

전파기술의 AI 적용 동향 및 전망

Trends in and Forecasting of AI-Based Radio Wave Technology

전순익 (S.I. Jeon, sijeon@etri.re.kr)
 김윤배 (Y. Kim, doko9gum@etri.re.kr)
 김병찬 (B.C. Kim, bckima@etri.re.kr)
 유성진 (S.J. You, sjyou@etri.re.kr)
 이주열 (J. Lee, juyul@etri.re.kr)
 변우진 (W.J. Byun, wjbyun@etri.re.kr)

전파위성연구본부 책임연구원
 전파자원연구실 선임연구원
 전파환경감시연구실 책임연구원
 전파원천기술연구실 책임연구원
 통신RF연구실 책임연구원
 전파위성연구본부 책임연구원/본부장

ABSTRACT

In many technologies, artificial intelligence (AI) is becoming an important topic for areas based on the field of big data. However, applied AI cases and the research status of radio wave technology are not widely known to the public. The spread of AI to other areas is being followed by radio wave technologies, and much effort is being taken to evolve it into intelligent radio wave technologies in the future. This paper presents the recent areas of interest in radio wave technology, such as spectral sharing, illegal spectrum monitoring, radar detection, radio wave medical imaging, and channel modeling; examines the requirements for applying AI; and describes the applied cases, research trends, and standardization efforts that apply AI technology to them. On this basis, we will discuss the prospects of AI application to the expected radio wave technology of the future.

KEYWORDS 스펙트럼 공유, 불법 전파 탐지, 레이다 탐지, 전파 의료영상, 채널 모델, 인공지능

1. 서론

과거와 비교하여 현재 제4차 산업혁명은 인공지능이 IoT, 클라우드 컴퓨팅, 빅데이터 등과 융합되는 방향으로 진행되고 있다. 인공지능 기술은 1956년 다트머스 콘퍼런스에서의 발표를 통해 넓은 의미에서 시작되었으며, 최근에는 구글의 알파고까

지 진화해 왔다. AI의 알고리즘은 게임의 승리나 정리의 증명과 같은 어떤 목표의 달성을 위해 한바퀴 돌아가는 탐색 추리 방식에서 시작하였으나, 오늘날 컴퓨팅 기술의 폭발적인 발전으로 스스로 지능을 향상하는 것과 같은 신경망 등의 방식이 주목받고 있다[1].

AI는 많은 분야에서 해당 분야의 빅데이터를 바

* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2020.J.350506>



탕으로 그 활용이 중요한 화두가 되고 있다[2]. 반면에 전파 분야에서 AI 적용 사례나 연구 현황은 일반에게 많이 소개되고 있지 않다. 전파 분야도 확산하고 있는 AI 활용의 추세를 따라가고 있으며, 미래에 지능화된 전파로 진화하기 위해 큰 노력을 기울이고 있다. 본 고에서는 전파기술의 주요 분야인 스펙트럼 공유, 불법 전파 탐지, 레이더 탐지, 전파 의료영상, 채널 모델 등에서 AI 적용의 필요성을 살펴보고, 주요 사례와 연구 동향 그리고 표준화 동향이 어떤지를 서술하고, 이를 바탕으로 향후 이들에 예상되는 AI 적용의 전망을 기술하고자 한다.

II. 전파기술의 AI 필요성

1. 전파기술의 현재

가. 스펙트럼 공유

전파 자원의 관리 기술에서는 무선 데이터 통신량의 폭발적인 증가에 대응해 스펙트럼 사용의 효율 향상을 위한 공유 기술이 고려되고 있다. 스펙트럼 공유는 동일 주파수를 다수의 이용자가 기존의 주 사용자를 보호하면서 동적으로 공유하여 이용하는 것이다. 주요 기술로 부 사용자가 이용하려는 주파수의 사용 여부를 지속해서 감지하여 주 사용자를 간섭으로부터 보호하기 위한 스펙트럼 센싱, 가용 스펙트럼을 부 사용자 간의 충돌을 최소화하며 활용하기 위한 동적 스펙트럼 접속 등이 연구되고 있다.

나. 불법 전파 탐지

신호 간 간섭과 허가받지 않은 주파수 사용을 감시하기 위한 전파 탐지 분야는 여러 지역에 산재하여 설치되어 있는 감시 시스템을 통해 주변 신호를 모니터링을 해오고 있는데, 1세대 시스템의 경우

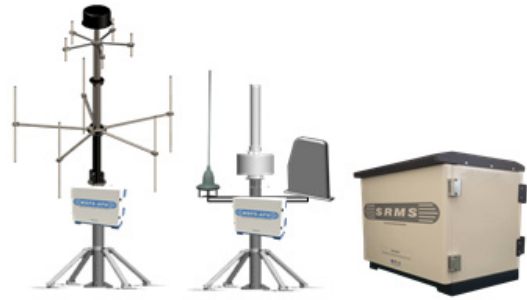


그림 1 고정형 전파 감시 시스템

고정국으로 약 10MHz 정도의 대역폭을 가지고 있으며, 준 고정형으로 불리는 2세대 시스템의 경우 주파수범위는 20MHz~6GHz에 25MHz의 대역폭을 갖고 있다. 현재는 7.5GHz 정도의 동작 주파수에서 50MHz의 대역폭을 갖는 3세대 융합형 고정 시스템이 개발되어 사용되고 있다.

다. 레이더 탐지

레이더 기술은 19세기 말 헤인리히 헤르츠(Heinrich Hertz)의 실험으로 기본 원리가 밝혀진 이래로 많은 발전을 거듭하고 있다. 제2차 세계대전에서 중요성이 드러난 이후로는 군사 목적의 레이더 기술에 많은 발전이 있었다. 지금은 기상용 레이더를 중심으로 우리 생활에 직접 도움을 주는 레이더 기술이 계속 발전하고 있다. 최근에는 레이더를 이용하여 자동차 주행 안정성을 높이고 있으며, 자동차 자율 주행을 위한 필수 센서로써 많은 연구가 이루어지고 있다.

라. 전파 의료영상

전파는 또한 의료분야에서도 응용이 전개되고 있다. 영상진단 분야는 유방암 진단을 위한 마이크로파 단층촬영 장치가 국내 개발되어 KFDA와 IRB 승인하에 실험적 임상까지 진행되었으며, 제한적인 non-blind test에서 높은 수준의 민감도 및 특이

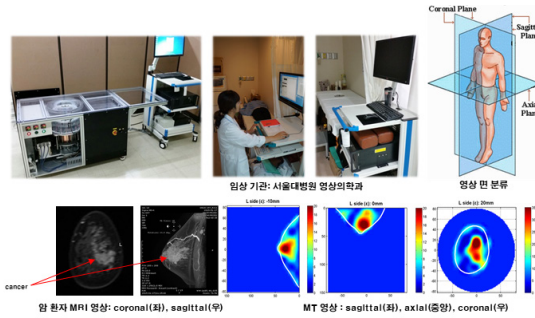


그림 2 마이크로파 단층촬영 장치와 실험 임상 결과

도를 보여주었다. 치료에서는 퇴행성 질환과 암 치료에서 전파 열 집중 원천기술 연구가 수행되어, 현재는 전파 의료영상으로 집속을 유도하는 원천기술과 치료 중에 체내 열 변화를 영상 모니터링하는 원천기술의 연구가 진행 중이다.

