

레이더 표적인식 기술동향 및 전망

최인식

한남대학교 전자공학과

목 차

I. 서론

II. 레이더 표적인식 기술

III. 레이더 표적인식 기술 개발 동향

IV. 레이더 표적인식 기술의 전망

I. 서론

레이더는 전자기파를 송신하여 표적으로부터 되돌아오는 역산란(backscattering) 신호를 이용하여 표적에 대한 거리, 속도 등의 유용한 정보를 추출해내는 장비이다. 이러한 레이더 기술에 신호처리 기술이 접목되어 표적의 역산란 신호를 분석함으로써 표적의 종류나 기종을 인식하는 표적인식 및 식별(target recognition and identification) 기술이 최근 레이더 분야에 있어서 매우 중요한 이슈가 되었다.

표적 인식에 사용될 수 있는 특성들에는 시간 영역의 산란 현상인 산란점(scattering center)과 주파수 영역의 산란 현상인 공진 또는 복소 고유 주파수(complex natural resonance frequency)가 있다. 레이더 신호에서 산란점은 주로 초기 시간 영역에서 나타나며, 공진 현상은 후기 시간 영역에서 잘 나타난다. 지금까지 이러한 산란점과 고유주파수를 효율적으로 추출하기 위한 많은 연구들이 진행되어져 왔다. 이 두 가지 산란 현상을 모두 관찰하기 위해서는 광대역(Ultra-Wide Band, UWB) 시간 영역 신호를 이용해야 하는데 국내에는 아직 이러한 광대역 시간 영역 레이더 측정 시스템이 구비되어 있지 않아 연구가 미진한 상태다. 이에 반해 고주파 영역에서 관찰되는 산란점을 측정할 수 있는 콤팩트 레인지(compact range)는 포항공대, 국방과학연구소 등에 갖추어져 있어 국내 연구 여건이 뛰어나다고 할 수 있다.

최근에는, 전 세계적으로 위협이 증강하고 있는 저 RCS 대공 표적의 형상 및 흡수체에 의한 스텔스 효과

를 무력화할 수 있는 저주파 대역(L-대역, VHF, UHF)의 전자파 특성을 이용한 스텔스 표적 탐지 및 인식 기술이 연구 개발 중에 있다. 저주파 대역의 레이더 신호를 이용하면 저RCS 표적의 기술 중 고주파 영역에서 동작하는 전파흡수체의 기능을 회피할 수 있다. 또한, 송·수신기의 위치가 분리되어 있는 바이스태틱 또는 멀티스태틱 레이더 구조를 이용하여 역산란 신호가 아닌 전방산란(forward scattering) 또는 측면산란(sideward scattering) 신호를 이용하여 저 RCS 표적을 탐지 및 식별하는 방법이 있으며, 이에 대한 많은 연구가 진행되고 있다.

본 글에서는 레이더 표적인식 기술의 동작원리에 대해 알아보고, 국방 감시 정찰 분야에서의 표적인식 기술의 개발 동향을 파악하고자 한다. 마지막으로, 레이더 표적인식 기술의 개발 전망 및 해결해야 할 과제들을 제시하고자 한다.

II. 레이더 표적인식 기술

국방 연구개발 분야에 있어 센서를 이용한 자동 표적인식 기술(ATR: Automatic Target Recognition)은 그 중요성이 증대되고 있다. 자동 표적인식 시스템을 위한 센서로는 광학센서, 열상센서, 레이더 등이 이용되고 있다. 본 글에서는 특히 레이더를 이용한 비협조적 표적 인식기술(NCTR: Non-Cooperative Target Recognition)의 기술동향 및 발전 방향에 대해 기술할 것이다. 레이더를 이용한 대공 표적 인식 기술로는 산

란점(scattering center)을 이용하는 방법, 고유주파수(natural frequency)를 이용하는 방법, JEM(Jet Engine Modulation)을 이용하는 방법 등이 있다. 산란점은 주로 고주파 영역에서 발생하는 산란 현상이며, 고유 주파수는 저주파 영역에서 발생하며 주로 표적의 물리적인 크기에 의해 결정되는 특성이다. JEM은 공기흡입구(inlet)와 같이 공진이 발생하고 RCS (Radar Cross Section)가 매우 크다는 성질을 가지고 있다. 이들 중 국내외적으로 NCTR에서 주로 사용되는 특성벡터는 산란점과 고유주파수이다.

