

다중 셀 평균 기반 CFAR 검출을 이용한 SAR 영상 표적 탐지 기법

Synthetic Aperture Radar Target Detection Using Multi-Cell Averaging CFAR Scheme

송우영 · 노수현 · 정철호 · 곽영길

Woo-Young Song · Soo-Hyun Rho · Chul-Ho Jung · Young-Kil Kwag

요 약

최근 SAR(Synthetic Aperture Radar) 영상의 거리 및 도플러 해상도가 높아짐에 따라 표적의 탐지 정확도는 향상되고 있지만 처리할 데이터 용량이 급증하고 있다. 기존의 단일 셀 기반 CFAR 검출기는 전체 영상 내에서 모든 거리 셀 데이터를 검사하여야 하므로 CFAR 검출기의 속도 성능 저하를 가져온다. 본 논문에서는 다중 셀 기반 CFAR 처리 방법을 2단으로 개선하여 1단계에서는 다중 셀 평균 기반 CFAR 검출을 이용하여 예상 표적 지역을 검출하고, 2단계에서는 예상 표적 지역에 대해서만 단일 셀 기반 CFAR 검출을 수행함으로써 처리 시간을 줄이고 표적의 탐지 성능을 획기적으로 향상시켰다. 제안된 기법에 대한 성능은 실제 SAR 영상을 통하여 기존의 단일 셀 기반 방식과 다중 셀 평균 기반 검출 방식을 비교 분석하였다.

Abstract

Since the range and Doppler resolution of the synthetic aperture radar(SAR) image becomes very high, the target detection accuracy can be significantly increased, but the computational burden is also increased. The conventional single-cell based CFAR detector performs the target detection on every single cell basis, thus it causes the serious increment of the computational load. In this paper, the improved two-step MCA-CFAR detector is proposed for the improvement of the target detection as well as the reduction of computational load: the first step is to use the MCA-CFAR, and the second step is to use the single-cell based CFAR detection in the expected target area for final decision. The performance of the proposed algorithm is compared with the conventional single-cell based CFAR and MCA-CFAR on SAR images.

Key words : Synthetic Aperture Radar, CFAR, Target Detection, Fast CFAR

I. 서 론

항공기 및 위성 탑재 영상 레이다(SAR: Synthetic Aperture Radar)는 광학 영상과는 달리 주야간 및 날씨에 상관없이 원하는 지역에 대한 고해상도 영상을 획득할 수 있어 자동 표적 탐지(automatic target de-

tection) 시스템에 중요한 기술로 활용되고 있다. SAR 영상에서 ATD 시스템은 일반적으로 실시간 표적 탐지를 요구하기 때문에 신속한 표적 검출 능력을 필요로 한다. 그러나 SAR 영상의 해상도가 높아짐에 따라 표적 탐지 성능은 좋아지지만 데이터량이 급증하여 이에 따른 연산 속도 문제 해결이 필수적

「본 연구는 국방과학연구소의 지원을 받아 수행되었습니다(UD090001FD).」

한국항공대학교 항공전자공학과(Department of Avionics, Korea Aerospace University)

· 논문 번호 : 20091127-08S

· 교신저자 : 곽영길(e-mail : ykwag@kau.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 1월 29일

이다.

SAR 영상에서의 선박 탐지를 위한 알고리즘으로는 CFAR(Constant False Alarm Rate) 검출기, GLRT (Generalized Likelihood Ratio Test), 웨이블릿 등의 기법들이 쓰인다. CFAR 검출기는 그 구조가 간단하고 일정한 오경보율을 유지하는 특성을 가지고 있어 SAR 영상 표적 탐지 기법 중 가장 널리 사용된다^[1]. CFAR 검출기에 대한 연구는 SAR 영상에 분포하는 클러터 환경에 보다 유사한 확률 분포를 모델링하는 문제와 연산 속도를 향상하기 위한 CFAR 구조적인 설계 문제 등 현재까지 다양한 연구가 이루어지고 있다.

