

이동 엑스홀 네트워크 (MXN) 기술 동향

I. 서론



조승권
한국전자통신연구원



신성필
한국전자통신연구원



윤미영
한국전자통신연구원



백승권
한국전자통신연구원

전장(Battlefield)에서의 다양한 전력 요소들을 밀접하고 유기적으로 연결하는 전술통신체계는 미래전의 기본 방향인 네트워크 중심전(Network Centric Warfare)^[1]의 핵심으로, 지상, 공중, 우주를 아우르는 고속 대용량의 다계층 통합 네트워크를 구축하여 실시간 데이터 및 음성정보 유통을 보장하는 체계이다.^[2-3] 이러한 전술통신체계 개발에 있어 최근의 각 국가별 전술통신체계 개발 경향은, 개발 비용 절감 및 개발 기간 단축을 위해 빠르게 발전하는 민간의 상용 기술 및 장비를 최대한 활용하는 흐름으로 나타나고 있다.^[4]

본고에서는 이러한 흐름의 연장선에서 이동 엑스홀 네트워크(Mobile Xhaul Network, MXN) 기술의 미래 전술정보통신체계에의 적용에 대해 논한다. 이를 위해 먼저 이동통신 네트워크의 프론트홀(Fronthaul), 미드홀(Midhaul), 백홀(Backhaul)^[5]을 하나의 네트워크로 통합하는 최신 네트워크 기술인 엑스홀 연구 동향에 대해 살펴본다. 그리고 엑스홀 네트워크 구성 노드의 이동성까지 지원하는 단일한 전송 프로토콜로 무선화 한 이동 멀티홉 릴레이(Mobile Multi-hop Relay) 기반의 무선 전송 네트워크 기술인 MXN 기술 동향을 제시한다. 그 후에 전술정보통신체계(Tactical Information and Communication Network, TICN)^[4]에서의 소용량 무선 전송체계(Low Capacity Trunk Radio, LCTR)와 대용량 무선 전송체계(High Capacity Trunk Radio, HCTR)의 공통점 분석을 통해 MXN이 이러한 무선 전송 네트워크(Wireless Transport Network)에 적용 가능성을 밝힌다. 더욱이, MXN의 여러 특성들 중에서 대용량 전송, 프론트홀/미드홀/백홀 통합 전송, 이동성 지원, 통합 패킷 전송, 경로 관리 등의 특성이 미래 전술정보통신체계에서의 무

선 전송 네트워크로 MXN이 적합함을 논한다. 마지막으로, MXN 기술을 미래 군 전송 통신에 적용할 때 추가적인 연구가 필요한 요소들에 대해 짚어 본다.

II. 엑스홀 및 MXN 기술 동향

1. 엑스홀 연구 동향

무선 백홀은 기존 유선 기반의 백홀에 비해 별도의 유선 케이블이 필요하지 않아 설치가 용이하고, 구축비용이 저렴한 장점이 있다. 최근 기존 일체형 기지국 연결 구조를 가지는 백홀 뿐만 아니라 중앙 집중형 C-RAN (Centralized-Radio Access Network) 구조의 프론트홀 및 유연한 기능적 분리가 가능한 미드홀을 포함하여 유연한 구조로 통합적으로 운용할 수 있는 무선 엑스홀 네트워크 기술 연구가 활발하게 진행되고 있다. 본 절에서는 대표적인 무선 엑스홀 네트워크 기술 관련 프로젝트인 유럽의 FP7(Framework Project 7) iJOIN 프로젝트^[6], 5G 민관 협력 체계인 5G PPP(5G Public Private Partnership)^[7]의 Crosshaul 프로젝트^[8]와 Xhaul 프로젝트^[9]를 간단히 소개한다.

2012년부터 유럽의 통신사업자들은 EU(European Union) iJOIN 프로젝트를 결성하여 클라우드 기반으로 액세스 네트워크와 무선 백홀 네트워크의 통합 최적화를 위하여 RAN(Radio Access Network)의 기능이 마치 서비스를 제공하는 개념인 RAN-as-a-Service(RANaaS) 기술에 대한 연구 수행하고 있다.^[6] RANaaS에서는 중앙 집중형 처리와 효율적인 백홀 네트워크의 구축을 위하여, 기존 RAN의 상위 기능과 하위 기능을 유연하게 분리한다. 즉, 분리된 기능 노드 간에 필요한 링크 성능과 설치 비용을 고려하여 상위 기능과 하위 기능의 분리의 경계가 고정되어 있지 않고 상황에 따라 변경이 가능하다. 백홀 네트워크를 위한 전송 기술은 유선 및 무선을 모두 포함하며 상위 노드에 기능이 집중될수록 백홀 링크에 요구되는 성능이 커지므로, 시스템의 자원관리 등의 설계에 있어서 접속 링크 뿐만 아니라 백홀 링크도 함께 고려한다.

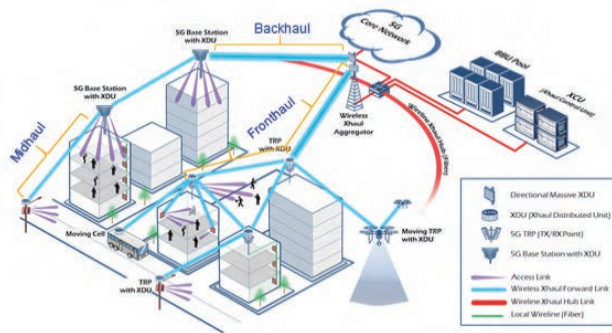
5G 전략수립 및 기술 선도를 위해 설립된 5G PPP에서는 2015년 7월에 Crosshaul 프로젝트와 Xhaul 프로젝

트를 발족하여, 기존 프론트홀과 백홀의 비용 효율성과 구축 용이성 증대를 위한 중앙 집중형 관리 기반의 유무선 통합형 엑스홀 기술을 연구 중에 있다.

