$,n\in[1,N]$$

여기서 ψ_0는 최초 안테나가 스캔을 시작할 때의 주 빔이 지향하고 있는 각도이고 N은 전체 스캔 범위를 빔 폭으로 나눈 값, 즉 FIR 필터의 출력 개수를 나타낸다. 플러스-마이너스 기호는 안테나가 -각도에서 +각도로 스캔할 경우 플러스, +각도에서 -각도로 스캔할 경우 -의 부호를 갖는다. 매 M개의 데이터를 입력으로 하여 그에 대응되는 가중치 f_w를 바꿔가면서 얻은 출력은 하나의 레인지빈에 해당하는 필터 출력이 되고 이를 모든 레인지빈에 대하여 수행하면 이차원의 이미지를 얻을 수 있다. 그림 2는 위에서 설명한 FIR 필터와 데이터 처리 구조를 나타낸 것으로 z_n, $n\in[1,N]$은 필터의 출력을 나타낸다.

3.2. 진폭 보상

그림 3(a)는 높은 반사계수를 가지는 클러터가 존재하지 않는 환경에서 하나의 레인지빈에 대한 각도별 FIR 필터의 출력들을 나타낸 것이다.

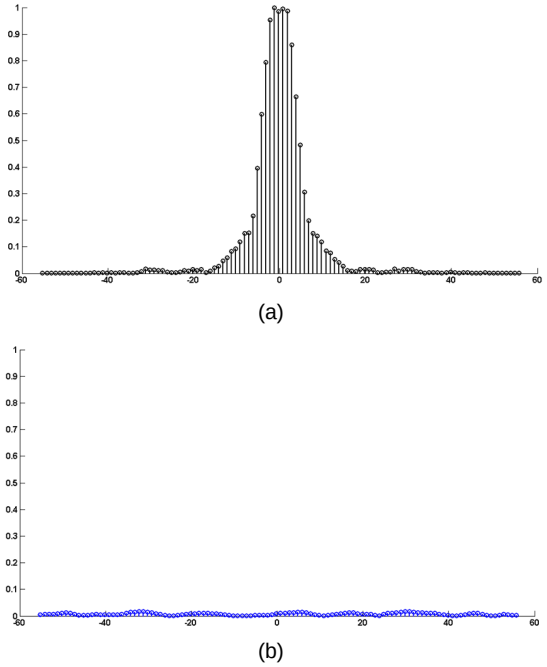


Fig. 3 FIR filter output (a) before scaling (b) after scaling

클러터 패치들이 평균적인 값을 가지기 때문에 모든 각도에서 거의 동일한 값을 출력해야하지만 헬기의 진행방향과 동일한 각도(0°)에서 가장 높은 출력값을 가지고 점점 줄어드는 형태를 확인할 수 있다. 이는 도플러 주파수가 각도에 대해 cos함수 분포를 가지기 때문에 발생하는 현상으로 이러한 특성이 FIR 필터의 입력 신호와 가중치와의 복소수 벡터곱에 영향을 미치게 된다. cos함수는 0°로부터 멀어질수록 값의 변화(기울기)가 커지게 되는데 이는 곧 도플러 주파수가 넓게 분포하는 것을 의미한다. 이렇게 넓게 분포한 도플러 주파수를 갖는 신호가 FIR 필터의 입력으로 들어가게 되면 가중치가 가지는 주파수와의 위상차이 또한 넓게 분포하게 된다. 즉, 가중치의 도플러 주파수에 해당하는 신호성분을 제외한 나머지 성분들의 영향이 거의 없게 되고, 그 결과 상대적으로 낮은 필터 출력값을 가지게 된다.