최근에는 G^0 분포를 이용한 AF(Adaptive and Fast)-CFAR 구조가 SAR 영상에서의 표적 검출을 위해 제안되었다^[2]. G^0 분포의 경우 비균질 클러터 특성을 잘 반영하고 있으며, CFAR 검출 과정에서 필요한 특성 파라미터의 추정이 용이하고 연산 복잡도 또한 낮기 때문에 고용량의 데이터를 처리해야 하는 SAR 영상에 적합한 모델이다. 또한 AF-CFAR는 중복되는 연산을 줄임으로써 신속한 연산 처리가 가능한 Fast CFAR 구조이다. 하지만 AF-CFAR는 적은 양의 셀로도 표적 검출이 가능한 경우 연산 속도 개선 효과가 현저히 떨어지는 단점을 가지고 있다.

SAR 영상에서 표적은 일반적인 레이더 신호와는 달리 여러 해상도 셀 내에서 점유된다. 따라서 각각의 셀에 대해 표적 검출을 하는 단일 셀 CFAR의 경우 불필요한 연산 시간을 가져오고 동시에 표적보다 작은 크기의 오경보들을 유발하게 된다. 다중 셀 평균(MCA: Multi-Cell Averaging)을 이용한 CFAR의 경우 이러한 문제점을 일부 감소시킬 수 있으나, 표적의 형태를 심각하게 왜곡시켜 정확한 표적의 위치를 결정하는데 어려움이 있다. 본 논문에서는 표적 형태의 왜곡을 최소화하며 빠르게 표적을 탐지하는 CFAR 구조를 제안한다. 1단계에서는 MCA-CFAR를 사용하여 넓은 지역에 대해 신속한 CFAR 검출을 실시하여 예상 표적 지역을 검출한다. 2단계에서는 검출된 예상 표적 지역에 대해서만 선별적으로 단일 셀 기반 CFAR 검출을 함으로써 표적 탐지 속도를 향상 시키고 최종적으로 정확한 표적의 위치를 결정한다.

II. G^0 분포에 기반한 CFAR 검출기

CFAR 검출기를 이용한 표적 탐지에서 실제 환경과 유사한 클러터 분포 모델을 결정하는 것은 CFAR 검출기의 성능과 직결되는 중요한 요소이다. 이를 위해 현재까지 수많은 클러터 모델이 제안되었고, 그 중 G^0 분포는 비균질 클러터에 대한 특성을 충분히 고려하였고 멀티룩(Multilook) 클러터 모델에 적합한 것으로 알려져 있다. G^0 분포는 관련 파라미터에 대한 계산이 간단하기 때문에 고용량의 SAR 영상에서 표적을 검출하기에 적절한 모델이다. 픽셀 밝기에 따른 G^0 분포는 다음과 같이 표현된다^[3].

$$fz_I(D) \sim G^0(\alpha, \gamma, n) = \frac{n^n \Gamma(n-\alpha) I^{n-1}}{\gamma^\alpha \Gamma(n) \Gamma(-\alpha) (\gamma+nD)^{n-\alpha}}, \quad -\alpha, \gamma, n, I > 0 \quad (1)$$

I 는 밝기 변수, n 은 유효 룯 수, α 는 형태 파라미터, γ 은 스케일 파라미터이다. 멀티룩 영상에 대한 파라미터는 식 (2), (3)과 같이 정리될 수 있다^{[2][3]}. 각각의 파라미터는 SAR 영상 내에서 참조 셀로부터 추정된 평균 및 제곱평균치를 통해 얻어진다.

$$\hat{\alpha} = -1 - \frac{nE(I^2)}{nE(I^2) - (n+1)E^2(D)} \quad (2)$$

$$\hat{\gamma} = (-\hat{\alpha} - 1)E(D) \quad (3)$$

CFAR 검출기 설계 요구 조건으로 주어지는 오경보율에 따른 임계치 T 는 식 (4)와 같은 관계를 통해서 얻을 수 있다.

$$1 - P_{fa} = \int_0^T fz_I(D) dI \quad (4)$$

식 (4)에서 유도되는 임계치 T 는 최종적으로 식 (5)와 같이 표현된다.

$$T = \hat{\gamma} (P_{fa}^{\hat{\alpha}} - 1) \quad (5)$$

SAR 영상에서 표적에 대한 탐지 여부는 식 (5)와 같이, 임의로 설정된 P_{fa} 와 주변 참조 셀로부터 추정되는 파라미터 α 와 γ 에 의해 결정된다. 다시 말해 임계치 T 는 주변 환경에 따라 가변되며, 최종적으로 가변 임계치 T 보다 높은 셀들이 표적으로 결정된다.