Crosshaul 프로젝트는 5G 프론트홀과 백홀의 통합 전달망 설계를 목표로 서비스 지향형 통합관리 환경에서 모든 네트워킹 요소들이 소프트웨어 정의 재구성(Software-defined Reconfiguration)이 가능한 5G 전송 네트워크에 대한 연구개발을 수행한다. 특히, 제어 평면의 통합을 위한 단일화되고 추상화된 제어 인프라 구조와 고용량의 계층적 전송 기술과 저지연의 스위치 구조를 갖는 통합형 데이터 평면의 연구개발을 목표로 한다. Crosshaul에서 제시하는 제어 인프라는 기존 소프트웨어 정의 네트워크 (Software Defined Networking, SDN) 컨트롤러를 확장하여 개발함으로써, 네트워크 경로 설정과 운용관리를 중앙 집중화하고, 다수의 사업자가 엑스홀 인프라를 공유 가능하도록 설계된다. Crosshaul의 데이터 평면은 서로 다른 계층적 전송링크 (예: 유선 광 케이블 또는 무선 광(Wireless Optics), 밀리미터파 (mmWave) 등) 들로 연결되는 프론트홀/미드홀/백홀간 통합 전송을 위해 공통 데이터 프레임을 이용하여, 이중 전송기술들을 상호 연결하는 고용량 스위치 기능을 제공한다.

Xhaul 프로젝트는 소형셀들과 코어네트워크를 저비용으로 유연한 연결을 위한 통합형 유무선 네트워크 솔루션의 제시를 목표로 한다. Xhaul 프로젝트는 Crosshaul과 동일하게 Horizon2020의 엑스홀 관련 연구개발 프로젝트로써, 유사한 연구 목표를 가지고 있다. Xhaul 프로젝트는 미래의 고용량·고성능의 네트워크 요구사항을 저비용의 유연한 구조로 지원하기 위하여, 고용량의 광 전송 기술뿐만 아니라 60 GHz 및 sub-6GHz의 무선 전송 기술을 통합하여 프론트홀 및 백홀을 지원하는 네트워크 구조를 제안한다. 제안된 구조는 단말의 이동성 정보를 이용하여, 트래픽 부하 발생을 예상하여, 네트워크 자원을 동적으로 할당하고, 네트워크 요소들을 재설정하는 기능을 제공한다.

또한, 3GPP(Third Generation Partnership Project)^[10]는 다양한 셀이 밀집된 환경에서 기존 유선 기반의 백



〈그림 1〉 MXN 구조

홀 구축 방식의 문제점을 해결하기 위해서 망 구축의 용이성과 백홀 용량 및 확장성을 증대할 수 있는 무선 백홀 서비스를 5G 주요 서비스 중 하나로 논의 하고 있다.^[11]

2. MXN 기술 동향

MXN은 기존 유선 기반의 프론트홀, 미드홀, 그리고 백홀을 단일한 전송 프로토콜로 무선화하여 통합적으로 운용할 수 있는 이동 멀티홉 릴레이 기반의 무선 전송 네트워크이다. MXN은 〈그림 1〉에서 도시한 바와 같이 대용량 프론트홀/미드홀/백홀 트래픽을 멀티홉 릴레이로 전송하는 기능을 수행하는 엑스홀 분산전송 유닛(Xhaul Distribution Unit, XDU)과 모든 엑스홀 분산전송 유닛들의 경로구성 및 경로자원, 이동성 제어 등에 대한 통합 관리 기능을 수행하는 엑스홀 중앙제어 유닛(Xhaul Central Unit, XCU)로 구성된다. 또한 MXN은 네트워크 구성 요소들의 이동성을 지원하기 위해 중앙 집중형 통합 관리뿐만 아니라 계층·분산형 그룹 관리를 복합적으로 수행할 수 있는 유연한 망 구성의 특징을 갖고 있다.

MXN의 중앙 집중적인 제어를 수행하는 XCU가 제공하는 기능은 다음과 같다.

- XDU 초기 설정 및 인가
- 부하분산/간섭 및 전송 신뢰성을 고려한 경로 관리
- XDU 서비스 연속성을 제공하기 위한 이동성 제어
- 엑스홀 QoS(Quality of Service) 보장을 위한 엑스홀 자원 수락 제어 및 무선 자원 측정 관리

MXN에서 프론트홀/미드홀/백홀 트래픽의 무선 송수신을 담당하는 기능 요소인 XDU가 제공하는 기능은 다음과 같다.

- 다양한 네트워크 환경에서의 상호 운용성을 보장하기 위한 단일화된 통합 전송 기술
- XDU 간의 QoS 제공을 위한 무선링크 관리
- 무선 자원 관리 및 간섭 관리
- 다중 안테나를 통한 A6G/B6G 기반 무선 송수신
- XDU 식별을 위한 탐색 신호 송수신

2.1. MXN 경로 관리 기술

전송 신뢰성이 높은 MXN의 멀티홉 라우팅 경로를 제공하기 위한 MXN 경로 구성 방법 및 운용 방식은 다음과 같다. MXN 경로 구성 및 설정 기술은 XCU가 XDU에게 경로를 설정하는 중앙 집중형 방식과 무선 링크 상태에 따라 동적으로 경로를 설정하는 분산형 제어 방식이 복합적으로 제공된다.