NCTR 연구는 그림1과 같은 훈련(training) 과정과 그림 2의 구분(classification) 과정으로 나눌 수 있다. 훈련 과정은 일반적으로 Off-line으로 수행이 되며, 구분 과정은 On-line상에서 이루어진다고 볼 수 있다.

먼저, 그림 1과 같이 표적 구분을 위한 구분기를 설계하기 위해서는 다양한 표적의 표적 데이터베이스를 구축해야 한다. 표적 데이터베이스를 구축하기 위해서는 전자장 수치해석 기법인 모멘트법, 물리광학법, 기하광학법 등을 이용하거나 측정을 통한 방법을 이용할 수 있다.

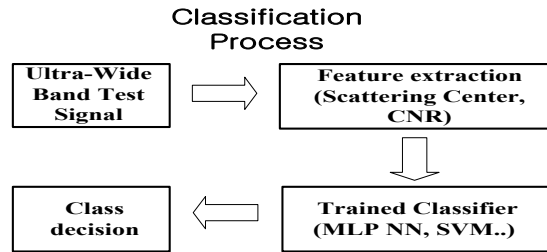


그림 2. 표적 인식 구분 과정의 블록도

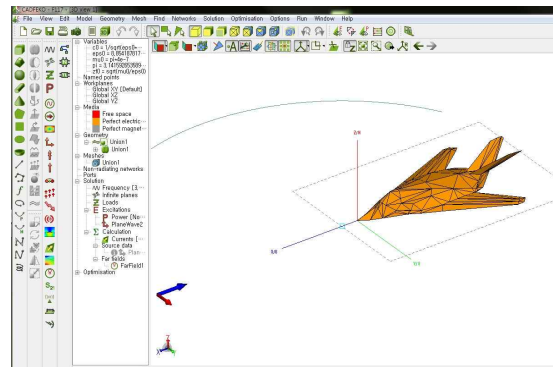


그림 3. FEKO를 이용한 RCS 계산 실행 화면

Training Process

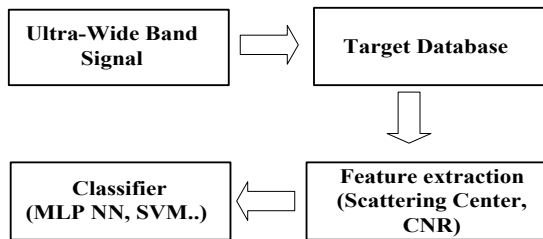


그림 1. 표적 인식 훈련 과정의 블록도

그림 3은 전자장 수치해석을 위한 사용 툴인 FEKO를 이용하여 표적의 RCS를 계산하는 실행 화면을 보여주고 있다. 그림과 같이 캐드 모델을 이용하여 표적을 생성시키고 실행하게 되면 입사파와 반사파를 이용하여 RCS를 계산하게 된다.



그림 4. 콤팩트 레인지(포항공대)를 이용한 측정

그림 4는 콤팩트 레인지의 실제 측정 사진이다. 콤팩트 레인지는 크게 표적물을 올려놓고 회전시키기 위한 지지대(positioner)부, 스텝 주파수(Stepped-frequency) 신호를 생성시키기 위한 신호 발생부, 급전 안테나 및 반사판 안테나에 의한 안테나부, 수신부, 제어 컴퓨터 등으로 구성되어 있다.

다음으로 중요한 과정은 바로 이와 같은 표적 데이터베이스 신호로부터 표적물의 특성벡터(산란점과 고유주파수)를 추출하는 것이다. UWB 신호를 이용한 표적 인식 기법으로 널리 사용되는 기술은 미시건주립대의 Rothwell 교수 연구팀이 개발한 초기 시간 영역과 후기 시간 영역 신호의 E-pulse를 이용한 방법이다[1]. E-pulse 기법 이외에도 산란점과 고유주파수를 추출하기 위해 적용 가능한 기법으로 Prony 기법, EP-based CLEAN 알고리즘[2], FFT-based CLEAN 알고리즘, MUSIC, ESPRIT 등 많은 알고리즘들이 개발되어 있다.

훈련 과정의 마지막 단계는 추출된 특성벡터를 이용하여 구분기를 설계하는 것이다. 일반적으로 사용되는 구분기는 그림 5와 같은 MLP (Multi-Layered Perceptron) 신경망 구분기이다[3]. MLP 신경망 외에도 RBF(Radial Basis Function), SVM(Support Vector Machine) 등 다양한 신경망을 적용할 수 있으며 구분기 간의 성능을 비교하는 연구가 관심을 끌고 있다.