III. 제안 CFAR 알고리즘

제안된 CFAR 알고리즘은 크게 다중 셀 평균 기반 CFAR 검출과 단일 셀 기반 CFAR 검출로 나눌 수 있다. 고해상도 SAR 영상에서는 표적이 여러 해상도 셀 내에 점유되기 때문에 다중 셀 평균 기반 CFAR 검출을 통해 고속으로 넓은 지역을 CFAR 검출할 수 있다. 하지만 다중 셀 평균 기반 CFAR 검출은 표적의 형태를 왜곡시키는 단점이 있다. 일반적으로 CFAR 검출은 ATR(Automatic Target Recognition)의 첫 단계이다^[4]. 그러므로 표적 인식과 같은 후처리를 위해 표적의 형태 왜곡을 최소화하여 표적의 정확한 위치를 찾아야 한다. 이를 위해 2단계에서는 단일 셀 기반 CFAR 검출을 실시하여 표적 형태의 왜곡을 최소화 한다.

3-1 다중 셀 평균 기반 CFAR 검출

SAR 영상 데이터는 용량이 매우 크기 때문에 실시간 표적 탐지를 위해서는 탐지 속도의 개선이 필수적이다. 제안된 알고리즘은 전체적인 영상에서 예상되는 표적 지역을 빠르게 탐지하기 위해 1차적으로 다중 셀 평균 기반 CFAR 검출을 한다. 다중 셀 평균 기반 CFAR 검출기는 평균 셀의 크기가 커질수록 표적 탐지 속도는 증가하지만 표적 형태의 왜곡이 심각해지는 단점이 있다. 또한 영상의 해상도에 따라 영상 내에서 표적이 점유하는 셀의 수가 변동하므로 영상에 따라 다중 셀 평균 지역을 가변적으로 적용시켜야 한다. 본 논문에서는 3x3 평균 셀을 사용하였고, 선택된 검사 셀의 중복을 피하기 위해 검출기를 3칸씩 띄어 이동시킴으로써 연산량을 감소시켰다. 다중 셀 평균 기반 CFAR 검출 단계에서는 구조상 표적 탐지율의 저하가 발생할 수 있기 때문에 오경보율을 높게 설정하여 성능 저하를 최소화 하였다.

3-2 단일 셀 기반 CFAR 검출

단일 셀 기반 CFAR 검출 단계에서는 1단계 다중 셀 평균 기반 CFAR 검출로부터 얻어지는 예상 표적 지역에 대해서만 선별적으로 표적 검출을 실시한다. 예상 표적 지역에 대해서만 표적 검출을 함으로써 기존의 단일 셀 기반 CFAR에 비해 불필요한 계산을

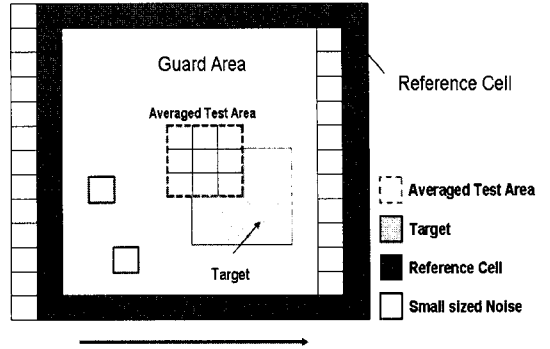


그림 1. 다중 셀 평균 기반 CFAR 구조
Fig. 1. MCA-CFAR structure.

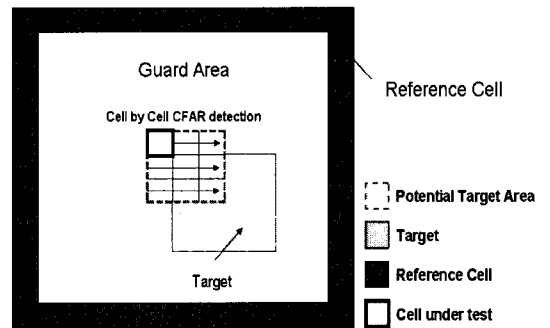


그림 2. 단일 셀 평균 기반 CFAR 구조
Fig. 2. Single cell based CFAR structure.