마. 채널 모델

무선 및 이동 통신 기술의 발전과 더불어 채널 모델에 관한 연구는 다양한 통신 환경 및 주파수 대역별로 진행되어 왔다. 통신 시스템의 설계 및 성능 평가와 주파수 할당 등의 민감한 이슈와 관계되어, 주로 3GPP, IEEE, ITU-R 단체 등의 표준화를 통하여 개발되고 완성된 채널 모델들이 인지도 있게 널리 사용되고 있다.

2. 전파기술에서 AI 적용 이점

최근 주요 전파기술에는 AI 기술이 다양하게 활용되고 있다. 스펙트럼 공유 기술은 동작 환경, 전파 특성 등에 대한 정보를 수집하여 동작 파라미터를 변경하는 기능이 필요하다. 이러한 기능은 동작 환경의 상황을 분류하여 동작 방식을 결정하는 등의 AI 적용에 적합한 작업을 포함하고 있다. 이러한 고도화된 AI 기술의 활용은 자동화된 공유 조정 실현에 기여할 것이다.

전파 탐지는 인공지능을 활용하면 탐지를 위해 수집된 신호의 저장 정보를 작업자들이 수동으로 분류하는 작업을 자동화할 수 있다. 이로써 작업자 경험 의존적인 수준을 탈피하여, 실시간으로 신호를 수집하고 고유 특성 계산을 통해 변조 신호의 분류가 신속해지고, 정확성이 높아져 신뢰성 있는 신호 탐지가 가능해진다. 그리고 실시간으로 수행되는 광대역 데이터 획득의 소요 시간을 줄여 탐지 효과를 극대화할 수 있다.

AI는 레이더에서도 성능을 획기적으로 높일 수 있다. 예로서, 레이더 영상의 분석에 AI를 활용할 수 있다. 레이더 탐지 신호는 광학 신호와 달라서 사람이 레이더 영상을 보고 직접 해석하기가 매우 어렵다. 특히 구분하고자 하는 물체의 종류가 다양한 경우에는 더욱 그렇다. AI 기술을 적용하면 레이더 신호로부터 물체의 종류를 구분하는 성능을 획기적으로 향상할 수 있다.

전파 영상으로는 현재의 의료영상 판독, 의료정보처리 등에 신경망 학습 알고리즘 기술을 활용하면 전자파 해석, 간섭 분석, 신호처리 등에서 정확한 결과를 얻을 수 있다.

채널 모델의 경우는 수학적 모델화가 복잡하거나 파라미터화가 어려운 채널 모델링과 데이터 부족에 대하여 GAN과 같은 AI 기술을 적용하면 보다 강인한 채널 모델이 개발될 수 있다.

III. AI 전파기술의 동향

1. 학계 동향

가. 스펙트럼 공유

CSS는 여러 부 사용자가 각기 다른 위치에 배치된 경우에 비협력적인 센싱보다 높은 신뢰도를 달성하여 주 사용자의 점유 여부 판별 성능 개선에 활용된다. 이는 부 사용자로부터 수집된 센싱 정

보를 채널 가용과 비가용의 두 부류 중 하나로 분류하는 작업으로 기계학습 기술이 적용되어 기존 OR/AND rule기반의 분류보다 신뢰할 만한 결정을 가능케 한다[3].

부 사용자가 이용 가능한 스펙트럼 자원은 일반적으로 시간에 따라 변하며, 매 시점 분산적으로 각 부 사용자가 자원을 최대한 활용할 수 있도록 어느 채널을 감지하고 접속할지 결정하는 것이 중요하다. 한 부 사용자만을 고려하는 경우 이는 MAB 문제로 설정할 수 있다. 여기에서 행동은 채널 선택, 보상은 채널이 가용한 경우 전송된 정보의 양으로 두고 UCB 알고리즘 등을 좋은 성능을 위한 전략으로 활용할 수 있다[4].

나. 불법 전파 탐지

불법 신호를 탐지하는 기본 원리는 대상 신호들을 다양한 측면에서 분석하여 그 차이점을 알아내는 것인데, 많이 사용되는 방식 중의 하나가 변조 방식을 통해 구별하는 것이다. 이를 위한 자동 변조 분류 기술은 군사적 목적의 감시를 위해 개발된 것으로 점차 민간영역에 적용되고 있다. 초기에는 통계학적 근거를 기반으로 하는 분류 기술들이나 likelihood-based classifier, maximum likelihood classifier, alternatives of average likelihood ratio test, generalized likelihood ratio test, hybrid likelihood ratio test 등 변조 신호마다 다른 여러 인자의 분포 특성을 이용하는 방법이 많이 사용되었으나 최근에는 신호 전력, 페이즈, 스펙트럼 대칭성 등의 고유 특징들 이용하는 방법이 주로 사용되고 있다[5].

다. 레이더 탐지

레이더 탐지 분야는 물체의 종류를 구분하거나 사람의 동작을 인식하는 데에 AI 기술을 특히

CNN 기술을 적극적으로 이용하고 있다. CNN은 광학 사진의 인식 성능이 크게 향상하는 것으로 알려져 있다. 자연스럽게 레이더 영상에도 CNN을 적용하여 물체의 종류를 구분하거나 사람의 동작을 인식하는 것과 관련된 연구가 많이 이루어지고 있다.

레이더에 딥러닝(Deep Learning)기반 알고리즘을 적용하기 위해서는 많은 레이더 측정 데이터가 필요하다. 하지만 레이더 측정 데이터를 얻기 위해서는 광학 데이터보다 큰 비용이 필요하다. 따라서 이를 보완하기 위하여 전이학습을 이용하거나 GAN을 이용하여 데이터를 증가시키는 연구도 함께 이루어지고 있다.