중앙 집중형 방식은 경로 다중화, 경로 세분화 및 대안 경로 설정을 제공한다.

- 경로 다중화 : 경로의 강건성과 전송 신뢰성, 부하 분산 용이성을 높이기 위해, 소스 XDU에서 목적지 XDU까지의 경로를 서로 중첩되지 않는 다수 개의 경로를 구성한다.
- 경로 세분화 : 엑스홀 QoS에 따른 세밀한 경로 관리를 위해, MXN은 QoS 우선권 레벨(Priority Level) 별로 경로를 분리하거나 또는 f-TRP(Flexible Tx/Rx Point)/eNB(evolved Node B)/5G 기지국(gNB) 등의 액세스 시스템별로 경로를 분리하여 관리한다.
- 대안 경로 구성 : 무선 전송의 일시적인 통신 장애 및 이동성으로 인한 끊임없는 전송과 경로의 안정성을 보장하기 위해 실제 사용되는 경로 외에 대안 경로를 구성한다.

무선 전송의 일시적인 통신 장애 및 이동성으로 발생하는 무선 링크의 급격한 변화에 대응하기 위해 분산형 제어 방식을 도입함으로써, 무선 링크의 신속한 재구성을 보장한다. 일시적인 신호 감쇄 및 이동성으로 인한 링크 품질 저하가 감지되면, XDU는 XCU가 설정한 대안 경로를 이용하여, 추가적인 설정 절차 없이 데이터를 빠르게 전송할 수 있다.



2.2. 이동성 제어 기술

MXN 이동성 제어 기술은 이동성을 갖는 XDU가 서비스 영역이 다른 XDU간을 이동하는 경우에 엑스홀 링크에 대한 서비스 연속성을 제공하기 위한 기능이다. MXN 시스템은 엑스홀의 전송 신뢰성·저지연을 보장하기 위해 중복 전송을 통해 다중 연결성을 지원한다.

MXN 핸드오버 절차는 준비 단계, 수행 단계, 그리고 완료 단계로 구성된다. 핸드오버 준비 단계는 이동 XDU의 측정 결과 혹은 서빙(Serving) XDU의 결정에 따라 시작되며, XCU는 핸드오버가 가능한 후보(Candidate) XDU와 타겟(Target) XDU 결정과 중복 전송/데이터 포워딩 기능 지원 여부를 결정한다. 핸드오버 수행 단계에서는 대안 경로(Backup path)를 이용한 중복 전송 또는 서빙 XDU와 타겟 XDU 간의 데이터 포워딩 기능 수행 및 타겟 XDU와의 연결 설정 절차가 수행된다. XDU간 엑스홀 링크 설정 완료 및 핸드오버 완료를 위한 제어 메시지 교환이 완료 단계에서 수행된다.

2.3. 엑스홀 QoS 보장 기술

MXN 시스템은 다양한 네트워크 환경에서 서로 다른 서비스 요구사항에 따라 자원을 효율적으로 할당하고 관리하는 기능이 필요하다. MXN 시스템은 MXN 포워딩 베어러와 MXN 무선 베어러로 구성된 다계층 베어러(Bearer) 서비스 구조를 기반으로 QoS 특성에 따라 멀티홉 전송을 지원한다. 먼저, MXN 포워딩 베어러(Forwarding Bearer)는 소스 XDU에서 목적지 XDU 간 멀티홉 전송을 위한 MXN 플로우(Flow)에 매핑된다. 이때, 하나의 MXN 플로우는 소스 노드, 목적지 노드, 그리고 서비스 품질(QoS)이 동일한 엑스홀 트래픽 플로우의 집합으로 정의된다. MXN 포워딩 베어러는 XCU에 의한 경로 설정 요청 절차를 통해서 생성되며, 하나의 MXN 포워딩 베어러는 서로 다른 XDU를 경유하는 하나 이상의 경로에 설정될 수 있다. 또한, MXN 무선 베어러(Radio Bearer)는 XDU 간 효율적인 무선 전송을 지원하기 위해 정의된다. 동일한 서비스 품질을 가지는 서로 다른 MXN 포워딩 베어러들은 하나의 MXN 무선 베어러에 매핑되어 관리된다.

2.4. 통합 전송 기술

MXN은 프론트홀, 미드홀, 백홀 등의 다양한 트래픽을 다양한 네트워크 환경에서의 상호 운용성을 보장하기 위한 통합 전송 프로토콜을 제공하며, 세부 기능은 다음과 같다.

- QoS 기반 멀티홉 전송 기능: 최종 목적지까지 멀티홉 포워딩을 수행하며, QoS 클래스에 따라 서로 다른 노드로 전달 할 수 있다.
- 베어러 분할 기능: 링크 용량 증대 및 부하 분산을 위해서 하나의 MXN 포워딩 베어러를 서로 다른 경로를 통해 목적지까지 전송 할 수 있다. 최종 목적지 노드에서 패킷 재정렬(Packet Reordering)을 수행한다.
- 패킷 중복 송수신 기능: 신뢰도 향상 및 핸드오버 인터럽션 시간을 줄이기 위해서, 하나의 MXN 포워딩 베어러에 속한 패킷을 중복하여, 서로 다른 경로로 전송할 수 있다. 중복 전송이 시작되는 노드에서 패킷 복사 기능을 수행하고, 합류되는 노드에서 중복된 패킷을 검출한다.