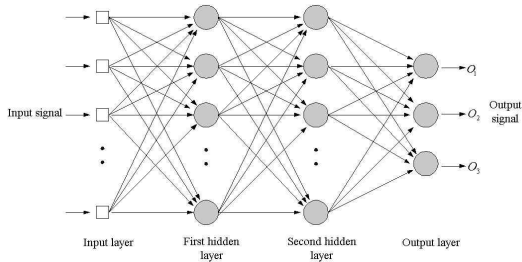


그림 5. MLP 신경망 구분기의 구성도

구축된 표적 데이터베이스는 훈련 과정에 사용할 데이터와 구분 실험에 사용할 테스트 데이터로 나눈다. 특별한 경우를 제외하고는 50:50으로 구분하는 것이 일반적이다.

표적 구분 과정은 임의의 테스트할 표적 신호로부터 산란점 또는 고유주파수와 같은 특성 벡터를 추출한 후, 앞의 훈련 단계에서 학습된 구분기에 입력하게 되면 최종적으로 표적의 구분 및 인식 결과를 얻게 된다.

III. 레이더 표적인식 기술 개발 동향

4.1 저주파 레이더를 이용한 표적 인식 기술

최근 들어, 세계 각국에서 저 RCS 표적인 스텔스 전투기가 잇따라 개발됨으로써 이를 탐지 인식하기 위한 관심이 고조되고 있다. 특히, 중국은 최근 그림 6에서 보는 바와 같이 스텔스 전투기 J-20을 개발하였다고 발표하였으며, 이는 한반도에 커다란 위협요소가 되고 있다.



(출처: <http://www.murdoonline.net/archives/10689.html>)

그림 6. 중국에서 개발한 스텔스 전투기 J-20

세계적으로 미국, 영국, 프랑스, 중국 등 선진국에만 기술을 보유하고 있으며 타 국가로의 기술이전 및 수출이 엄격히 제한되고 있는 스텔스 기술은 그림 7과 같이 전파흡수체(RAM: Radar Absorbing Material)와 스텔스 설계에 의해서 구현된다.

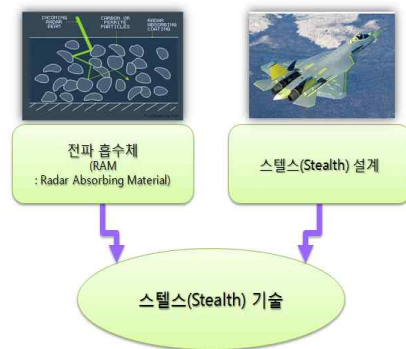


그림 7. 스텔스 구현 기술

이러한 저RCS 대공 표적의 전파흡수체에 의한 스텔스 효과를 무력화시키기 위해 저주파 대역(L-대역,

VHF, UHF)의 전자파 특성을 이용한 스텔스 표적 탐지 기술이 연구 개발 중에 있다[4]. 저주파 대역의 레이더 신호를 이용하면 저RCS 표적 구현에 사용된 기술 중에서 고주파 영역에서 동작하는 전파흡수체의 기능을 회피할 수 있기 때문이다. 그림 8에 나타난 네덜란드 탈레스사의 SMART-L은 저주파(Low frequency) 신호를 이용하여 스텔스 탐지 능력이 있음이 알려져 있다. 하지만, 저주파 대역의 레이더는 사용할 수 있는 대역폭이 제한되기 때문에 고해상도 신호처리가 어려우므로 이를 위해, 저주파 대역에 적합한 변조 신호 개발 및 이를 이용한 특성벡터 추출 기법 개발 등 표적 구분 기반 연구가 필요하다.