라. 전파 의료영상

서울대 마취통증의학과는 바이오 신호 딥러닝 기반으로 환자 저혈압 현상 발생을 예측하는 수술 주치의 수준의 기술을 개발하고 상용화에 성공하였다. 이 기술은 최소 15분 전에 발생 예측이 가능하여 신속한 사전조치가 가능하다. 연구팀은 현재까지 바이오 신호 데이터 세트를 수만 개 확보하였으며, 이들은 IRB 승인하에 웹사이트에 공개하고 있으며, 파이썬 소스 코드도 함께 공개하고 있다 [6]. 서울대학교병원 병리학과 연구연합체는 보건복지부 지원을 받아 현미경 수준의 이미지를 디지털화하고 AI 기술로 세포 레벨에서 암세포를 분리 판독해내는 디지털 병리학 기술을 개발하여 진단에 적용하고 있으며, 병리학 AI 플랫폼인 PAIP 사이트를 운영 중이다. 이 기술로 700만 건의 조직 검사에서 3만 건의 암 판정을 내리고 병리학 전문의의 과중한 업무를 줄이는 효과를 얻을 수 있었다. 한편, 연구진은 현재의 슬라이드 없이 추출 조직 세포를 바로 3차원 스캔하여 AI 판독하는 기술도 연구 중이다.

마. 채널 모델

대부분의 세계 주요 대학들에서 AI기반의 채널 모델 연구가 진행 중이다. 채널 사운더 또는 ray-tracing의 데이터 분석을 통한 채널 모델링에 AI를 적용하는 연구 그룹과 무선통신에 직접 활용을 위한 통신 프로토콜 내의 파일럿을 이용하여 채널 예측을 연구하는 그룹이 있다.

미국 University of Southern California의 Molisch 교수팀은 채널 상황을 모니터링하여, 무선 전송 링크 설정에 있어 6GHz 이하 또는 밀리미터파 대역의 방법을 AI기반 채널 모델 연구를 통해 수행하였다 [7]. Virginia Tech의 연구에 따르면 딥러닝 기술을 통해 비선형적인 채널 특성을 효과적으로 예측할 수 있다고 한다[8]. 뉴욕 주립대의 Seetharam 교수팀은 RNN을 이용하여 채널의 변화 메커니즘을 학습하여 채널 특성을 예측하는 deep channel을 발표하였다[9]. 영국 Surrey대학에서는 회절 손실 예측을 기계학습기반의 알고리즘을 적용하여 측정 데이터를 60% 줄여도 성능을 유지한다는 결과를 발표하였다[10]. 특히, 사람 몸의 굴곡은 회절 경로를 판정하기 어려울 때 유용하다고 한다. 최근에는 여러 대학에서 공동으로 딥러닝기반의 V2V채널 모델링에 관한 연구를 진행하고 있다[11].

2. 산업 동향

가. 스펙트럼 공유

대만 FarEasTone 사는 5G RAN 공급자로 Ericsson을 선정하였으며, Ericsson은 ESS와 AI-powered RAN 솔루션의 도입을 계획하고 있다[12]. ESS 기술은 동일 주파수에서 한 기지국의 하드웨어로 4G/5G 단말을 동시에 서비스할 수 있는 기술로 기존 4G 인프라를 활용하는 모든 5G 지원 단말이 4G 주파수의 넓은 커버리지를 활용하여 5G 서

비스를 받도록 하는 것에 목적을 두고 있다[13]. AI-powered RAN에 적용되는 AI 알고리즘은 네트워크 용량에 영향을 주지 않으면서 트래픽 데이터와 네트워크 부하를 실시간으로 분석한다. 이는 추가 하드웨어 장치 없이 즉각적 트래픽 예측으로 5G 커버리지와 4G 성능 향상을 목표로 하고 있다 [14].

나. 불법 전파 탐지

산업계에서는 신호 간 간섭을 방지하기 위한 불법 신호 분석 기술 개발을 주로 수행하고 있는데, 그중 미국 DEEPSIG에서 2019년에 공개한 OMNISIG SDK가 가장 잘 알려져 있다[15]. OMNISIG는 머신러닝을 기반으로 변조 신호에 대한 학습 데이터를 보유하고 있으며 간단한 조작으로 학습 및 분류를 가능하도록 지원한다. 미국의 제너럴 다이내믹스에서 전자전을 염두에 두고 2019년 머신러닝을 활용한 신호 분류 소프트웨어인 SignalEye를 발표했으며, 이는 아날로그 신호 및 다수의 디지털 신호에 대한 분류가 가능하다[16]. ALION에서는 2018년 최대 24개의 디지털 변조 신호를 분류 가능한 소프트웨어를 발표하였으며 여기에는 딥러닝 기술이 접목되었다[17]. 이처럼 일부 업체에서 신호 분류 소프트웨어를 출시하고 있으나 아직은 분류 가능한 변조 신호의 숫자는 매우 제한적이다. 데이터 누적과 분류 기술 발전에 따라 더욱 정교한 제품이 출시될 것으로 보인다.

다. 레이더 탐지

민수용 레이더는 주로 기상, 지하 탐사 또는 보안 분야에서 많이 이용되며, 요즘에는 자동차 자율주행을 가능하게 하기 위한 센서로 카메라 및 라이다와 함께 레이더가 관심을 받고 있다. 현장에서는 적응형 주행 제어나 후측방 충돌방지 보조 시스템

템에 이미 레이더를 사용하고 있다. 하지만 앞으로는 현재의 거리와 속도 측정만이 아니라 고도화된 기능과 높은 성능이 요구되고 있다. 향후 자율주행 레이더는 거리뿐만 아니라 방위각 정보를 고해상도로 추출할 수 있어야 한다. 그래야만 해당 물체에 대한 정확한 정보를 추출하여 자율주행의 안정성을 높일 수 있다. 현재 이러한 레이더 개발을 위하여 자동차 부품 회사들은 큰 노력을 기울이고 있다.

Arbe Robotics는 2015년에 창립하여 MIMO 레이더를 이용해 거리, 방위각, 속도를 센싱하는 고해상도 레이더와 이를 위한 칩셋 및 모듈을 개발하고 있다[18].

2015년에 설립된 Uhnder에서는 자동차 부품 업체 MAGNA와 협업하여 하나의 칩으로 레이더를 구현하는 칩셋인 radar-on-chip을 개발하였다[19].

라. 전파 의료영상

AI는 아직 의사를 대체하지 못하며, 데이터 학습에 의한 예측과 예방 분야에서 의사의 진단을 보조하는 수준이다[20]. IBM의 왓슨 헬스는 2016년 이후로 다양한 국가, 병원에서 채택되어 활용 중이다. 종양학에서 IBM의 왓슨 포 온콜로지가 적용되고, 유전학에는 왓슨 포 지노믹스가 유전자 정보를 수 분 만에 분석하고 종양의 유전자 변이를 분류하여 개인 맞춤으로 투약 항암제 및 임상 조언을 수행하고 있다[21]. 국내는 루닛에서 딥러닝으로 이미징 바이오마커를 검출해 항암제 반응성을 예측하는 디지털 암 조직 병리 영상 분석 플랫폼을 개발하고 있다[22].