위와 같은 기능을 제공하기 위해서 MXN 통합 전송 프로토콜은 MXN 포워딩 베어러 구분자인 플로우 구분자, 베어러 분할 및 중복 기능을 위한 패킷 정렬 기능 지원을 위한 패킷 일련 번호, 다양한 사업자의 환경 및 다양한 패킷 타입 전송 지원을 위한 패킷 타입 필드로 구성된다.

2.5. 무선 전송기술

mmWave 대역에서는 민간용 가용 주파수 대역이 풍부하여 대용량 데이터 전송에 적합하기 때문에, MXN은 우선적으로 mmWave의 사용을 고려하고 있다. mmWave 통신 기술의 대표적인 특징은 넓은 대역폭으로 인하여 대용량 전송이 가능하다는 점이며, 이러한 장점으로 무선 백홀 기능 등 대용량 링크를 지원하는 다양한 통신시스템에서 주로 활용되고 있다.^[12] 하지만 mmWave 채널은 높은 주파수 대역의 특성상 기존 LTE(Long Term Evolution) 등에서 사용하는 2 GHz 대역에 비하여 높은 경로 손실과 강우 손실 등 비교적 불리한 채널 환경을 가진다는 단점이 있다. 따라서 이러한 높은 손실 환경에서 송수신기 간의 무선 링크를 설

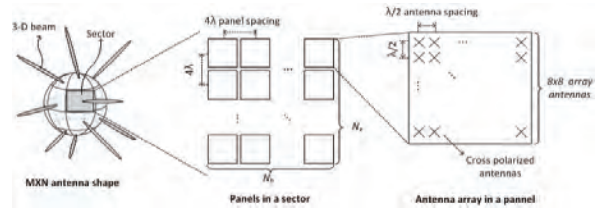
정하기 위하여 수백 개 이상의 안테나를 통한 빔 성형 (Beamforming) 기술이 필수적이다. MXN에서는 엑스홀 링크를 위해서 mmWave를 고려하고 있으며 이는 안테나 소자의 소형화를 통해 수백 개 이상의 안테나를 수용할 수 있는 구조를 가질 수 있다.

2.5.1. mmWave 대역 안테나 구조

안테나 소자의 크기는 대역폭에 따라 달라지기 때문에 통신 대역을 고려한 안테나 구조 설계가 필요하다. MXN에서는 현재 mmWave 주파수 대역으로 28GHz의 LMDS(Local Multipoint Distribution Service) 대역, 30/40 GHz 및 70/80/90 GHz의 EHF(Extreme High Frequency) 대역을 고려하고 있으며, 28 GHz 대역에서는 최대 850 MHz의 시스템 대역폭이, 30/40 GHz 및 70/80/90 GHz 대역에서는 최대 2 GHz의 시스템 대역폭을 운용 하는 것을 고려하여 각각의 밴드에 따른 안테나 구조가 설계되었다.

MXN 노드의 안테나 구조는 360° 전 방향으로의 송수신을 지원하기 위하여 다수의 패널을 이용한 구 형태의 안테나 구조를 갖는다. 이러한 구 형태의 안테나 구조를 통하여 MXN은 드론과 같이 비행하는 모바일 핫스팟을 운용하는데 이용 될 수 있으며, 또한 이러한 구조는 임의의 높이의 빌딩들이 존재하는 도심환경에서도 메시 구조의 네트워크 토폴로지를 유연하게 구성할 수 있다는 장점이 있다. MXN 안테나 구조에서 각 섹터는 공간 필터링에 의한 주파수 효율을 높이기 위하여 섹터화된 안테나 구조를 갖는다. 하나의 섹터 영역을 담당하는 안테나는 다수의 2D 평판 배열(2-Dimensional Planar Array) 패널들로 구성되며 이를 통하여 수평과 수직방향으로 빔의 방향을 변경 할 수 있는 3D 빔 성형 기능을 지원한다. 또한 MXN의 안테나 구조는 전송량 이득을 얻기 위하여 편파 다중화(Polarization Multiplexing)을 지원하며 이를 위하여 두 개의 안테나 소자를 교차 형태로 배치한다. <그림 2>는 위와 같은 특징의 MXN의 안테나 구조를 나타낸다.

