

차세대 지능형 레이다 발전 방안

김 경 태

포항공과대학교

I. 서 론

지금까지 레이다는 주로 국방/우주 분야에서 가장 중요한 센서로써 원거리에서 표적을 탐지, 추적, 식별하기 위하여 사용되어 왔다. 국방 분야의 레이다 시스템은 주로 고출력 송신기를 사용하므로 안테나를 포함한 하드웨어 시스템의 부피가 매우 큰 특징이 있다.

하지만 최근 저출력·초소형 레이다 하드웨어 기술의 급격한 발달로 인하여 레이다의 응용범위가 확대되고 있다. 최근 급격히 발전한 차량용 레이다 기술은 이러한 변화를 촉진하는 원동력이 되고 있다. 차량용 레이다는 기존의 ACC (Adaptive Cruise Control), BSD(Blind Spot Detection), LCA (Lane Change Assistance) 등의 주행보조 센서에서 자율주행을 위한 고성능 센서로 그 역할이 변화하고 있으며, 이를 위한 기술개발이 매우 빠르게 진행되고 있다.

차량용 레이다 개발이 촉발한 레이다 하드웨어의 소형화, 주파수 대역의 상향화는 민수 분야에서 레이다의 응용 분야를 급격히 확대시키고 있으며, 일상생활에서 다양하게 활용될 수 있는 가능성을 열어 놓았다^{[1]-[5]}. 국방분야를 제외하고, 민수분야에서 레이다가 유용하게 사용될 수 있는 응용 분야를 간략히 요약하면 <표 1>과 같다.

<표 1>과 같이 다양한 분야에서 레이다의 활용이 가능하며, 현재 관련 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 차량용 레이다 분야를 제외한 다른 분야에서는 레이다를 이용한 상용 제품이 거의 출시되지 못하고 있으며, 관련 부가 가치 창출이 제한적으로 이루어지고 있다. 최근 10여 년간 활발한 연구에도 불구하고 레이다 기술의 상용화가 지연되고 있는 이유 중 하나는 레이다의 경우, 타 센서인 비전(vision), 적외선(infrared), 초음파(ultra-sonic) 센서 등과 경쟁관계에 놓여 있기 때문이다. 예를 들어 IoT용 센서의 경우, 응용 분야에 따라 레이다, 비전, 적외선, 초음파 센서 등을 모두 적용할 수 있거나, 복수의 센서를 적용할 수 있는 경우가 많이 있

며, 이럴 경우 성능 및 가격 경쟁력 측면에서 레이다가 갖는 장점이 타 센서와 비교할 때, 비교 열위에 있는 경우가 많다. 현재 가격 측면에서 레이다 하드웨어는 타 센서와 거의 비슷한 수준까지 와있으며, 향후 차량용 레이다의 확대/보급으로 가격이 지속적으로 하락할 가능성이 많다. 따라서 현재 및 미래의 레이다 가격 경쟁력은 타 센서와 비교할 때 충분히 비교 우위에 있을 것으로 예상된다. 이러한 이유로 현재 레이다의 민수분야 상용화가 늦어지고 있는 가장 큰 원인은 가격적인 측면이 아니라, 기술적인 측면에서 타 센서보다 성능이 열위에 있는 경우가 많기 때문이라고 보는 것이 타당하다.

<표 1> 민수분야의 다양한 레이다 응용 분야

응용분야	내용
IoT 분야	· 목표: 실내/근거리 사람을 탐지, 추적, 인식 등 · 응용: 재부재 감지, 사람 밀도 추정, 활동량 분석, 제스처 인식, 감정 인식 등
바이오/의료 분야	· 목표: 사람의 생체 활동 모니터링, 질병 예측, 치료 등 · 응용: 호흡/심박동 측정, 유방암 진단 전자파 영상 제작, 전파치료, MRI 등
차량용 레이다 분야	· 목표: 주행보조 또는 자율 주행을 위한 정보 추출 · 응용: ACC, BSD, LCA, 긴급 제동, 자율주행용 전후방 감시 등
통신 분야	· 목표: 레이다 정보를 이용한 5G/6G 통신 성능 향상 · 응용: 차량간 통신(V2V), 기지국용 빔 조향 등
환경 모니터링 분야	· 목표: 주변 환경의 변화 탐지 및 물성 측정 · 응용: 사회간접자본(도로, 비탈면, 교량 등) 모니터링, 지질 측정, 지표면 변위 측정, 농작물 관리, 식생 관리 등
보안 및 재난 감시 분야	· 목표: 사람 및 물체 탐지 · 응용: 중요시설 관리, 공항/항만 보안검색, 화재 인명 구조, 실종자 탐색 등