영상의학 분야에서 필립스는 디지털 MR 인제니아 엘리시온 3.0T를 개발하였다. 이 장비는 인공지능 바이탈아이를 적용하여 환자의 호흡 패턴을 실시간 센싱하여 촬영에 적용하고 고해상도로 두

배 빠른 속도의 검사가 가능하다[23]. 국내 뷰노는 흉부 X-선 영상에서 비정상 소견을 학습해 비정상 위치 판독하는 뷰노메드 체스트 엑스레이, 골연령 진단용 뷰노메드 본에이지, 뇌 위축 정도를 측정해 치매 위험도 판독을 보조하는 뷰노메드 딥브레인 등을 개발하였으며, 흉부 CT 영상에서 폐 결절을 탐지해 정량화하는 lung CT AI 등을 개발하여 임상 단계에 있다. 루닛도 유방암 확진 5만여 명의 영상을 포함한 총 20만여 명의 유방촬영 영상을 딥러닝으로 학습한 유방촬영 영상 분석용 루닛 인사이트 MMG, 흉부 X-선 인공지능 판독용 루닛 인사이트 CXR 등을 개발하였다.

마. 채널 모델

기계학습기반이나 신경망을 이용한 신호처리 알고리즘들은 채널 모델링 과정에서 활용된다. 특히, 통계적 데이터 처리를 위하여 기계학습이나 신경망의 알고리즘을 부분적으로 활용하는 방법과 딥러닝기반의 알고리즘 활용을 통하여 복잡하고 다양한 채널 모델 개발에 대한 노력이 한창이다.

DeepSig는 채널 모델링을 위한 데이터 부족을 GAN을 이용하여 추가 데이터를 생성하는 방법에 대한 연구를 진행 중이다[24]. Facebook과 Google은 음성 전송 채널의 잡음 채널을 모델링하기 위하여 신경망을 도입하였다[25]. Nokia Bell Labs에서는 AI기반 통신 프로토콜 개발 연구를 진행 중이며, 수신기의 채널 모델 및 상태 예측에 신경망을 적용하는 알고리즘을 개발 중이다[26]. NTT Docomo는 사용자 채널 모델에 주요한 인자의 추출을 위해 신경망을 적용하였는데, AOA 등의 각도 정보의 중요성을 인식했다고 한다[27]. 최근, ray tracing 시 부족한 데이터를 CNN을 이용하여 추가 생성하는 방법에 관한 연구도 발표하였다[28].

3. 표준화 동향

가. 스펙트럼 공유

ITU-T에서는 FG-ML5G를 통해 인터페이스, 네트워크 아키텍처, 프로토콜, 알고리즘 및 데이터 형식을 포함하는 미래 네트워크를 위한 기계학습 기술 보고서 및 사양을 작성하고 있다. FG-ML5G는 통합된 논리적 구조를 지향하고 있으며 기계학습 기능 및 해당 인터페이스에 대한 공통된 언어를 설정한다. 이 논리적 구조를 3GPP, MEC, EdgeX 등의 특정 기술에 적용함으로써 해당 기술별 구현이 이루어진다. 이는 특정 기술에 독립적이며 각 기술에 표준 체계로 적용되어야 한다.

나. 불법 전파 탐지

전파 탐지 혹은 전파 감시에 관한 표준을 다루는 곳은 ITU가 유일하데 전파 통신에 관한 표준을 다루는 ITU-R에서는 전파모니터링 핸드북에 대한 개정을 고려하고 있다. 현재의 핸드북은 2011년에 발간된 것으로, 2019년 제네바에서 개최되었던 전파모니터링에 대한 주제를 다루는 회의에서 개정의 필요성이 제기되었으며, 2020년까지 이에 관한 의견을 수렴한 후 개정의 방향을 정할 계획이다. 이를 위해 독일이 의장인 서신 그룹이 구성되었다. 한국도 개정판 발간에 인공지능을 활용한 신호 분석 기술 분야의 연구 결과를 반영하는 등 적극적인 참여를 계획하고 있다[29].

다. 레이더 탐지

전통적으로 레이더는 대부분 군사적 목적이라 표준화 필요성이 많지 않았다. 민수용이라도 원리 상 다른 장치와 독립적으로 동작하는 경우가 많아

레이더 신호의 송신 및 수신 기술 표준화에 대한 필요성이 크지 않았다.

그러나 2019년부터 북미 표준화 단체에서는 무선랜을 이용해 사람이나 사물의 움직임을 센싱하고 서비스를 제공하는 표준에 대해 논의를 시작하였으며, 무선랜 센싱과 레이더는 비슷한 기능 때문에 레이더 관련 표준이 여기서 논의될 것으로 보인다. 이와 관련 2019년 11월에 SG를 결성하고, 현재 무선랜 센싱에 대한 표준화 범위와 필요성 등에 관한 논의를 진행 중이다[30]. 2020년 SG가 마무리되면 WG를 결성하여 본격적인 표준화 논의가 진행될 것이다.

라. 전파 의료영상

의료 인공지능의 표준화는 해외에서 활발히 진행 중이다. 생명과 위험을 다루는 의료에서 AI와 건강 데이터를 안전하고 책임감 있게 사용하기 위해서는 엄격한 표준이 필요하다[31].

해외에서는 ISO와 IEC가 주도하는 JTC1의 SC42 내부 WG3에서 위험 관리 표준과 윤리 기준 표준화 작업을 진행 중이다. WHO와 ITU는 Joint ITU-T를 결성하고 FG-AI4H를 통해 평가 기준 및 표준화 이슈를 개발 중이다. 한편 국내의 표준은 미개발 상태이며, 국제 표준 개발과 연계한 대응이 필요하다[32].

마. 채널 모델

AI기반의 채널 모델에 대한 표준화를 진행하고 있는 단체는 본 고를 작성하는 시점에 없는 것으로 파악되었다. 하지만, AI 기술을 통신 기술에 적용하려는 3GPP, ETSI 등의 표준 단체들이 있으며, 추후 채널 모델에 대한 표준화도 예상된다.

IV. AI 전파기술의 향후 전망

1. AI 자원 스펙트럼 공유

최근 딥러닝은 기존 기계학습 기술과 비교해 상당한 성능 향상이 목격되며 큰 주목을 받고 있다. 특히 이미지 처리를 통한 분류작업 등에서 CNN 적용으로 점차 높은 정확도를 달성해오고 있으며, 이를 응용하여 통신 신호의 분류에서도 성능 향상을 기대해 볼 수 있다. 여러 개의 연속된 채널로 구성된 스펙트럼을 고려하여 각 부 사용자는 여러 채널에 대해 무선 환경의 신호 세기를 측정하는 것으로 둔다. 모든 부 사용자의 측정된 결과는 융합 장치로 전송되고 주 사용자의 채널 점유 여부 판별에 이용된다. 융합 장치에 한 시점에 수집되는 데이터는 각 부 사용자가 각 채널에서 에너지를 측정된 결과들로 2차원의 형태로 구성될 수 있다. 이미지 분류에서 CNN은 인접한 픽셀 간의 상관관계를 활용하여 우수한 성능을 달성하므로, CSS에서도 인접한 부 사용자 간의 센싱 결과에 대한 스펙트럼이나 공간상의 상관관계를 주 사용자의 채널 점유 상태 탐지에 활용하기 위한 목적으로 CNN을 적용할 수 있다[33]. CSS에서는 분류작업이 핵심이므로 측정되는 에너지 데이터의 처리, 분류를 위한 신경망 구축 등 정확한 주파수 가용 여부 탐지를 위한 AI 기술의 활용도가 증가할 것으로 전망된다.