MXN의 안테나 패널은 교차 편파(Cross Polarization)를 위한 두 개의 안테나 소자 쌍이 8×8의 평판 배열로

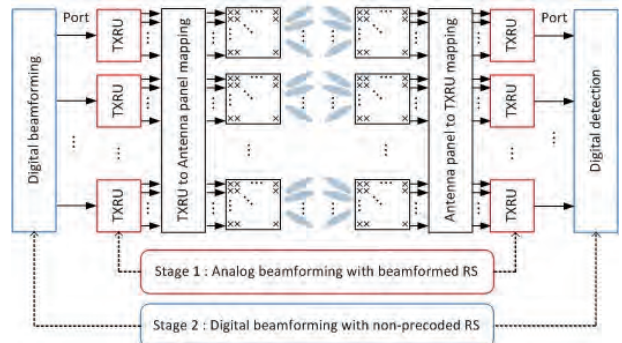


<그림 2> mmWave를 사용하는 MXN 안테나 구조

구성되며 하나의 안테나 패널은 총 128개의 안테나로 구성된다. 앞서 설명한 바와 같이 안테나 소자의 크기는 주파수 대역에 따라 달라지므로 패널의 크기 역시 대역별로 다르게 구성될 수 있으며 하나의 섹터를 담당하는 안테나는 총 $N_h \times N_v$ 의 패널로 구성된다. 안테나 소자 간 $\lambda/2$ 의 간격으로 안테나 패널을 구성할 경우 6 GHz에서 하나의 패널은 약 20 cm×20 cm의 크기를 가진다. MXN은 70/80/90 GHz 대역에서 높은 빔 성형 이득을 얻기 위하여 최대 32×32 평판 배열 안테나를 통한 빔 성형을 지원하며, 이 때 $N_h=N_v=4$ 이고, 약 6 cm×6 cm의 안테나 패널 크기를 가진다. 서로 다른 mmWave 대역에서 구형 안테나의 크기를 동일하게 유지하기 위하여 28 GHz 및 30/40 GHz 대역에서는 $N_h=N_v=2$ 이고, 총 16×16의 평판 배열로 빔 성형을 지원한다.

2.5.2. 빔 성형 구조

수백 개의 안테나 배열을 통한 송수신에서 디지털 기저대역(Digital Baseband) 처리의 복잡도를 완화하면서도 효율적인 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 동작을 수행하기 위하여 MXN에서는 <그림 3>과 같은 하이브리드 빔 성형(Hybrid Beamforming) 구조를 지원



<그림 3> 이 단계(Two-stage) 하이브리드 빔 성형 구조

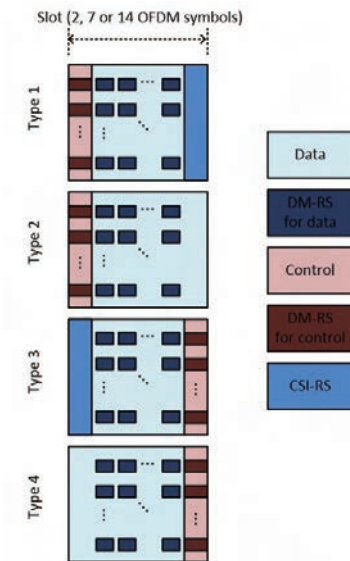
한다. MXN의 빔 성형 구조에서는 편파 안테나 구조 별로 독립적인 TXRU (Transceiver Unit)를 구성하여 아날로그 빔 성형 및 컴바이닝(Combining) 동작을 수행하도록 설계되었다. 이를 통하여 상대적으로 구현 복잡도가 낮은 상황에서 TXRU 별로 편파 다중화(Polarization Multiplexing) 기능 지원이 가능하다. TXRU와 안테나 소자 사이에는 완전 연결(Full Connection) 방식과 부분 연결(Partial Connection) 방식을 지원하며, 이를 위하여 TXRU를 안테나에 매핑하는 블록(TXRU to Antenna Mapping Block)이 존재한다. TXRU를 안테나에 매핑하는 블록을 통하여 주파수 대역에 따라 서로 다른 연결 구조를 지원한다.

대규모 안테나 구조에서 이론적인 최대 전송량을 지원하는 하이브리드 빔 성형의 아날로그 빔 성형 장치(Beam Former)와 디지털 빔 성형 장치를 동시에 적용하는 것은 현실적으로 불가능하다. MXN에서는 현실적인 하이브리드 빔 성형 적용을 위하여 다음과 같이 2단계에 거쳐 아날로그 빔 성형과 디지털 빔 성형을 적용한다.

- 단계 1: TXRU에 의한 아날로그 빔 성형이 수행된다. 아날로그 빔 성형을 위한 채널 상태 정보(Channel State Information, CSI) 추정에는 빔 기반 참조 신호(Beamformed Reference Signal)가 사용되며 장기(Long-term) 채널 특성 및 광대역(Wide-band) 채널 특성을 모두 반영한 빔 성형이 수행된다.
- 단계 2: 복소 곱셈기에 의한 디지털 빔 성형이 수행된다. 디지털 빔 성형을 위한 CSI 추정에는 프리코딩 되지 않은 참조 신호(Non-precoded Reference Signal)가 사용되며 단기(Short-term) 채널 특성 및 부대역(Sub-band) 채널 특성을 고려한 빔 성형을 수행할 수 있다.

2.5.3. 물리 프레임 구조 및 이중통신(Duplexing) 구조

MXN은 기본적으로 종래의 LTE, 와이브로(Wireless Broadband, WiBro) 등의 통신 기술에서 주로 사용되는 CP-OFDM (Cyclic Prefix - Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기반의 무선전송을 지원하지



〈그림 4〉 4가지 슬롯 구조

만, 광대역 전송과 대규모 안테나 전송을 지원하기에 적합한 무선 프레임 구조를 가진다는 차별성이 있다. 또한 mmWave 대역의 뉴머롤로지(Numerology)를 반영한 부반송파 간격(Subcarrier Spacing), 송신주기(Transmit Time Interval), CP 길이 등이 프레임 구조에 반영되었다.