II. 문제점 및 시사점

향후 레이더 센서의 응용 분야를 넓히고, 상용화를 촉진 시키기 위해서는 타 센서에 비해서 레이더 센서가 가지고 있는 장점을 극대화 할 수 있는 응용 분야의 발굴과 함께 관련 기술 개발에 힘을 기울여야 한다. 각각의 센서는 장·단점을 모두 가지고 있으며, 타 센서와 비교하여 레이더 센서가 가지고 있는 특징은 다음의 <표 2>와 같다.

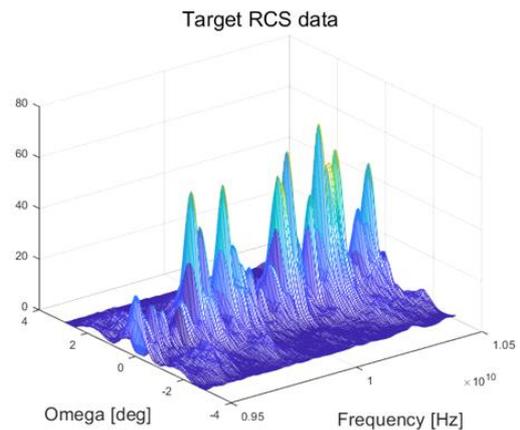
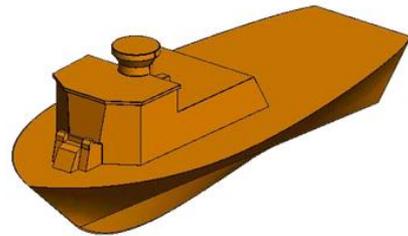
<표 2>에 있는 레이더 센서의 특성 중에서 신호 특성은 타 센서에 비하여 비교 우위에 있는 특징이라고 볼 수 있다. 또한, 산란 특성 중 물체의 이동 속도에 비례하는 도플러 주파수 및 주기적으로 움직이는 비강체에 의해 생성되는 마이크로 도플러 주파수 특성은 타 센서와 비교할 때 매우 큰 장점이라고 볼 수 있다. 도플러 주파수를 이용하면, 타 센서를 사용하여 측정하기 힘든 속도 정보를 알아낼 수 있기 때문에 효율적으로 이동물체를 탐지할 수 있다. 또한, 비강체의 주기적인 움직임에 의한 마이크로 도플러 주파수를 측정하면, 인체의 활동량, 호흡, 심박, 제스처(gesture) 등 중

<표 2> 레이더 센서의 특징

특성	내용
신호 특성	<ul style="list-style-type: none"> · 작은 전파 손실(propagation loss)을 통한 장거리 송수신 가능 · 주야에 관계없이 송수신 가능 · 날씨(비, 눈, 안개 등) 변화에 강인
산란 특성	<ul style="list-style-type: none"> · 회절/반사/투과를 통한 비가시 거리(non line of sight) 산란 특성 · 물체의 기하구조/재질에 따라 다른 산란 특성 · 각도/편파/주파수에 따라 다른 산란 특성 · 금속 물체에 대한 높은 반사 특성 및 비금속 물체에 대한 높은 투과 특성 · 이동 강체(rigid body)의 속도에 비례하는 도플러 주파수 생성 · 주기적으로 움직이는 비강체(non rigid body)에 대한 마이크로 도플러(micro-Doppler) 생성 · 파장 및 물체 크기의 상호 관계에 따라 서로 다른 산란 특성: 공진(resonance), 분산 산란(dispersive scattering), 정반사(specular return) 등
해상도 특성	<ul style="list-style-type: none"> · 타 센서에 비해 상대적으로 낮은 거리/각도 해상도 · 시스템 주파수 대역폭 확장 및 배열 안테나 구조를 사용하여 향상 가능

요한 정보를 알아낼 수 있다^{[6]~[12]}. 이외에도 드론, 소형 무인기 등 같이 반사 신호는 작지만 블레이드(blade)와 같은 비강체 구조가 있는 물체의 탐지 및 식별에 활용될 수 있다^{[13]~[18]}.