여러 부 사용자가 여러 채널을 사용할 수 있는 공유 환경에서 채널 접속 문제에는 MAB뿐만 아니라 강화학습을 적용할 수 있다. 실제 채널 환경의 변화는 시간에 따라 상관관계를 갖는 것으로 볼 수 있으므로 이러한 환경에 적용할 수 있는 강화학습기반의 접속 기술이 연구되어왔다. 시간에 따른 상관관계 모델링에는 기본적으로 MDP를 고려하지만, 이 경우에도 채널 접속 문제는 높은 계산 복잡도를 가져 다루기가 까다롭다[34]. 이에 대응하

여 채널 접속 문제에도 딥러닝을 적용하는 알고리즘들이 연구되었다. 최적의 채널 접속 정책을 정립하는 데 필요한 최대 기대 보상인 Q-value를 근사하는 deep Q-network 기술이 주목을 받고 있으며, 분산적인 환경에서 채널 접속 결과의 시계열 데이터로부터 다른 부 사용자들의 행동을 추정하는 데에 RNN을 활용하는 기술도 고려되고 있다[35]. 이처럼 다양한 기술 및 알고리즘이 채널 접속 문제에 적용될 수 있으므로 세부적인 시나리오에 적합한 강화학습 방식을 개발하는 연구는 계속될 것으로 전망한다. RNN에 관해서도 많은 연구가 진행되고 있으므로 분산적 환경에 적합한 기술을 적용하여 공유 성능을 향상하는 것이 가능할 것이다.

2. AI기반 불법 전파 탐지

전파 감시나 전파 탐지 분야에서 인공지능 기술을 사용하는 주된 이유는 축적된 데이터를 분석하여 미래에 일어날 일들을 예측하는 것이 가능하다는 것인데, 즉 이미 보유하고 있는 신호에 대한 데이터를 토대로 임의의 신호를 식별해 낼 수 있다는 것이다. 우리나라는 무선통신에 사용되는 주파수의 이용방법을 알파벳 및 숫자의 조합인 부호로 표시한 '전파 형식'을 통해 주파수 이용방법을 관리하고 있다. 이를 활용한다면 우리나라 전역에서 사용되고 있는 다양한 형태의 변조 신호를 획득하여 저장하고, 변조 방식을 미리 분류하여 그 통계적 분석결과를 학습 모델로 저장해 두고 저장된 모델을 기준으로 삼아 차량 혹은 드론 등을 이용하여 임의의 지점에서 획득한 새로운 변조 신호의 형식을 예측하는 것이 가능해질 것이다.

전 세계적으로 제4차 산업혁명 시대 도래에 따른 다양한 무선기기가 증가하고 새로운 주파수 발 굴에 따른 신규 서비스로 인하여 전파 혼신 가능성

이 증가함에 따라 고정형 전파 감시 장비로는 커버할 수 없는 전파 감시 사각지대가 늘어날 수 있다. 이를 해소하고 IoT 등 소출력 기기에 대응하기 위해 이동형, 핸디형 시스템을 활용한 전파 감시기술 개발이 요구되고 있다. 효율적이고 신뢰성 있는 전파 감시를 위해서는 감시 시스템의 소형화와 함께 우수한 기동성, 정확한 신호 분석 기능을 필요로 한다.

또한, 전파 탐지 영역을 확장하기 위해 드론, 저궤도 위성 등 다양한 형태의 시스템이 연구되고 있는데, 이러한 시스템에 인공지능 기술이 접목된다면 전파 감시 기술이 크게 확장될 것으로 전망되고 있다. 드론의 경우 시스템에 대한 안정성만 확보된다면 인구가 밀집된 도심 지역이나 도서 지역 등에서 광범위한 용도로 사용이 가능하며 드론에 장착될 감시 시스템에 대한 소형화 및 경량화, 드론 운용시간의 증대, 운항 거리 등의 문제가 해결될 경우 그 활용도가 더욱 증가할 것이다.

인공지능 기술을 활용한다면 신호의 분석뿐만 아니라 신호의 식별이 가능해지므로 인공지능 기술이 적용된 전파 탐지기술을 활용하여 주파수 이용현황 분석 및 주파수 공동사용 가능성 판단, 생활·산업용 비면허기기 실태 분석 등 전파자원의 효율적 이용을 위한 수단으로써도 활용성이 높다. 다중송신 환경하에서의 무선기반 초연결 사회에

서는 전파교란 행위가 국민의 생명과 재산에 직결되지만, 현재 초광대역 신호, 소출력기기, IoT기기 등의 전파 혼·간섭 탐지기술의 미비로 안전사고 예방이 불가하므로 인공지능 기술을 활용한 센서형 전파 감시 핵심 기술 개발이 수행될 것으로 보인다.

3. 레이더 탐지

AI를 활용하면서, 기존의 레이더 기술만으로 불가능할 것으로 여겨졌던 사람의 동작이나 상태를 모니터링할 수 있는 비접촉식 센서기반의 서비스가 가능해질 것이다. 카메라와 비교하여 물체의 외관을 추출하는 측면에서 성능이 떨어지지만, 이 점이 오히려 사생활을 보호해 주는 장점이 된다. 카메라로는 측정하기 어려운 호흡이나 심박 수를 측정하는 것은 장점이 된다. 이러한 레이더의 특성에 AI의 패턴 인식 기술을 접목하면 다양한 분야에 활용이 가능할 것이다.

가장 먼저 활용될 수 있는 분야는 노약자 위험 상황 감지 분야이다. 우리나라와 같이 독거노인의 수가 증가하고 있는 나라에서는 노인 혼자 집에서 생활하다가 갑자기 넘어지거나 다치는 경우가 증가하고 있다. 이를 방지하기 위해 전기나 물 사용량을 모니터링하는 방법이나 각 방에 카메라를 설치하는 방법도 고려되고 있으나 전기나 물 사용량 모니터링 방법은 긴급 상황을 빨리 파악하기가 어렵고 카메라 이용 방식은 사생활 보호가 어렵다. 레이더에 AI 기술을 접목하면 이런 단점을 해결할 수 있을 것으로 보인다.