특히 MXN 프레임 구조의 주요한 특징은 대용량 전송, 저지연 등의 5G에서 요구하는 각기 다른 시스템 요구 사항을 유연하게 지원하기 위하여 여러 타입의 프레임 구조를 운용 가능 하도록 설계되어 있다는 점이다. 무선 전송 프레임 구조는 〈그림 4〉와 같이 데이터 전송, 제어, 기준신호 영역으로 구성되는 네 가지 타입의 기본 슬롯의 구성으로 송수신 된다. 프레임 슬롯은 제어 신호의 위치와 CSI-RS(Reference Signal) 신호의 위치에 따라 4가지 타입으로 구분되어 지원되며, 슬롯의 구성은 전송 데이터의 양, 채널 상황 등에 의하여 가변적으로 구성될 수 있다. 부프레임(Subframe)은 14개의 심볼 크기의 긴 슬롯(Slot), 7개 심볼 크기의 중간 슬롯, 2개의 심볼 크기의 짧은 슬롯으로 구성하여 운용할 수 있다. 또한, 무선전송 프레임 내에는 빔 탐색 동작을 지원하기 위하여 5ms 주기로 빔 스위핑(Sweeping) 영역이 할당 되어 있으며, 사전에 정의된 주파수 및 시간 자원 영역에 할당된다. LTE의 제어 영역과 유사하게 이러한 빔 스위핑 영역에서의

부반송과 간격은 사전에 정의되어 사용된다.

MXN의 상하향 링크 설정을 위한 이중통신에는 기존 TDD(Time Division Duplex), FDD(Frequency Division Duplex) 방식이 사용되며, 추가로 상하향링크의 채널 상호성(Reciprocity)를 적극적으로 운용하기 위한 HDD(Hybrid Division Duplexing) 방식이 사용된다. <그림 5>은 이러한 MXN에서 사용되는 이중통신 기법과 프레임 구조 내에 가변적 슬롯 구성 특성을 도식화 한 것이다. 슬롯의 구성을 달리 함으로서 동일한 이중통신 기법에서 빔 스위핑 영역을 다르게 적용 할 수 있다.

2.6. 탐색 및 초기 접속 기술

MXN의 빔을 이용한 통신 구조에서는 노드 간의 초기 접속을 위하여 빔 탐색에 기반한 접속 알고리즘이 필요하다. MXN에서는 초기 접속의 빔 탐색을 위한 새로운 동기 신호가 설계되었다. 동기 신호를 통하여 기본적으로 심볼 타이밍, 주파수 오프셋(Frequency Offset), 프레임 경계(Frame Boundary), 섹터 인덱스(Sector Index)를 추정 할 수 있으며, 추가적으로 빔 인덱스(Beam Index) 추정을 위한 정보가 동기 신호에 포함된다. 이를 통해 송수신 노드는 동기 신호를 사용하여 빔 인덱스를 획득하고 최적 빔에 대한 피드백을 할 수 있는 구조를 가진다. 초기 접속과 송수신 빔 탐색은 앞서 프레임 구조에서 설명한 빔 스위핑 영역에서 수행된다.

빔 탐색은 섹터 단위로 수행되며, 3D 영역에서 다수의 빔 후보들로 인해 발생하는 탐색시간을 단축시키기 위하여 전체 빔을 다수의 부분 집합으로 분할하여 탐색을 수

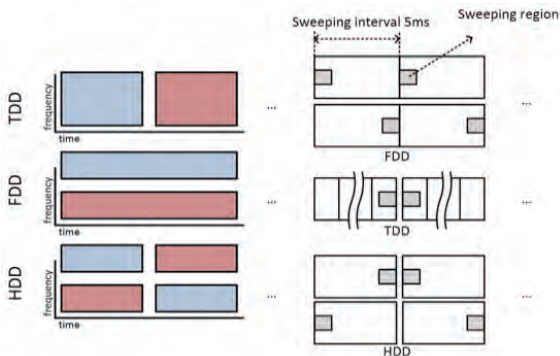
행한다. 또한 전체 빔 탐색(Exhaustive Search)으로 발생하는 탐색 오버헤드를 줄이기 위하여 주변 노드로부터 제공되는 위치 정보를 이용하여 빔 탐색 범위를 제한하는 알고리즘이 적용될 수 있다.

III. 이동 엑스홀 네트워크에 기반한 전술정보통신망

최근 그 결실을 보기 시작한 전술정보통신체계는 기존 스파이더(SPIDER) 체계를 대체하여 전술 부대간 다양한 형태의 멀티미디어 정보의 실시간 고속 전송이 가능한 이동가입자망 기반 지능화 기동형 통신체계이다.^[2] 전술정보통신체계 크게 전술이동통신체계, 전투무선체계, 무선전송체계, 네트워크관리/교환체계의 부체계로 구성된다. 여기서 무선 전송체계는 다시 소용량 무선 전송체계(Low Capacity Trunk Radio, LCTR)와 대용량 무선 전송체계(High Capacity Trunk Radio, HCTR)로 나뉜다.^[4]

소용량 무선 전송체계는 분산된 소부대를 대용량 무선 전송체계가 제공하는 기간망에 접속시키는 역할을 수행한다. 소용량 무선 전송체계와 대용량 무선 전송 체계는 통달 거리 및 전송 속도에서의 차이점이 있지만, 네트워크에 연결되는 부대 또는 부대 통신소 등과 같은 종단점(End-point) 사이의 무선 데이터 전송을 제공하는 무선 전송 네트워크(Wireless Transport Network)로 기능한다는 공통점이 있다. 이와 같은 군 정보통신 체계의 구조 및 기능을 고려할 때 앞서 기술한 이동 멀티홉 릴레이 기반의 MXN을 이용하여 전술정보통신체계에 적용하는 것이 가능하다. 더욱이, 앞서 살펴본 MXN의 요소 기술들이 제공하는 특성들을 고려할 때 MXN을 이러한 무선 전송 네트워크에 적용하는 것은 다음의 이점들을 가진다.