위의 특성 중 해상도 관점에서는 레이더가 비전 센서에 비하여 성능이 매우 떨어진다고 볼 수 있다. 이러한 낮은 해상도는 레이더의 응용 분야를 제한하는 중요한 원인이다. 또한, 레이더의 산란 특성을 살펴보면 같은 물체일지라도 상대적인 각도/편파/주파수에 따라 매우 다른 결과를 나타낸다. 특히 각도에 따른 레이더 단면적(Radar Cross Section: RCS)은 물체의 기하학적인 구조에 따라 수십 dB로 변화할 수 있다. [그림 1]은 배 모델에 대하여 상용 수치 해석도구를 사용하여 계산된 주파수-각도 영역에서의 RCS 값 변화를 보여준다. [그림 1]에서 보듯이 파장과 물체 크기의 상대적인 차이로 인해 산란 메커니즘이 변화하며, 그 결과 주파수 영역에서 RCS 값이 극심하게 변화한다. 반면에 각도 영역에서는 입사파의 변화에 따라 물체 표면에 유기되는 전류



[그림 1] 배 모델에 대한 주파수-각도 영역 RCS 변화 (위: 배 모델, 아래: RCS 분석 결과)

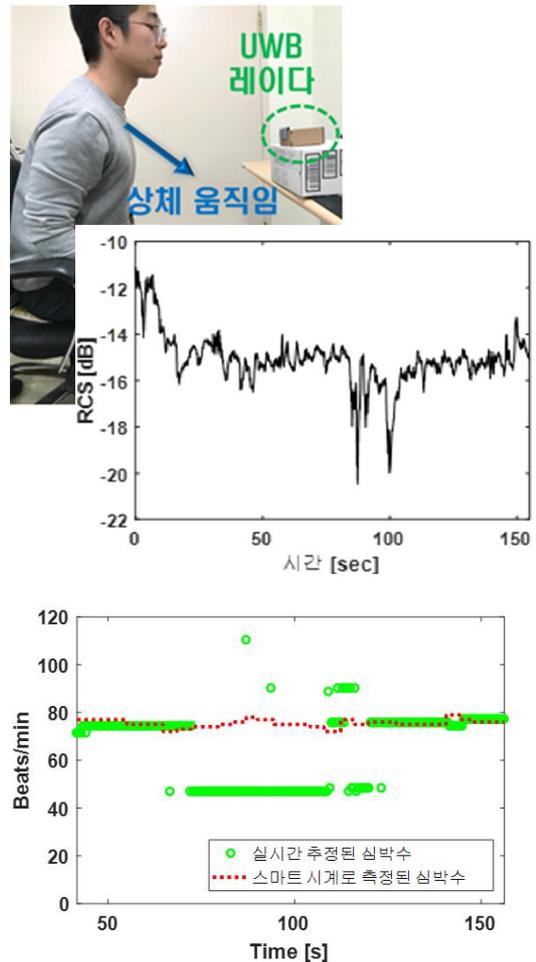
가 변화하여 RCS 값이 변화하게 된다. 일반적인 레이더의 경우 주파수 영역에서 일정한 대역폭을 사용하고 있으며, 펄스 압축(pulse compression)을 통하여 주파수 영역 산란파 정보를 거리 영역 정보로 변화시킨다. 따라서 주파수 영역에서 변화하는 물체의 RCS 정보는 거리 프로파일(range profile)에 종합적으로 반영된다고 볼 수 있다. 또한, 군사적으로는 주파수 다이버시티(diversity) 기능을 구현하는 레이더 시스템을 통하여 이러한 문제를 해결하기도 한다. 하지만 각도 영역에서 변화하는 RCS 값은 펄스 압축을 통해서 거리 영역으로 변화시킬 수 없다. 특히 각도 영역에서 RCS는 레이더와 물체 간의 매우 작은 각도 변화에도 수십 dB로 변화할 수 있으며, 이는 레이더의 수신감도, 탐지율 등 주요 성능 지표를 하락시키는 주요한 요인이다.