반대로 0°로 갈수록 도플러 주파수가 좁은 구간에 분포하게 되고 이에 따라 입력 신호와 가중치의 위상차이가 크지 않기 때문에 상대적으로 높은 필터 출력값을 가지게 된다. 이러한 현상은 지형의 이미지를 얻는 알고리즘에서는 잘못된 결과를 가져오므로 각도에 대한

모든 출력이 동일한 값을 가지도록 진폭보상을 해주어야 한다. 진폭보상은 지형의 평균 반사계수를 바탕으로 하여 수학적으로 얻은 기준 신호와 실제 신호와의 차이를 통해 수행한다. 이때 모델링을 통한 반사계수가 실제 지형의 것과 차이가 날 수도 있으므로 추정을 통해 평균 반사계수를 추정하고 그에 따른 기준 신호를 업데이트한다. 그림 3 (b)는 진폭보상 과정을 거친 후의 필터 출력으로 모든 각도에서 거의 동일한 출력값을 가지는 것을 볼 수 있다.

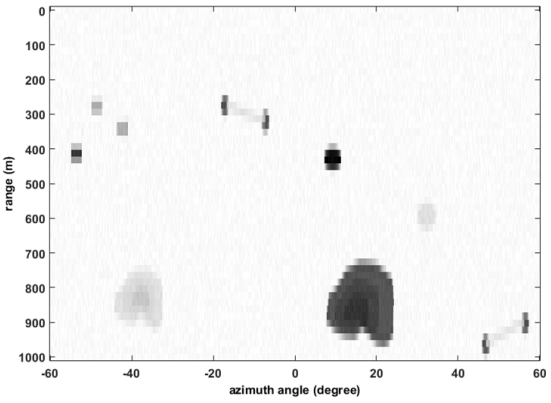
Ⅳ. 시뮬레이션

Table. 1 Simulation parameter

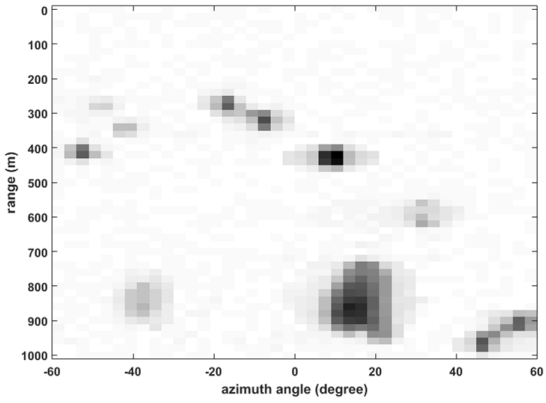
Parameter	value	parameter	value
speed	$100m/s$	range coverage	$150m \sim 1km$
operating frequency	$1GHz$	scan coverage	$-60^\circ \sim 60^\circ$
PRI	$0.5ms$	beamwidth	3°
scan rate	$120^\circ/s$		

그림 4는 앞서 설명한 이미지 생성 알고리즘을 표 1의 파라미터를 이용하여 수행한 시뮬레이션 결과이다. 그림 4(a)는 거리-방위각 도메인에서의 가상의 지형 시나리오를 나타낸 것으로 헬기가 운행 시 주로 접할 수 있는 빌딩, 전력선과 철탑, 그리고 산과 같은 지형들을 거리 범위 $0 \sim 1km$와 방위각 범위 $-60^\circ \sim 60^\circ$ 내에서 임의의 큰 Radar Cross Section(RCS)를 가지도록 배치한 것이다. 그림 4(b)는 이 지형 시나리오를 바탕으로 이미지 생성 알고리즘을 수행하여 얻은 시뮬레이션 결과로 시나리오에 배치된 지형들이 시스템에서 설정한 분해능에 맞게 거리-방위각 도메인에 나타나는 것을 볼 수 있다.

실제 지형 시나리오에 비해 다소 부족한 분해능을 보이고 부엽들이 지형 근처에 존재하게 되는데 이는 단일 안테나를 사용하는 저가의 레이더 시스템에서는 다소 큰 빔 폭과 높은 SLL을 가지는 원인이다. SLL을 낮추기 위해 가중치에 테이퍼링을 하거나 분해능을 높이기 위한 다른 기법들을 사용한다면 더 좋은 성능의 이미지를 얻을 수 있다.