첫 번째로, 프론트홀, 미드홀, 백홀 트래픽을 하나의 단일한 무선 프로토콜을 이용하여 통합 전송하는 MXN은 전술이동통신체계의 이동기지국(Mobile Subscriber Access Point, MSAP)을 프론트홀을 이용해서 구성할 때 신속한 네트워크 배치(Network Deployment)를 가능하게 한다. 산악 지형이 많은 우리나라 지형을 고려할 때 이동기지국 서비스 영역(Coverage)을 최대한 확보하기 위



<그림 5> MXN에서의 이중통신 및 프레임 구조

해 <그림 6>과 같이 가시거리 환경(Line of Sight, LoS) 확보가 가능한 차량 주변 높은 곳에 접속 링크 안테나를 이격하여 위치시킬 필요가 있다. 이러한 이격 운용의 신호 감쇄를 최소화하기 위해 이동기지국을 기저대역장치(BBU)와 무선 전송장치(Radio Frequency Unit, RFU)의 두 부분으로 나누는 물리적 구분이 요구된다.^[4] 이때 기저대역장치와 무선 전송장치 사이를 전송 광케이블로 연결하는 유선 프론트홀이 아닌 MXN이 제공하는 엑스홀 링크를 이용하여 <그림 6>과 같이 무선 프론트홀로 대체할 수 있다. 이러한 유선 프론트홀을 무선 프론트홀로 대체하는 것은 신속한 네트워크 배치를 가능하게 하는 이점을 제공한다.

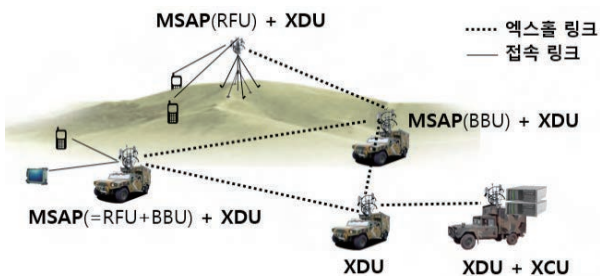
두 번째로, 네트워크를 구성하는 노드의 이동성을 지원하는 MXN은, <그림 6>에서 도시한 전술이동통신체계를 구성하는 이동기지국이 탑재되는 소형 전술이동차량이 이동중(On The Move, OTM)이라 할지라도 이동기지국의 백홀 링크를 항시 제공할 수 있다. MXN의 이동성 지원은 급변하는 전장 상황에서 자동적인 네트워크 토폴로지(Topology) 변경이 가능하게 하는 이점이 있다. 이러한 이점은 인접 XDU를 자동으로 탐색하고 무선 링크를 자동으로 설정하여 네트워크에 자동적으로 연결하는 MXN의 기능(Plug & Play Installation)과 더불어 필요시 원하는 작전지역으로 신속히 이동하여 최단 시간 내 네트워크 구성이 가능해야 한다는 전술이동통신체계의 요구사항에 적합한 점이다.

세 번째로, MXN이 제공하는 대용량 엑스홀 링크는 미래 전술이동통신체계 변화에 대한 지원을 담보할 수 있다. 애초 전술이동통신체계의 개발은 빠르게 발전하는 상용기술을 활용하여 개발비용이나 절감 및 기간을 단축하

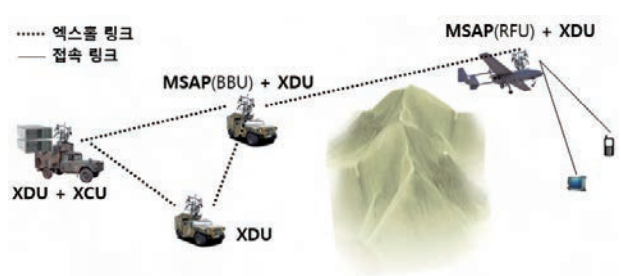
려는 세계적인 흐름에 맞추어 와이브로에 기반을 두었다. 그러나, 최근의 상용 이동통신은 5세대 이동통신으로 연구 개발이 급속하게 진행되고 있어 와이브로 이후의 미래 5세대 이동통신으로의 미래 전술이동통신체계 변화에 대한 고려가 필요하다. 또한, 음성 위주의 트래픽(Traffic)을 고려하였던 전술다기능단말기(Tactical Multi-Function Terminal, TMFT)가 미래에 다양한 고용량 멀티미디어 트래픽을 지원하는 단말로의 발전 가능성을 고려할 필요도 있다. 따라서, 미래 전술이동통신체계는 대용량 접속 링크를 제공하는 새로운 무선접속기술(Radio Access Technology, RAT)이 될 가능성이 높다. MXN은 패킷 스위칭 기반으로 종단간의 대용량 전송을 지원하므로 기존 와이브로는 물론 향후의 새로운 무선접속기술의 무선 전송 네트워크로 MXN의 적용이 가능하다.

네 번째로, 앞서 살펴보았던 MXN의 경로 관리 기술은 전술환경에서의 무선 전송 네트워크 강건성을 증대시키는 이점이 있다. MXN은 무선 링크의 상태를 측정하고 이를 바탕으로 종단간 경로를 설정하고 관리함에 있어 전송 신뢰성을 위해 서로 다른 경로로 동일한 데이터를 전송하는 중복 전송 또는 이음매 없는(Seamless) 핸드오버를 위해 종단간의 주 경로(Primary Path) 이외에 별도의 대안 경로를 설정한다. 이러한 기능은 적 공격에 노출되는 전송 환경에서 종단간 데이터 전송의 신뢰성을 향상시키며 네트워크의 생존성을 증대시키는 이점을 제공한다.