[그림 2]는 impulse-radio ultra-wideband(IR-UWB) 레이더^[19]를 사용하여 사람의 심박수를 측정하는 실험과 관련되어 수신된 신호와 심박수 추정 결과를 보여 주고 있다. 위의 그래프에서 보듯이 IR-UWB 레이더가 사람의 상체를 정면으로 볼 때는 수신 신호 레벨이 일정하게 유지되지만, 조금만 상체를 움직이면 급격히 수신신호 레벨이 감소하는 것을 볼 수 있다. 이러한 수신 신호를 신호처리하여 심박수를 추정한 결과(아래 그래프)를 보면 레이더가 사람의 상체를 정면으로 볼 때는 비교적 정확히 추정하다가, 상체의 움직임이 있을 경우 미세한 각도 변화에 때문에 RCS 값의 급격한 감소가 발생하여 심박수 추정이 실패하는 것으로 나타났다. 심박수 추정의 경우, 심박에 의한 피부의 미세한 변화를 감지해야 하므로 약간의 신호 레벨 감소만으로도 추정 정확도가 급격히 저하된다.

이러한 각도 변화에 따라 민감하게 변화하는 레이더의 산란 특성은 현재까지 민수분야에서 레이더의 활용범위를 제한시키고 있으며, 상용화가 늦어지는 주요 요인이 되고 있다.

III. 차세대 지능형 레이더의 발전 방안

현재까지 민수분야 레이더는 주로 하드웨어의 소형화, 주파수 대역의 상향화 위주로 연구가 이루어져 왔다. 그리하여 중심주파수 24 GHz, 60 GHz, 77 GHz 부근의 광대역 레이더 개발이 주로 이루어져 왔다. 하지만 민수분야보다 훨씬 오랜 역사를 갖고 있는 군수분야의 레이더 연구는 민수



[그림 2] IR-UWB 레이더를 이용한 사람의 심박수 측정 (위: 수신 신호의 RCS 변화, 아래: 심박수 추정 결과)

분야보다 훨씬 다양한 관점에서 성능 향상에 대한 연구가 이루어져 왔다. 특히 최근 스텔스(stealth) 항공기 및 군함 등의 배치로 인하여 레이더를 이용하여 이러한 표적들을 탐지/식별하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 스텔스 표적의 경우 거의 모든 각도 영역에서 RCS가 매우 적어 일반적인 탐색 레이더에 잘 탐지되는 않는 특징이 있다. 이러한 표적들을 탐지하기 위하여 군수 분야에서는 다음과 같은 4가지 관점에서 레이더의 수신감도를 향상시키기 위한 연구가 진행되었다.

- 1) 레이더 송신 출력의 증가
- 2) 저주파(수 KHz~수 MHz) 레이더

- 3) 능동형/수동형 멀티스태틱 레이더
- 4) 인지 레이더(cognitive radar)

3-1 레이더 송신 출력 증가

레이더의 수신 감도를 가장 쉽게 향상시킬 수 있는 방법은 첫 번째, 방안인 송신 출력을 증가시키는 것이다. 군용 레이더의 경우, 송신 출력을 증가시키는 데 별다른 제약이 없으나, 민수용 레이더의 경우, 관련 법규에 의하여 엄격히 제한된다. 이러한 문제로 인하여 민수 분야의 경우, 레이더 송신 출력을 증가시키는 방안은 적합하지 못한 것으로 판단된다.

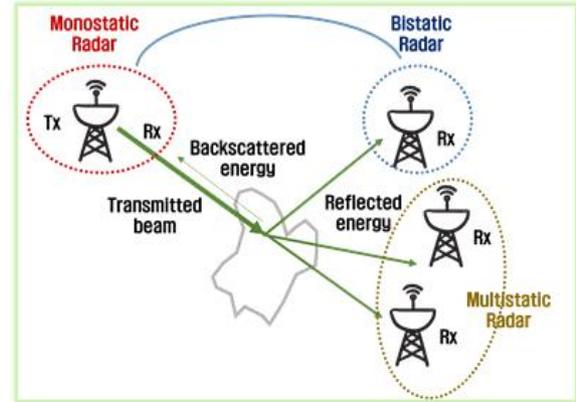
3-2 저주파 레이더

두 번째, 레이더의 주파수 대역을 낮추면 물체의 정반사(specular return) 현상은 줄어들고, 공진(resonance)에 현상이 주된 산란 요인이 된다. 군사적으로 보면 일반적인 스텔스 표적들은 정반사되는 반사파를 줄일 수 있지만, 공진 현상에 의한 반사파는 줄이지 못하는 경향이 있기 때문에 저주파 레이더를 사용하면 이러한 표적들을 쉽게 탐지할 수 있다.