(a)



(b)

Fig. 4 2-D clutter image (a) topographic scenario, (b) simulation for (a)

Ⅴ. 결 론

본 논문에서는 회전하는 안테나를 장착한 헬기가 착륙하는 과정에서 착륙지형(클러터)에 대한 이미지를 얻는 알고리즘을 제안하였다. 각도에 따라 달라지는 도플러 주파수 특성을 이용하여 클러터로부터 수신되는 신호를 수학적으로 모델링하였다. 또한 이미지를 얻기 위해 부엽을 억제하고 안테나의 지향방향에 대한 신호 성분을 추출하는 FIR 필터 구조를 제시하였고 도플러 주파수의 특성으로 인해 필터 출력값 간의 차이가 생기는 것을 보상해주었다. 가상의 지형 시나리오와 시뮬레이션 결과를 비교하여 이미지 생성 알고리즘의 성능을 보였다.

SAR와 같은 고해상도의 이미지는 아니지만 저가형의 회전하는 단일 안테나로 구성된 레이더 시스템을 통해 착륙지형에 대한 이미지를 얻음으로써 사고 발생빈도가 높은 착륙 시나 시야가 제한된 상황에서 조종사의 안전을 위한 보조지표로 활용될 수 있음을 보였다.

ACKNOWLEDGMENTS

This material is based upon work supported by the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE, Korea) under Industrial Technology Innovation Program(No. 10050545, 'Development of Collision Avoidance Radar Sensor System for Helicopter') and partially by the Research Grant of Kwangwoon University in 2015.

REFERENCES

[1] D. A. Aushermen, A. Kozma, J. L. Walker, H. M. Jones, and E. C. Poggio, "Developments in Radar Imaging," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. AES-20, no. 4, pp.363- 400, July 1984.

[2] J. Wu, J. Yang, Y. Huang, and H. Wang, "Bistatic forward-looking SAR: Theory and challenges," in *Proceeding of IEEE Radar Conference*, California: CA, pp. 1-4, 2009.

[3] H. Cox, R. Zeskind, and M. Owen, "Robust adaptive beamforming," *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 35, no. 10, pp. 1365-1376, Oct. 1987.

[4] M. A. Richards, "Pulsed Radar Data Acquisition," in *Fundamentals of Radar Signal Processing*, 2ed ed. New York, NY: McGraw-Hill, ch. 3, pp. 111, 2014.

[5] B. R. Mahafza, "Detection of Fluctuating Targets," in *Radar Systems Analysis and Design Using Matlab*, 3rd ed. Boca Raton, FL: McGraw-Hill, ch. 13, pp. 433, 2013.

[6] M. A. Richards, "Signal Models," in *Fundamentals of Radar Signal Processing*, 2ed ed. New York, NY: McGraw-Hill, ch. 2, pp. 87, 2014.

배창식(Chang-Sik Bae)

2015년 2월 : 광운대학교 전파공학과 학사
2015년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석사과정
※관심분야 : 디지털 신호처리, 레이더 신호처리

전현무(Hyeon-Mu Jeon)

2012년 2월 : 광운대학교 전자공학과 학사
2012년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 석박통합과정
※관심분야 : 디지털 신호처리, 레이더 신호처리

김재학(Jae-Hak Kim)

2000년 2월 : 광운대학교 전파공학과 학사
2003년 2월 : 경기대학교 전자공학과 석사
2015년 2월 : 광운대학교 방위사업학과 박사
2006년 ~ 현재 : (주)에이스안테나 수석연구원
※관심분야 : 안테나, 레이더 신호처리

양훈기(Hoon-Gee Yang)

1985년 2월 : 연세대학교 전자공학과 학사
1987년 5월 : SUNY at Buffalo 전기컴퓨터공학과 석사
1992년 4월 : SUNY at Buffalo 전기컴퓨터공학과 박사
1992년 5월 ~ 10월 : SUNY at Buffalo 연구원
1993년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 교수
※관심분야 : 무선통신 시스템, 디지털 신호처리, 레이더 신호처리