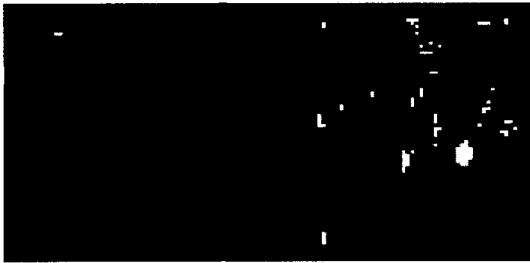
줄인다. 또한, 표적 형태의 왜곡을 최소화하여 표적의 정확한 위치를 찾음으로써 표적 형태 왜곡으로 인한 표적 탐지율의 저하를 최소화 하였다. 임계치는 1단계 다중 셀 평균 기반 CFAR 검출에서 결정되었기 때문에 중복적으로 임계치를 계산하지 않고 1 단계에서 구해진 임계치 T 를 사용함으로써 계산 시간을 감소시켰다. 제안된 기법은 그림 2에서와 같이 1단계 다중 셀 평균 기반 표적 탐지 지역에 표적 셀이 일부 들어올 경우 다중 셀 평균 지역에 대해 검사셀을 한 칸씩 이동시켜 정확한 표적 부분을 찾아낸다.

IV. 시뮬레이션 결과 및 성능 분석

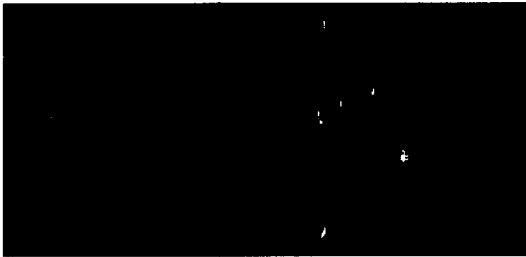
복잡한 클러터 환경을 지닌 항만 지역 근처의 SAR 영상을 이용하여 제안된 알고리즘의 성능을 분석하였다. 사용된 영상은 C-밴드 MLI(Multi Look Intensity) SAR 영상으로 해상도는 거리 방향으로 27.7 m, 방위 방향 해상도는 26.4 m이다. 촬영된 지



(a) 원영상
(a) Original image



(b) 다중 셀 평균 기반 표적 탐지 결과
(b) Result of MCA-CFAR based target detection

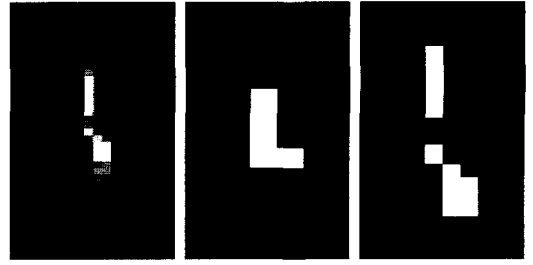


(c) 단일 셀 기반 표적 탐지 결과
(c) Result of single cell based target detection

그림 3. 제안된 기법의 표적 검출 결과($P_{fa}: 10^{-2}$)
Fig. 3. Result of proposed scheme($P_{fa}: 10^{-2}$).

역은 인천공항 주변의 해안가이며, 지상의 구조물들이 상대적으로 높은 밝기 값을 가지는 것을 알 수 있다. 본 논문에서는 이러한 클러스터들을 제거하고 바다 위에 있는 선박만을 효과적으로 검출한다.

그림 3(b)는 1단계인 다중 셀 평균 기반 표적 탐지 결과로 다수의 오경보가 포함되어 있는 모습을 볼 수 있다. 표적을 제외한 오경보들은 대부분 높은 반사도를 갖는 인공 구조물이 많이 위치하고 있는 육지에 분포하고 있다. 이러한 오경보들은 표적 탐지율의 저하를 막기 위해 높게 설정된 오경보율 때문이다. 이렇게 높게 설정된 오경보율을 통해 검출된 다중 셀 평균 기반 표적 탐지의 결과는 예상되는 표



(a) 원영상 (b) 다중 셀 (c) 제안 기법
(a) Original (b) MCA (c) Proposed

그림 4. 다중 표적의 경우 CFAR 검출 결과
Fig. 4. Result of CFAR detection for multitarget situation.