이러한 저주파 레이더들은 일반적으로 안테나의 크기가 매우 커지는 경향이 있으며, 군사용 레이더의 경우 부피가 큰 안테나는 별다른 제약조건이 되지 못한다. 하지만 민수용 레이더의 경우, 안테나의 부피가 커지면 상용화에 중대한 걸림돌이 된다.

3-3 능동형/수동형 멀티스태틱 레이더

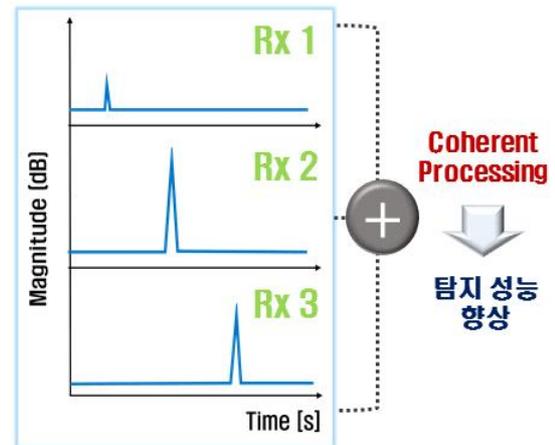
세 번째로, 다수의 송신기와 다수의 수신기가 공간적으로 분리되어 배치되어 있는 멀티스태틱(multistatic) 레이더 구조를 사용하면 스텔스 표적을 탐지할 가능성이 높아진다^[20]. [그림 3]은 하나의 송신기와 다수의 수신기를 갖는 멀티스태틱 레이더의 기하 구조를 나타낸다. 일반적으로 스텔스 표적의 경우, 송신기와 수신기가 같은 위치에 있는 모노스태틱(monostatic) RCS를 줄이는 방향으로 설계되었다. 하지만 [그림 3]과 같이 송신기와 수신기가 공간적으로 분리되어 있으면 각도 다이버시티(diversity)에 의해 특정한 수신기 방향으로 바이스태틱(bistatic) RCS가 커질 가능성이 높아진다^[21]. 따라서 모든 수신기에서 표적이 탐지되는 않더라도 특정



[그림 3] 모노스태틱/멀티스태틱 레이더 기하 구조

한 수신기에서는 탐지될 확률이 있다. 이 개념을 좀 더 확장하면 다수의 수신기에서 수신된 신호를 코히런트(coherent)하게 합성할 수 있으며, 이런 과정을 통해 수신된 신호의 신호 대 잡음비(Signal to Noise Ratio: SNR)를 비약적으로 향상시킬 수 있다([그림 4] 참조).

군사용 레이더 분야에서 이미 적용하고 있는 각도 다이버시티를 이용한 멀티스태틱 레이더 개념은 쉽게 민수 분야로 응용이 가능하다. 현재 민수분야에서 초소형/저전력 송수신기 하드웨어는 상당히 개발이 진척되어 있으므로, 필요한 레이더의 응용분야(〈표 1〉 참조)에 멀티스태틱 레이더 개념을 적용하기 위한 연구가 필요하다. 이러한 개념을 실제로 적용하기 위해서는 다음과 같이 크게 2가지 기술적인 문제들을 해결해야 한다^[22].