보안에서도 레이더와 AI 기술은 중요한 역할을 할 것이다. 카메라를 이용한 보안 시스템의 경우 민감한 시설이나 정보를 촬영하고 그 데이터를 보관하면 그 자체가 중요한 정보가 되어 다시 특수하



그림 3 미래의 다중송신 환경과 전파 감시의 진화

게 관리되어야 한다. 하지만 단순히 침입자를 탐지하는 것이 중요하다면 레이더로 침입 탐지 시스템을 구성하는 것이 가능하며, 중요한 정보를 노출시키지 않으면서 침입자 감지 정보만 얻을 수가 있다. 그리고 카메라 경우의 사각지대에 있는 침입자도 탐지하는 것이 가능하다. 대신 침입자를 특정하는 것은 어려우므로 카메라와 상호 보완적으로 이용하면 지금보다 효과적으로 건물이나 시설의 안전을 침입자로부터 지킬 수 있을 것이다.

미래에 예상되는 심각한 불법 드론 문제에 대해서, 레이더는 드론 탐지 분야에서도 주된 역할을 할 것으로 보인다. 레이더는 이미 전투기 탐지에 많이 이용되지만, 드론은 전투기와 특성이 다르다. 드론의 경우 크기가 작아서 레이더는 매우 미약한 신호를 탐지해야 한다. 그리고 드론은 민첩하여 움직임의 방향과 궤적을 예측하는 것이 어렵다. 정확하게 불법 드론을 탐지하고 추적하기 위해서는 반드시 AI 기술이 필요할 것이다. 특히 불법 드론을 특정하기 위해서는 드론의 종류를 구분할 필요가 있는데, AI 기술을 이용하면 먼 거리에서도 정확한 구분이 가능해질 것이다. 레이더와 AI 기술은 드론의 부작용을 최소화하는 데에 큰 도움을 줄 것이다.

4. AI 적용 전파 의료영상

전파의 유방암 진단에서 빅데이터 분석, 클라우드 컴퓨팅 인프라 등이 마이크로파 단층촬영 기술과 결합하여 정밀의료 플랫폼을 제공할 것이며, 전파 측정 신호와 연계된 특정 조건 추출의 진화된 딥러닝 학습 기술을 통해 영상복원 알고리즘은 기술 정확성과 안정성을 확보할 수 있을 것이다. 미래에 장치는 약국, 슈퍼마켓 센터 등 쉽게 접근할 수 있는 곳에 설치되고, 촬영한 데이터는 클라우드

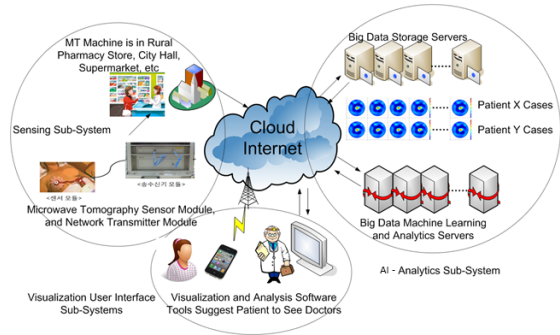


그림 4 AI 적용 영상화 및 판독기반 마이크로파 단층촬영 시스템

서버에 업로드되며, 빅데이터 분석 서버는 AI 알고리즘이 개입하여 과거 데이터 및 타인의 데이터를 종합 분석하여, 비정상적으로 판정되면, 전문 검진을 조언하는 메시지가 전달될 것이다.

전파 의료영상의 질환 진단에 있어 AI 컴퓨팅 기반의 병변 검출은 의사들에게 의사결정에 참고할 유용한 정보를 제공하는 판독 지원 시스템을 의미한다. 시스템은 딥러닝 기술로 추출, 분류, 유사성을 검색하는 3단계로 구성되고, 양성 또는 악성 여부를 참고 정보들과 함께 전문의에게 제공한다.

개인이 손쉽게 자주 검사하기 편리한 미래의 간이 전파 건강 체크 장비는 AI와 빅데이터 분석을 기반으로 암의 조기 발견에 기여할 것이다. 암 진단 AI 체크는 간편하고 휴대가 가능한 전파기반의 비대면 비접촉의 간이형 암 진단 장치 개념으로, 정상 조직과 암 조직 간의 전자파 산란특성 값의 차이를 사용하여 암 유무를 빅데이터와 학습된 딥러닝 알고리즘을 근간으로 전문적인 영상 없이 지수로만 판단하여 상시 측정이 가능한 개념이다. AI 체크의 계측 지수는 사용자 체질에 따라 상대적이며 상황에 따라 가변적일 것이다. 지금까지 이런 약점으로 인하여 실현 가능성에 대한 의문이 제기되어 왔지만, AI 알고리즘에 의해 빅데이터가 축적

될수록 보완될 수 있으므로 앞으로는 실현이 가능할 것이다.

전파 치료에서도 전파 의료영상을 활용한다. 체내 열 발생을 위한 전파 집중의 시술 계획 단계에서 가이딩에 적용할 수 있다. 또한 치료 중에는 체내 열의 변화를 감시하는 모니터링기술로 활용할 수 있다. 이들은 딥러닝 알고리즘의 직접 역변환 및 차분 전자파 해석이 적용될 수 있고, 실시간 비절개 비 방사선 무통증의 전파 나이프 치료 장치가 출현할 것이다.

5. AI기반 채널 모델

최근 딥러닝을 비롯한 AI 기술의 눈부신 발전에 수많은 알고리즘이 개발되고 있다. 이와 같은 AI 알고리즘들은 데이터를 기반으로 하는 채널 모델링에 적절히 사용될 수 있다. 특히, 파라미터화가 어렵거나 모델링이 복잡한 경우 AI기반 알고리즘을 적용하면 더욱 정확하고 강인한 채널 모델을 얻을 수 있으리라 판단된다.

AI기반 채널 모델의 대표적 적용 분야로는 통신 환경에 대한 인지, 다중 경로 요소에 대한 추적 및 다중 경로 클러스터링 등이 있다. 첫째로 통신 환경에 대한 인지는 간단히 LOS와 NLOS를 구별하거나, 실내 및 실외 구별, 또는 도심, 부도심, 시골 환경에 대한 구분을 AI 알고리즘을 통하여 자동으로 환경별 채널 모델을 적용할 수 있다. 둘째, 다중 경로 요소에 대한 추적은 V2X 시나리오와 같은 동적인 시나리오에서 생성/소멸, 분리/결합이 되는 다중 경로 요소의 상황을 AI 알고리즘을 통하여 구별하여 추적하게 할 수 있다. 셋째, 다중 경로 클러스터링에도 기계학습 알고리즘이 활용될 것이다.