적 지역으로 결정되고 다음 단계인 단일 셀 기반 표적 탐지의 대상 지역이 된다.

그림 3(c)는 최종적으로 표적 탐지가 된 모습으로 2단계 단일 셀 기반 표적 탐지에 적용된 오경보율은 10^{-2} 이다. 최종적으로 표적 6개를 모두 검출하였고, 오경보 1개가 발생하였다.

그림 4는 다중 표적의 경우 CFAR 검출 결과를 나타낸다. 원영상에서 인접해 있는 두 표적이 다중 셀 평균 기반 CFAR의 경우 하나의 표적으로 왜곡되어 나타나는 모습을 볼 수 있다. 이러한 표적 형태의 왜곡은 표적 탐지율의 저하를 일으킬 수 있다. 반면에 제안된 알고리즘은 원영상의 표적 형태를 유지하여 표적을 두 개로 구분하였다.

그림 5는 제안된 알고리즘의 오경보 제거 성능을 보기 위한 시뮬레이션 결과로 기존 단일 셀 기반 CFAR 결과에 비해 제안된 기법에서는 스펙클 노이즈 같은 작은 크기의 오경보들이 상당수 제거됨을 알 수 있다.

표 1은 오경보율 변화에 따른 성능분석으로 오경보율 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} 으로 각각 변화시켜가며 표적 탐지 성능 및 오경보율을 비교한 결과이다. 그림 6에서 볼 수 있듯이 오경보율이 10^{-3} 로 주어졌을 때에는 표적을 모두 탐지하였으나 오경보 1개가 발생하였다. 10^{-4} 에서는 표적 6개를 모두 검출하였고 오경보를 모두 제거하였다. 10^{-5} 의 경우에는 표적 1개를 놓치는 결과를 볼 수 있다. 실험 결과 제안된 알고리즘은 10^{-4} 에서 최적의 성능을 보임을 알 수 있다.

표 2는 제안된 기법과 단일 셀 기반 CFAR의 결과를 비교한 것으로 오경보율은 그림 6의 시뮬레이션



(a) 원영상
(a) Original image



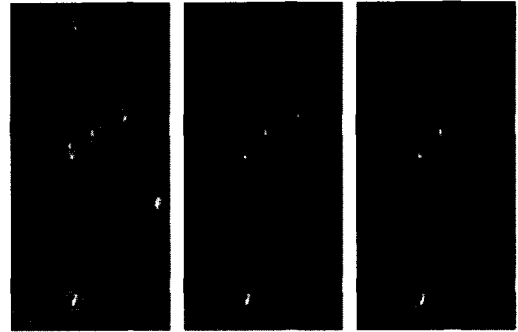
(b) 단일 셀 기반 CFAR 결과
(b) Result of single cell based CFAR



(c) 제안된 기법 결과
(c) Result of proposed algorithm

그림 5. 오경보율 비교
Fig. 5. Comparison of false alarm rate.

결과에서 성능이 가장 좋은 10^{-4} 로 설정하였다. 표적 탐지에서는 기존의 단일 셀 기반 CFAR와 제안된 기법 모두 영상 내에 존재하는 총 6개의 표적 중 6개 모두를 검출하였다. 연산 시간을 비교한 결과, 단일 셀 기반 CFAR는 0.244638초의 시간이 걸렸지만 제안된 기법은 0.051216초로 기존 연산 시간에 비해 약 79.1%의 연산 시간 감소를 보였다. 제안된 기법은 기존의 단일 셀 기반 CFAR와 동일한 표적 탐지 성능을 보이는 동시에 그 연산 시간이 크게 감소되는 것을 알 수 있다.



(a) $P_{fa}=10^{-3}$ (b) $P_{fa}=10^{-4}$ (c) $P_{fa}=10^{-5}$

그림 6. 제안된 기법 결과($P_{fa}: 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}$)
Fig. 6. Result of the proposed algorithm($P_{fa}: 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}$).

표 1. 오경보율에 따른 표적 탐지 성능 비교
Table 1. Performance comparison of target detection and computation time.

오경보율	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}
총 표적	6	6	6
탐지된 표적	6	6	5
오경보	1	0	0

표 2. 표적 탐지 성능 및 연산 시간 비교
Table 2. Performance comparison of target detection and computation time.