(출처: <http://www.thalesgroup.com/smart-l/?pid=1568>)

그림 8. 네덜란드 탈레스사의 SMART-L 레이더

특히, 미국에서는 UIUC 대학교에서 진행된 DARPA 과제인 "수동형 영상 레이더의 설계 및 최적화(Design and optimization of passive and active imaging radar)" 연구를 통하여 VHF대역 방송신호를 수신하는 수동형 레이더를 이용한 자동표적인식(automatic target recognition) 기능과 레이더 영상 기법을 구현하였다. 이 연구에서는 저RCS 프로파일(profiles)을 이용한 표적 인식을 위하여 모멘트법(method of moments) 기반인 고속 일리노이 해석 코드(FISC : Fast Illinois Solver Code)를 이용하여 다양한 입사각과 반사각에 대한 수동형 레이더에 알맞은 바이스테틱 RCS를 획득하여 실측된 RCS와 비교하였다[5]. 또한, 비행경로 모델을 사

용하여 저주파 수동 레이더의 표적물 인식 기법을 검증하였다. 즉, 비행경로 모델에 따라 이동하는 표적물에 대하여 파티클 필터(particle filter)를 이용한 동시 추적/인식 구현 및 역 합성 개구면 레이더(ISAR : Inverse Synthetic Aperture radar)영상 시스템을 구현하였으며, ISAR 영상을 위하여 오토포커스(autofocus) 기법 및 최적화 기법을 적용하여 뛰어난 표적인식 결과를 도출하였다[6-7].

4.2 멀티스테틱 및 MIMO 레이더를 이용한 표적인식 기술

앞에서 기술한 바와 같이 역산란 신호를 최소화한 스텔스 디자인을 무력화시키기 위해서는 바이스테틱 레이더 구조 또는 그림 9와 같이 멀티스테틱 레이더 구조를 이용하는 방법이 있으며, 이에 대한 많은 연구가 진행 중에 있다[8-9].

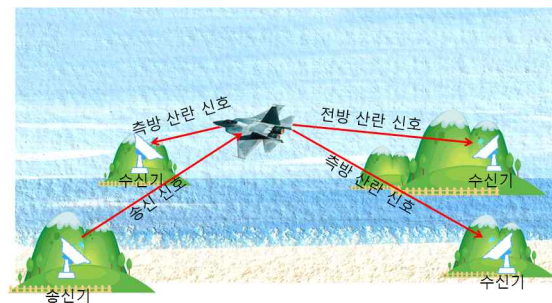
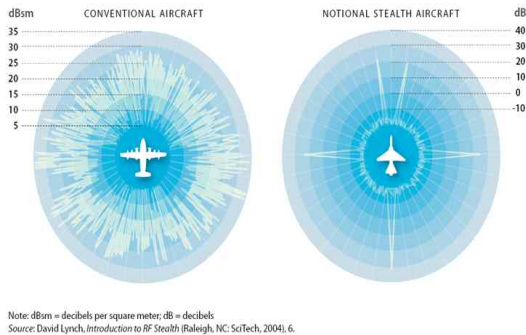


그림 9. 멀티스테틱 레이더 개념도

현재까지 레이더 표적인식을 위해 주로 사용된 레이더는 모노스테틱 레이더이다. 모노스테틱 레이더는 송/수신기가 분리되어 있지 않으며, 표적의 역산란 신호를 주로 측정한다. 스텔스 표적 또한 이러한 점 때문에 주로 표적의 역산란 신호를 최소화하도록 디자인되어 있다. 그림 10은 일반적인 레이다 표적과 스텔스 표적의 RCS(Radar Cross Section)를 관측각의 변화에 따라 도시한 그림으로써 RCS의 크기에 큰 차이가 있음을 알 수 있으며 또한 스텔스 표적은 역산란 신호가 작은 대신에 특정 각도에서는 매우 큰 RCS 값을 가지고 있음을 알 수 있다.



Note: dBsm = decibels per square meter; dB = decibels
Source: David Lynch, Introduction to RF Stealth (Raleigh, NC: SciTech, 2004), 6.

(출처: David Lynch, Introduction to RF Stealth, SciTech, 2004)

그림 10. 일반 표적과 스텔스 표적의 RCS 비교

따라서, 표적의 측방 산란 또는 전방 산란 신호를 탐지하기 위해서는 송/수신기가 분리되어 있는 바이스태틱 또는 멀티스태틱 레이더를 이용하여야 한다. 바이스태틱 레이더 또는 멀티스태틱 레이더는 표적 탐지 뿐만 아니라, 표적인식에도 많은 장점을 가질 수 있다. 따라서, 현재 많은 선진국들이 표적 탐지 및 인식 기술의 성능 향상과 스텔스 등 저RCS 표적의 탐지 및 인식을 위하여 멀티스태틱 레이더에 많은 투자를 하고 있다. 국내에서도 국방과학연구소를 비롯하여 많은 기관에서 위와 관련한 연구를 수행 중에 있다.