[그림 4] 다수의 수신 신호를 이용한 코히런트 합성

- 송신기 및 수신기 사이의 동기화(synchronization)
- 코히런트(coherent) 합성 신호처리 기술

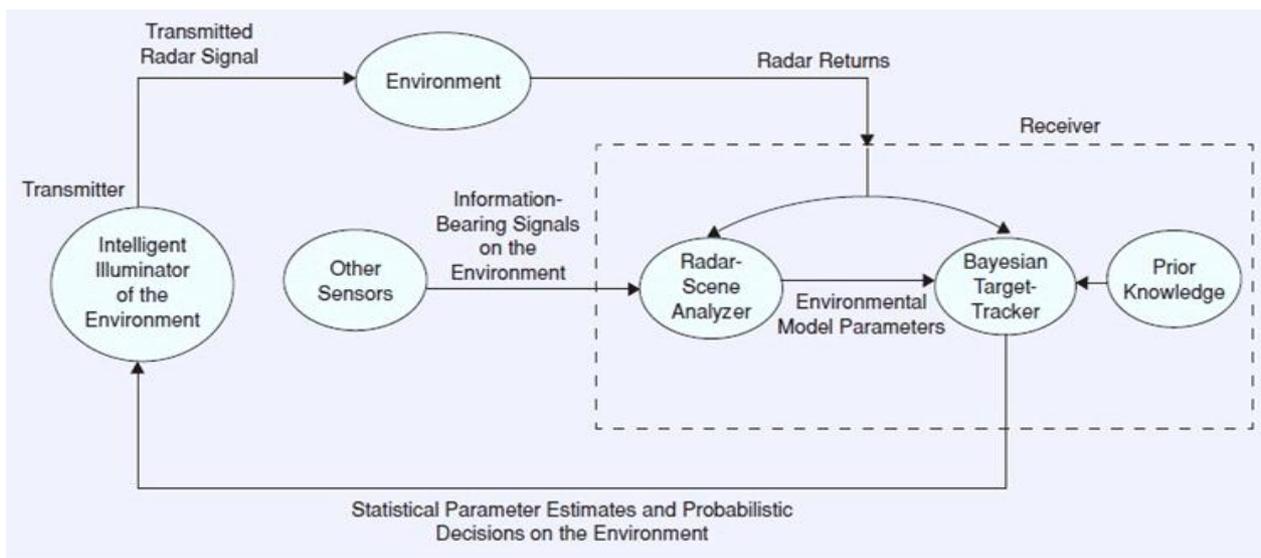
첫 번째, 송수신기 사이의 동기화 문제가 해결되어야만 수신 신호에 대한 펄스 압축(pulse compression)이 가능해진다. 일반적인 모노스태틱 레이더의 경우 송신 오실레이터 신호를 수신기에서 바로 사용할 수 있기 때문에 코히런트한 신호처리가 가능하다. 하지만 송수신기가 분리되어 있는 경우에는 송신기의 오실레이터 정보를 수신기가 획득하는 것이 불가능하므로 코히런트 신호처리가 불가능하여 펄스 압축을 할 수 없게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 군사용 바이스태틱 또는 멀티스태틱 레이더에서는 GPS(global positioning system) 신호에 송수신기 신호를 동기화한다. 하지만 실내에서 사용될 수 있는 민수용 레이더들은 이러한 방법을 사용하기가 어려울 수 있으며, 동기를 맞추기 위한 다른 방법을 고안하여야 한다.

두 번째로, 다수의 수신기에서 수신한 신호를 코히런트하게 합성할 수 있는 신호처리 기술이 필요하다. 일반적으로 다수의 수신기에서 표적을 탐지하면 수신기별로 표적의 위치와 수신감도가 다르게 나타난다. 이러한 신호를 코히런트하게 합성할 수 있으면 수신 신호의 SNR을 비약적으로

향상시킬 수 있게 되므로 레이더의 수신 감도를 대폭 향상시킬 수 있게 된다. 현재까지 관련 신호처리 기술의 연구가 매우 미진한 상황이며, 향후 각 응용 분야별로 이러한 연구의 수행이 필요한 상황이다.

3-4 인지 레이더

마지막으로 레이더의 수신 감도를 향상시키기 위한 방법에는 인지 레이더(cognitive radar)^{[23]~[27]} 개념이 있다. 인지 레이더의 기본 개념은 주변 환경 및 레이더의 목적에 따라 송신 파형, PRF(pulse repetition frequency), 송신 출력 등의 레이더 변수를 적응적으로 변화시킬 수 있는 일종의 적응형 레이더이다^{[23]~[26]}. [그림 5]는 Bayesian 기법에 근거한 인지 레이더 개념도이다. [그림 5]에서 보는 것처럼 주변 환경을 적응적으로 인지하기 위한 센서가 있고, 이러한 센서 신호를 사용하여 주변 환경을 분석하며, 이미 주어진 정보와 수신신호를 바탕으로 목적에 맞게 송신 신호를 적응적으로 변화시키는 시스템이다. 이러한 시스템은 기존의 하드웨어 기반 레이더 구조로는 제작하기 어려우며, 소프트웨어 기반 레이더인 SDR(software defined radar)을 사용하여야 가능하리라 판단된다. 이러한 인지 레이더 개념은 이동표적 탐지 분야에 적용되어 KA-STAP(Knowledge Aided - Space Time Adaptive