	단일 셀 CFAR	제안된 기법
총 표적	6개	6개
탐지된 표적	6개	6개
연산 시간	0.244638초	0.051216초
시간 감소율	0 %	79.1 %

V. 결 론

본 논문에서는 SAR 영상 표적 탐지 성능 및 처리 속도 향상을 위한 새로운 CFAR 표적 탐지 기법을 제안한다. 제안된 CFAR 알고리즘은 멀티룩(multi-look) 클러스터의 모델에 적합한 G^0 분포를 사용한다. 제안된 기법은 모두 2단계 처리로 구성되며, 1단계에서는 다중 셀 평균 기반 CFAR 검출을 하여 예상 표적 지역을 검출하고 동시에 작은 크기의 오경보를 줄였다. 2단계로 예상 표적 지역에 대해서만 단일 셀 기반 CFAR 검출을 하여 표적 탐지 속도를 향상시켰고, 동시에 표적 형태의 왜곡을 최소화하여 표

적 탐지 성능을 향상시켰다. 본 기법은 향후 다양한 클러터 분포에서도 선박 탐지뿐만 아니라 지상 표적 탐지에도 적용될 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

[1] D. J. Crisp, "The state-of-the-art in ship detection in synthetic aperture radar imagery", *Defence Science and Technology Organization Research Report, DS-TO-RR-0272*, May 2004.

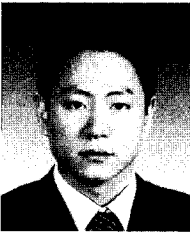
[2] G. Gao, L. Liu, L. Zhao, G. Shi, and G. Kuang, "An adaptive and fast CFAR algorithm based on automatic censoring for target detection in high-re-

solution SAR images", *IEEE Trans on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 47, no. 6, pp. 1685-1697, Jun. 2009.

[3] A. C. Frery, H. J. Muller, C. C. F. Yanasse, and S. J. S. Sant'Anna, "A model for extremely heterogeneous clutter", *IEEE Trans on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 35, no. 3, pp. 648-659, May 1997.

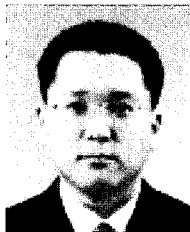
[4] L. M. Novak, G. J. Owirka, W. S. Brower, and A. L. Weaver, "The automatic target recognition system in SAIP", *Journal of Lincoln Lab.*, vol. 10, no. 2, pp. 187-202, 1997.

송 우 영



2008년 2월: 세종대학교 전자공학과 (공학사)
 2009년 3월~현재: 한국항공대학교 항공전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] SAR Target Detection, Radar Signal Processing

정 철 호



2003년 2월: 금오공과대학교 전자공학과 (공학사)
 2005년 2월: 금오공과대학교 전자공학과 (공학석사)
 2006년 3월~현재: 한국항공대학교 항공전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] Synthetic Aperture Radar Processing, SAR-CFAR Detector, Moving Target Detection, Radar Signal Processing

노 수 현



2008년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)
 2009년 3월~현재: 한국항공대학교 항공전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] Synthetic Aperture Radar Processing, Radar Signal Processing

곽 영 길



1976년 2월: 한국항공대학교 항공통신공학과 (공학사)
 1981년 2월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학석사)
 1987년 6월: 미국오하이오대학교 전기전자공학과 (공학박사)
 1976년 3월~2001년 3월: 국방과학연구소 책임연구원, 레이더 및 SAR 연구실장
 1997년 2월~1999년 2월: 영국 Matra Marconi Space 위성 SAR 프로젝트 책임자
 2001년 3월~현재: 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 교수 및 대학부설 항공전자연구소 소장 역임
 2002년 4월~2008년 12월: 한국전자과학회 레이더연구회 위원장, IEEE Radar Society 및 APSAR Committee 위원
 2007년 9월~2008년 8월: 영국 옥스퍼드대학교, Dept of Engineering Science, 방문교수, UWB Radar 연구
 [주 관심분야] Radar System Design, Radar Signal Processing, Synthetic Aperture Radar Processing, UWB Antenna & UWB Radar Imaging, Collision Avoidance Radar