이처럼 AI기반 채널 모델을 활용하여 통신 링크 및 주변 환경에 지능적인 채널 모델 및 채널 상태를 파악하여 통신 시스템의 효율을 보다 높일 수 있을 것으로 전망된다. 아울러, 주파수 할당을 위한 간섭 분석 및 통신 시스템의 평가에도 AI기반 채널 모델을 활용하여 실제의 통신 환경에 더욱 근접하게 활용될 수 있으리라 예상된다.

X+AI

목표 1 	AI 서비스 기술의 한계를 극복하는 혁신을 이끌겠습니다! <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="background-color: #0056b3; color: white;">01 인공지능 핵심기술 신체적 확보</td> <td style="background-color: #0056b3; color: white;">02 AI반도체 및 컴퓨팅시스템 기술경쟁력 강화</td> <td style="background-color: #0056b3; color: white;">03 네트워크 및 미디어· 콘텐츠 미래기술 선도</td> </tr> </table> <small>초지능·초성능·초연결·초실감·ICT 창의 기술역량 강화 로컬 Top 3 수준의 기술 경쟁력 확보</small>	01 인공지능 핵심기술 신체적 확보	02 AI반도체 및 컴퓨팅시스템 기술경쟁력 강화	03 네트워크 및 미디어· 콘텐츠 미래기술 선도
01 인공지능 핵심기술 신체적 확보	02 AI반도체 및 컴퓨팅시스템 기술경쟁력 강화	03 네트워크 및 미디어· 콘텐츠 미래기술 선도		
목표 2 	국민·기업과 함께 성장하는 AI혁신생태계 기반 이 되겠습니다! <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="background-color: #0056b3; color: white;">04 AI 생태계 기반 조성을 위한 AI 개방형 플랫폼 제공 확대</td> <td style="background-color: #0056b3; color: white;">05 지속가능한 AI 생태계 작동을 위한 AI 전문인력 양성</td> </tr> </table> <small>생태계 역량강화를 위한 혁신 기반 마련 AI Open Innovation 활성화</small>	04 AI 생태계 기반 조성을 위한 AI 개방형 플랫폼 제공 확대	05 지속가능한 AI 생태계 작동을 위한 AI 전문인력 양성	
04 AI 생태계 기반 조성을 위한 AI 개방형 플랫폼 제공 확대	05 지속가능한 AI 생태계 작동을 위한 AI 전문인력 양성			
목표 3	산업요구 와 사회문제를 해결하는 믿을만한 AI의 활용 을 확산하겠습니다! <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="background-color: #0056b3; color: white;">06 산업·공공 AI활용기술 연구개발 및 적용</td> <td style="background-color: #0056b3; color: white;">07 AI로 인한 기술·사회적 역기능 방지</td> </tr> </table> <small>지능화 융합기술 개발로 혁신성장 동인 마련혁신성장 성과 창출</small>	06 산업·공공 AI활용기술 연구개발 및 적용	07 AI로 인한 기술·사회적 역기능 방지	
06 산업·공공 AI활용기술 연구개발 및 적용	07 AI로 인한 기술·사회적 역기능 방지			

출처 한국전자통신연구원, "ETRI AI 실행전략," ETRI Webzine, vol. 154, June 2020.

그림 5 ETRI X+AI 실행 전략

V. ETRI χ (전파)+AI 연구 개발 실행 전략

우리나라는 AI를 통해 경제, 사회 활력을 높이기 위한 노력을 하고 있으며, 2019년 말에 ‘AI 국가 전략’을 발표했다. 정부의 AI 국가전략에서 ‘IT 강국을 넘어 AI 강국으로’라는 비전으로 경제·사회 전반의 혁신을 위한 3대 분야, 9대 전략, 100대 실행과제를 제시했다. 그리고 2020년 6월에 ETRI도 우리나라의 지능화를 실현하기 위한 χ +AI 혁신 플랫폼 구축하는 3대 목표 7대 실행전략을 만들었다 [36].

ETRI 전파·위성연구본부는 AI 서비스 기술의 한계를 극복하기 위한 혁신적 목표를 이루기 위한 실행전략으로 AI 서비스 경쟁력을 강화할 수 있는 네트워크 미래기술인 주파수 분배 지능화를 위한 연구를 수행하고 있다. 미래에는 한정된 주파수 자원을 효율적으로 이용하기 위하여 AI기반 주파수 센싱을 통한 주파수 분배 지능화를 달성함으로써 서비스 품질을 개선할 수 있을 것으로 기대하고 있다. 또한, ETRI는 전파+AI 기술 확산을 위해 2019년 11월 스펙트럼챌린지 대회를 처음 개최하였다. 대회를 통하여 주파수(스펙트럼) 이용효율을 높이기 위한 기술적 아이디어를 발굴하는 것이 목표이다. 그리고 2023년까지 매년 개최할 예정이다.

VI. 결론

스펙트럼 공유 분야에 있어서 인공지능 기술은 주파수 자원의 가용 여부 판별 및 가용 스펙트럼에 대한 효율적인 접속에 활용될 수 있다. 이로써 면허 주파수 자원을 효율적으로 활용하여 스펙트럼 자원의 부족에 대응하고, 이용자 간 지능적 공유를 통해 이용 품질을 높일 수 있다.

그리고 전파 감시 분야의 인공지능 기술의 활용

은 자동화된 신호 인식 기술을 완성하기 위하여 필수적이다. 이를 통해 복잡한 무선 환경하에서 신호 간 간섭으로부터 발생하는 손실을 줄이고 깨끗한 전파 환경을 구축할 수 있다.

한편, 레이다는 오랫동안 연구되어왔던 분야로 많은 신호처리 기술을 기반으로 현재까지 우리 생활에 많은 도움을 주고 있다. 딥러닝 기술을 중심으로 하는 AI 기술의 발달로 레이다 기술은 또 다른 도약을 앞두고 있다. 이러한 레이다 기술의 도약은 위험 상황 감지, 스마트 의료 시스템, 보안 및 드론 탐지 등을 통하여 우리의 일상을 더욱 안전하고 풍요롭게 할 것이다.

전파 의료영상에 있어서 인공지능 기술의 활용은 타 의료영상 기술에서 이미 활용되고 있는 것처럼 단층촬영 영상의 영상 판독처리에 가장 먼저 활용될 것이다. 한편 전파 의료영상 기술은 전자파 수치해석 및 신호처리에 기반하여 발전되고 있으므로, 전파 의료 고유의 빅데이터 처리나 수치해석 알고리즘에 적극적으로 AI가 활용되어 발전할 것이다.

채널 모델 분야는 측정이나 시뮬레이션 데이터 용량의 한계 및 파라미터 선정 등의 어려움을 AI기반 채널 모델링을 통해 극복할 수 있으리라 생각된다. 또한, 차세대 인텔리전트 무선통신 분야에서 통신 환경을 지능적으로 인식하여, 적절한 모델 파라미터를 통해 통신 분야 프로토콜 개발 및 실제의 통신 환경과 흡사한 모델을 제공하여 통신 시스템 평가 등에 많이 활용될 것이다.