[그림 5] Bayesian 기법에 근거한 인지 레이더 개념도^[27]

[출처] Simon Haykin, "Cognitive radar," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 23, no. 1, pp. 30-40, Jan. 2006.

Processing) 시스템이 개발된 바 있으나, 군사적으로도 아직은 연구의 초기 단계에 있다. 향후 민수 분야에서도 SDR의 발전으로 인하여 이러한 인지 레이더 개념이 사용될 수 있을 것으로 예상된다.

IV. 요약 및 결론

현재 군사용으로 주로 사용되었던 레이더 기술이 초소형 하드웨어의 개발로 인하여 급격히 민수 분야로 이전되고 있다. 하지만 레이더 센서 자체가 가진 한계로 인하여 상용화가 아직은 제한적으로 이루어지고 있으며, 이를 극복하기 위한 다양한 노력이 진행되고 있다.

민수 분야에서 미래 지능형 레이더의 개발 및 상용화를 촉진시키기 위해서는 이미 오랫동안 연구되었던 군사용 레이더 기술을 참고할 필요가 있으며, 본 논문에서는 관련 분야에 대하여 고찰하였다. 고찰 결과, 단기적으로는 민수 분야에서 능동형/수동형 멀티스태틱 레이더 기술에 대한 연구 및 개발이 필요할 것으로 생각된다. 장기적으로는 인지 레이더 개념을 통하여 미래 지능형 레이더의 개발이 촉진될 것으로 판단된다. 이러한 노력들이 꾸준히 지속되면 민수 분야의 레이더 기술이 군수 분야의 레이더 기술을 선도하는 날이 올 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] T. John, X. Ge, H.-C. Wu, R. Irmer, H. Jiang, G. Fettweis, and S. Alamouti, "5G wireless communication systems: Prospects and challenges", *IEEE Communications Magazine*, vol. 52, no. 2, pp. 62-64, 2014.
- [2] T. Magedanz, "5G technologies and smart cities", <http://www.opengroup.org>, Jun. 2017.
- [3] Fraunhofer FOKUS, "The 5G playground: Be part of the 5G evolution", 2015.
- [4] "5G Mobile Communications for 2020 and Beyond - Vision and Key Enabling Technologies", EUCNC, Jun. 2014.
- [5] R. J. Carlos, J. Ribeiro, J. Rodriguez, R. Dionisio, H. Esteves, P. Duarte, and P. Marques, "Testbed for combination of local sensing with geolocation database in real environments", *IEEE Wireless Communications*, vol. 19, no. 4, pp. 59-66, 2014.
- [6] D. Pastina, F. Colone, T. Martelli, and P. Falcone, "Parasitic exploitation of Wi-Fi signals for indoor radar surveillance", *IEEE Trans. Vehicu. Techn.*, vol. 64, no. 4, pp. 1401-1415, Apr. 2015.
- [7] F. Guidi, A. Guerra, and D. Dardari, "Personal mobile radars with millimeter-wave massive arrays for indoor mapping", *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 15, no. 6, pp. 1471-1484, Jun. 2016.
- [8] F. Adib, H. Mao, Z. Kabelac, D. Katabi, R. C. Miller, "Smart homes that monitor breathing and heart rate", *CHI Conference*, pp. 837-846, Apr. 2015.
- [9] I. V. Mikhelson, S. Bakhtiari, T. W. Elmer, II, and A. V. Sahakian, "Remote sensing of heart rate and patterns of respiration on a stationary subject using 94-GHz millimeter-wave interferometry", *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, vol. 58, no. 6, pp. 1671-1677, Jun. 2011.
- [10] E. Schires, P. Georgiou, and T. S. Lande, "Vital sign monitoring through the back using an UWB impulse radar with body coupled antennas", *IEEE Trans. Biomed. Circuits Syst.*, vol. 12, no. 2, pp. 292-302, Apr. 2018.
- [11] T.-H. Liu, M.-L. Hsu, and Z.-M. Tsai, "High ranging accuracy and wide detection range interferometry based on frequency-sweeping technique with vital sign sensing function", *IEEE Microw. Theory. Techn.*, vol. 66, no. 9, pp. 4242-4251, Sep. 2018.
- [12] C. Gu, Z. Peng, and C. Li, "High-precision motion detection using low complexity Doppler radar with digital post-distortion technique", *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 64, no. 3, pp. 961-971, Mar. 2016.
- [13] P. Molchanov, K. Egiazarian, J. Astola, R. I. A. Harmanny, and J. J. M. de Wit, "Classification of small UAVs and birds by micro-Doppler signatures", *2013 European Radar Conference*, Nuremberg, pp. 172-175, 2013.
- [14] P. Zhang, L. Yang, G. Chen, and G. Li, "Classification of drones based on micro-Doppler signatures with dual-band radar sensors", *2017 Progress in Electromagnetics*