그림 11은 미국의 미시건 주립대학교가 보유하고 있는 바이스태틱 레이더 측정 시스템인 아치 레인지의 측정 사진을 보여주고 있다. 이러한 측정 시스템은 바이스태틱 및 멀티스태틱 레이더 연구를 위해서 꼭 필요한 시스템이라 할 수 있다. 하지만, 국내에서는 아직 이러한 바이스태틱 측정 시스템을 보유하고 있지 않아 관련 연구에 많은 어려움이 있다고 할 수 있다.

멀티스태틱 레이더의 개념을 확장한 것이 MIMO (Multiple Input Multiple Output) 레이더이다. 그림 12는 MIMO 레이더의 개념도이다. 즉, 여러 개의 송신기와 여러 개의 수신기를 이용하여 표적에 대한 더욱 많은 산란 데이터를 확보할 수 있으므로 표적인식에 유리하다고 할 수 있다. 현재 MIMO 레이더는 표적인식 뿐만 아니라, SAR 영상 품질 향상[10], 의료용 영상 획득, 공항 보안 검색대에서 숨겨진 무기의 탐지 [11] 등 많은 분야에서 관심을 불러일으키고 있다.

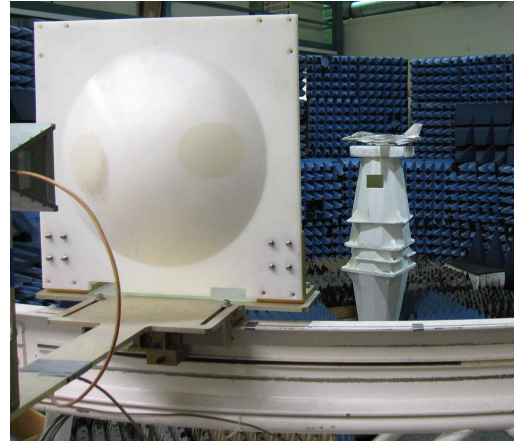
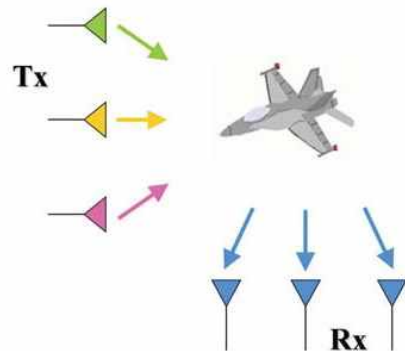


그림 11. 미시건 주립대의 바이스태틱 측정 시스템인 아치 레인지 (Arch Range)



(출처: https://meetings.vtools.ieee.org/meeting_view/list_meeting/8423)

그림 12. MIMO 레이더 개념도

IV. 레이더 표적인식 기술의 전망

과거의 레이더는 주로 모노스태틱 레이더를 이용함으로써 역산란 신호가 큰 표적들을 탐지하고 인식하는데는 문제가 없었다. 하지만, 최근 들어 미국, 중국, 러시아, 프랑스 등 세계 많은 선진국들이 스텔스 표적을 개발함에 따라 이를 탐지 및 인식하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 스텔스형 표적은 전파 흡수체(Radar Absorbing Material: RAM) 기술과 역산란(backscattering) 신호를 최소화하는 스텔스 설계 기술을 이용하여 모노스태틱 레이더에 잘 탐지가 되지 않는다.

이러한 스텔스 표적 탐지를 위한 기술로는 주로 고

주파 영역에서 동작하는 전파흡수체의 기능을 회피하기 위하여 네덜란드 탈레스사의 SMART-L 레이더처럼 저주파 신호를 이용하는 방법과 바이스테틱/멀티스테틱 레이더 및 MIMO 레이더 구조를 이용하여 역산란 신호가 아닌 전방산란(forward scattering) 또는 측면산란(sideward scattering) 신호를 이용하는 방법이 있으며, 이에 대한 많은 연구가 선진국을 중심으로 진행 중에 있다.

하지만, 아직 국내에서는 이러한 분야에 대한 연구가 활발하지 않았다. 지금부터라도 저주파 대역 및 멀티스테틱/MIMO 레이더를 이용한 스텔스형 표적의 탐지 및 인식에 관한 연구에 관심을 가지고 적극적인 투자가 이루어져야 한다고 생각된다. 만약 이러한 연구가 결실을 맺게 된다면, 국방연구 개발의 특성상 해외 기술이전이 불가능하거나 매우 어려운 스텔스 관련 기술 분야(스텔스 설계, 스텔스 재료 개발, 스텔스 표적 탐지 등)에서 국내 레이더 기술을 한 단계 끌어올릴 수 있는 계기가 될 것으로 기대된다.