약어 정리

3GPP	3rd Generation Partnership Project
AI	Artificial Intelligence
AoA	Angle of Arrival
CNN	Convolutional Neural Networks

CSS	Cooperative Spectrum Sensing	PAR	Project Authorization Request
CT	Computerized Tomography	RAN	Radio Access Network
ESS	Ericsson Spectrum Sharing	RNN	Recurrent Neural Network
ETSI	European Telecommunication Standards Institute	SG	Study Group
FG-AI4H	Focus Group on Artificial Intelligence for Health	UCB	Upper Confidence Bound
FG-ML5G	Focus Group on Machine Learning for Future Networks including 5G	V2V	Vehicle-to-vehicle
GAN	Generative Adversarial Networks	V2X	Vehicle-to-everything
IEC	International Electrotechnical Commission	WG	Working Group
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	WHO	World Health Organization
IoT	Internet of Things		
IRB	Institutional Review Board		
ISO	International Organization for Standardization		
ITU	International Telecommunication Union		
ITU-R	International Telecommunications Union Radio Sector		
ITU-T	International Telecommunications Union Telecommunication		
JTC	Joint Technical Committee		
KFDA	Korea Food and Drug Administration		
LOS	Line Of Sight		
MAB	Multi-Armed Bandit		
MDP	Markov Decision Process		
MEC	Mobile Edge Computing		
MIMO	Multiple-Input and Multiple-Output		
MR	Magnetic Resonance		
NLOS	Non Line Of Sight		

참고문헌

[1] 위키백과, “인공지능”

[2] 이종용, 조병선, “인공지능 산업활성화 생태계 조성을 위한 제언,” ETRI 전자통신동향분석 31권 제2호, 2016년 4월.

[3] K. M. Thilina, K. W. Choi, N. Saquib, and E. Hossain, “Machine Learning Techniques for Cooperative Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks,” IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 31, no. 11, Nov. 2013, pp. 2209-2221.

[4] L. Lai, H. E. Gamal, H. Jiang, and H. V. Poor, “Cognitive Medium Access: Exploration, Exploitation, and Competition,” IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 10, no. 2, Feb. 2011, pp. 239-253.

[5] Rajendran et al., “Deep Learning Models for Wireless Signal Classification with Distributed Low-Cost Spectrum Sensors,” IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking, vol. 4, no. 3, 2018, pp. 433-445.

[6] <https://vitaldb.net>

[7] D. Burghal, R. Wang, A. F. Molisch, “Band assignment in dual band systems: Deep learning-based approach,” IEEE MILCOM, 2018.

[8] T. O’Shea, K. Karra, and T. C. Clancy, “Learning approximate neural estimators for wireless channel state information,” IEEE Int. Workshop on Machine Learning for Signal Processing (MLSP), 2017.

[9] A. Kulkarni, A. Seetharam, A. Ramesh, J. D. Herath, “Deep Channel: Wireless channel quality prediction using deep learning,” IEEE Trans. Veh. Tech., Jan. 2020.

[10] M. Khalily, T. W. C. Brown, R. Tafazolli, “Machine-learning-based approach for diffraction loss variation prediction by the human body,” IEEE Antennas and Propaga. Lett., Nov. 2019.

[11] C. Huang et al., “Machine-learning based data processing techniques for vehicle-to-vehicle channel modeling,” IEEE Communications Magazine, Nov. 2019.

[12] <https://www.ericsson.com/en/press-releases/2020/3/far->

- eastone-selects-ericsson-for-5g
- [13] <https://www.ericsson.com/en/networks/offerings/5g/sharing-spectrum-with-ericsson-spectrum-sharing>
- [14] <https://www.ericsson.com/en/networks/offerings/5g/ai-ran>
- [15] <https://www.deepsig.io/>
- [16] <https://gdmmissionsystems.com/>
- [17] <https://www.alionscience.com/>
- [18] <https://arberobotics.com>
- [19] <https://www.uhnder.com>
- [20] 인공지능신문(<http://www.aitimes.kr>), “인공지능은 정말 진단의 미래를 어떻게 형성할 것인가?”
- [21] 데일리메디(<http://www.dailymedi.com>), “길병원, 세계 첫 IBM 인공지능 의사 왓슨 현지화 진행”
- [22] 벤처스퀘어(<https://www.venturesquare.net>), “의료 AI 기업 ‘루닛’ 300억 원 규모 시리즈C 투자 유치”
- [23] 메디칼업저버(<http://www.monews.co.kr>), “영상진단 분야 대세는 AI, 의료기기 업계, 제품 공개 나서”
- [24] T. J. O’Shea, T. Roy and N. West, “Approximating the void: Learning stochastic channel models from observation with variational generative adversarial networks,” arXiv May 2018.
- [25] K. Yee, Y. D. Dauphin, and M. Auli, “Simple and effective noisy channel modeling for neural machine translation,” Int. Conf. Natural Language Proc. 2019.
- [26] F. A. Aoudia and J. Hoydis, “End-to-end learning of communications systems without a channel model,” IEEE Asilomar Conf. 2018.
- [27] S. Navabi, C. Wang, O. Y. Bursalioglu and H. Papadopoulos, “Predicting wireless channel features using neural networks,” IEEE ICC 2018.
- [28] T. Imai et al., “Radio propagation prediction model using convolutional neural networks by deep learning,” EuCAP 2019.
- [29] <https://www.itu.int/en/ITU-R/study-groups/rsg1/rwp1c/Pages/default.aspx>
- [30] E. Au, “New Standards Initiative for Using Wi-Fi for Sensing [Standards],” in IEEE Vehicular Technology Magazine, vol. 15, no. 1, Mar. 2020, p. 119.
- [31] 인공지능신문(<http://www.aitimes.kr>), “인공지능은 정말 진단의 미래를 어떻게 형성할 것인가?”
- [32] 전중홍, 이강찬, “의료 인공지능 표준화 동향,” 전자통신동향분석 34권 제5호, 2019년 10월, pp. 113-126.
- [33] W. Lee, M. Kim, and D.-H. Cho, “Deep Cooperative Sensing: Cooperative Spectrum Sensing Based on Convolutional Neural Networks,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 68, no. 3, Mar. 2019, pp. 3005-3009.
- [34] C.H. Papadimitriou and J.N. Tsitsiklis, “The Complexity of Optimal Queueing Network Control,” Math. of Operations Research, vol. 24, no. 2, 1999, pp. 293-305.
- [35] O. Naparstek and K. Cohen, “Deep Multi-User Reinforcement Learning for Distributed Dynamic Spectrum Access,” IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 18, no. 1, Jan. 2019, pp. 310-323.
- [36] 한국전자통신연구원, “ETRI AI 실행전략,” ETRI Webzine, vol. 154, Jun. 2020.