- Research Symposium - Fall (PIERS - FALL)*, Singapore, pp. 638-643, 2017.
- [15] W. Zhang, G. Li, "Detection of multiple micro-drones via cadence velocity diagram analysis", in *Electronics Letters*, vol. 54, no. 7, pp. 441-443, Apr. ~May 2018.
- [16] S. Björklund, "Target detection and classification of small drones by boosting on radar micro-Doppler", *2018 15th European Radar Conference (EuRAD)*, Madrid, pp. 182-185, 2018.
- [17] B. Oh, X. Guo, F. Wan, K. Toh, and Z. Lin, "Micro-Doppler mini-UAV classification using empirical-mode decomposition features", in *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 15, no. 2, pp. 227-231, Feb. 2018.
- [18] B. K. Kim, H. Kang, and S. Park, "Experimental analysis of small drone polarimetry based on micro-Doppler signature", in *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 14, no. 10, pp. 1670-1674, Oct. 2017.
- [19] E. M. Staderini, "UWB radars in medicine", *IEEE Aerosp. Electron. Syst. Mag.*, vol. 17, no. 1, pp. 13-18, Jan. 2002.
- [20] A. B. Blyakhman, I. A. Runova, "Bistatic radar cross section and the detection of objects from their forward scatter", *Journal of Communications Technology and Electronics*, vol. 46, no. 4, pp. 393-401, Apr. 2001.
- [21] E. E. Laubie, B. D. Rigling, and R. P. Penno, "Bistatic aspect diversity for improved SAR target recognition", *2015 IEEE Radar Conference (RadarCon)*. 2015.
- [22] G. Krieger, A. Moreira, "Spaceborne bi-and multistatic SAR: Potential and challenges", *IEEE Proceedings of Radar, Sonar and Navigation*, vol. 153, no. 3, pp. 184-198, Jun. 2006.
- [23] S. Haykin, *Adaptive Radar Signal Processing*, Wiley, 2007.
- [24] S. Haykin, *Neural Networks and Learning Machines*, Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 2009.
- [25] S. Haykin, D. J. Thomson, and J. H. Reed, "Spectrum sensing for cognitive radio", *Proceedings of the IEEE*, vol. 97, pp. 849-877, 2009.
- [26] S. Haykin, A. Zia, Y. Xue, and I. Arasaratnam, "Control-theoretic approach to tracking radar: first step towards cognition", *Digital Signal Processing*, vol. 21, pp. 576-585, 2011.
- [27] S. Haykin, "Cognitive radar", *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 23, no. 1, pp. 30-40, Jan. 2006.

≡ 필자소개 ≡

김 경 태



1994년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학사)

1996년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)

1999년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)

2002년 3월~2011년 2월: 영남대학교 전자공학

과 교수

2011년 3월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 교수

2012년 9월~2017년 12월: 레이더/IR 표적식별 특화연구실실장

2018년 1월~현재: 무인감시정찰기술연구 센터장

[주 관심분야] 레이더 신호 처리 및 영상, 레이더 표적인식 및 패턴인식, 전자기수치해석 및 RCS 측정, 어레이 안테나