또한, 스텔스 분야는 현재 국방과학연구소를 비롯하여 LIG 넥스원, 삼성탈레스 등 방산관련 대기업과 포항공과대학교, KAIST, 연세대학교, 한남대학교 등 학계에서도 많은 관심을 가지고 연구하고 있는 분야로서 연구소, 대기업 및 학계가 힘을 합하여 연구에 매진한다면 국내에서도 반드시 좋은 결과가 있을 것으로 기대된다. 또한, 바이스테틱/멀티스테틱 및 MIMO 레이더의 연구를 위하여 국내에 바이스테틱/멀티스테틱 레이더 측정 시스템을 도입하여 구축하는 레이더 기반 시설 확충이 필요하며, 이러한 투자를 통하여 바이스테틱 레이더를 이용한 고해상도 ISAR 영상(ISAR image) 획득 기법 연구, 저주파를 이용한 대형 장거리 급 레이더 개발 등 다양한 후속 연구가 뒤 따를 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] Q. Li, P. Ilavarasan, J.E. Ross, E.J. Rothwell, K.M. Chen, and D.P. Nyquist, "Combination of early-time and late-time based E pulses to improve target identification," IEEE Transaction on Antennas and Propagation 46: pp. 1272-1278, September 1998.
- [2] In-Sik Choi, Joon-Ho Lee, Hyo-Tae Kim and Edward J. Rothwell, "Natural frequency extraction using late-time evolutionary programming-based CLEAN," IEEE Trans. on Antennas and Propagation 51: pp. 3285-3292, Dec. 2003
- [3] Joon-Ho Lee, In-Sik Choi and Hyo-Tae Kim, "Natural frequency-based neural network approach to radar target recognition," IEEE Trans. on signal processing 51: pp. 3191-3197, Dec. 2003.
- [4] H. Kuschel et al, "Countering stealth with passive, multi-static, low frequency radars", IEEE Aerospace and Electronic System Magazine 25: pp. 11-17, Sep. 2010
- [5] J. M. Song , C. C. Lu, W. C. Chew, S. W. Lee, "Fast Illinois Solver Code (FISC)", IEEE Antenna and Propagation Magazine 40: pp. 27-34, Jun. 1998
- [6] Y. Wu, D. C. Munson, Jr., "Multistatic Synthetic Aperture Imaging of Aircraft using Reflected Television Signals", SPIE Proceedings 4382: April 2001.
- [7] Y. Wu, D. C. Munson, Jr., "Multistatic Passive Radar Imaging Using the Smoothed Pseudo Wigner-Ville Distribution", Proc. IEEE Int Conf. on Image Proc.: pp. 604-607, Oct. 2001.
- [8] J. I. Glaser, "Some results in the bistatic radar cross section(RCS) of complex objects", Proc. of IEEE 77: pp. 639-648, May 1989.
- [9] L. Gürel, H. Bagci, J. C. Castelli, A. Cheraly, and F. Tardivel, "Validation through comparison: Measurement and calculation of the bistatic radar cross section of a stealth target", Radio Science 38: pp. 1046-1058, Sept 2003.
- [10] J.H.G. Ender, "System architectures and algorithm for radar imaging by MIMO-SAR", 2009 IEEE Radar Conf.: pp. 1-6, May 2009.
- [11] Xiaodong Zhuge, A.G. Yarovoy, "A Sparse aperture MIMO-SAR-Based UWB Imaging system for Concealed weapon detection", IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing 49: pp.509-518, Jan. 2011.

저자소개



최인식 (Choi In-Sik)

1998년 2월 경북대학교 전자공학과
졸업

2000년 2월 POSTECH 전자전기공
학과 석사 졸업

2003년 2월 POSTECH 전자전기공학과 박사 졸업

2003년 4월 ~ 2004년 2월 LG전자기술원 근무

2004년 3월 ~ 2007년 2월 국방과학연구소 근무

2007년 3월 ~ 현재 한남대학교 전자공학과 교수

※관심분야 : 레이더 시스템 설계, 레이더 신호처리,
표적인식기법