이 외에, MXN은 가변 대역폭(Scalable Bandwidth) 기능을 통해 기존 전술정보통신체계의 소용량 무선 전송 체계와 대용량 무선 전송 체계 모두를 지원 가능하다. MXN에서는 가변 부반송파 간격(Scalable Subcarrier Spacing)을 사용하여 최소 대역폭의 최대 10배까지의 가



<그림 6> 지상의 무선 프론트홀을 지원하는 MXN 시나리오



<그림 7> 무인기를 이용한 공중 프론트홀을 지원하는 MXN 시나리오



변 대역폭을 지원한다. 따라서, MXN 기술을 이러한 전술정보통신체계에서 무선 전송을 담당하는 부체계에 적용할 경우 하나의 무선 전송 네트워크 체계로 통합하여 운용 및 관리에서의 이점 등을 가지는 통합된 무선 전송 네트워크를 모색할 수 있다.

현재 원천기술로 연구 중인 MXN은 민간의 상용 기술로의 개발을 염두에 두고 있어 군 통신 기술이 요구하는 특성과 정확히 일치하지 않거나 또는 고려하고 있지 않아 추가적인 연구가 필요한 기술 요소들이 존재한다. 이러한 기술들 중의 하나는 무인기를 이용해서 엑스홀 네트워크를 구성하는 기술이다. 최근 무인기를 이용해 사용자 단말에게 공중과 지상간의 접속 링크를 제공하는 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 접속 링크 진화의 흐름을 고려할 때 <그림 7>과 같이 전장 지형, 전투 상황, 또는 기타 조건으로 전술이동차량에 탑재한 이동기지국을 이용한 네트워크 배치가 여의치 않을 경우 이동기지국을 무인기에 탑재하는 시나리오에 대한 고려가 필요하다. 무인기의 경우 제약된 전력 및 제약된 탑재 무게로 인해 이동기지국의 최소 기능만 탑재하는 것이 적절하다. 따라서 <그림 7>과 같이 이동기지국의 기능을 기저대역장치와 무선전송장치로 나누어 지상의 전술 이동 차량 및 공중의 무인기에 각각 탑재하는 것이 타당하다. 현재 연구중인 MXN의 경우 지상의 이차원적인 도로나 철로 위를 이동하는 버스와 기차 같은 곳에 탑재된 이동 XDU에 대한 이동성에 대한 지원은 고려되어 있다. 하지만, 공중에서 자유롭게 삼차원으로 기동하는 이동체에 대한 이동성을 보장하기 위해서는 삼차원 이동 특성을 고려한 다면적 네트워크 구성 및 다면적 이동성 보장 기술이 필요하다.

IV. 결론

본고에서는 최신 민간 통신 기술을 군 전술 통신 개발에 활용하는 최근의 흐름에 감안하여, MXN 기술 동향을 소개하고 MXN의 미래 전술정보통신체계에의 적용에 대해 논하였다. 종단간에 무선으로 데이터를 통합 전송하는 MXN은 전술정보통신체계의 소용량 무선 전송체계 또는

대용량 무선 전송체계와 같은 무선 전송 네트워크에 적용 가능하다. 특히, 민간 통신과 군 통신 양자에서 공통적으로 발견되는 대용량 정보 전달로의 일반적 통신 기술 발전 방향 및 고용량 멀티미디어 트래픽을 요구하는 군 전술 통신 장비 등장 가능성 등을 고려할 때, 미래의 전술정보통신체계의 무선 전송 네트워크는 현재의 전술정보통신체계를 구성하는 무선 전송 네트워크보다 훨씬 큰 전송 용량 지원을 요구할 수 있다. 이러한 미래 전술정보통신체계의 무선 전송 네트워크 요구 조건에 부응할 수 있는 모바일 엑스홀 네트워크의 대용량 전송 특성과 더불어 프론트홀/미드홀/백홀 통합 전송, 네트워크 구성 노드의 이동성 지원, 통합 패킷 전송, 종단간 경로 관리, 가변 대역폭 기술 등의 특성들을 고려할 때 MXN이 미래 전술정보통신체계에서의 무선 전송 네트워크 후보 기술로 적합하다고 판단된다.

V. Acknowledgement

이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2014-0-00282, 초연결 스마트 서비스를 위한 5G 이동통신 핵심 기술 개발)

참고 문헌

- [1] A. K. Cebrowski and J. J. Gartska, Network-Centric Warfare: Its Origin and Future, Naval Inst., 1998. 1.
- [2] 노승희, 전술통신체계 개발동향 및 발전추세, 국방과 기술, 433호, 2015.3.
- [3] 황정섭, 백해현, 네트워크 중심전을 위한 군 정보 통신 장비 기술/발전 동향, 전자파기술, 19권 4호, 2008.7.
- [4] 박귀순, 황정섭, 미래 전장 환경변화에 따른 TICN 체계 요구 기능 및 능력, 2010. 2.
- [5] P. Chanclou, Evaluating the different fronthaul options and the technical requirements for the different scenarios, RAN & Backhaul Networks, 2015. 5.
- [6] iJOIN, Final definition of iJOIN architecture, D5.3, 2015. 4.
- [7] <https://5g-ppp.eu>



[8] L. Cominardi, et al., "5G-Crosshaul: towards a unified data-plane for 5G transport networks," IEEE EuCNC 2016, 2016. 6.
 [9] Antonio de la Oliva, et al., "Xhaul: toward an integrated fronthaul/backhaul architecture in 5G networks, IEEE Wireless Comm., 2015. 9.
 [10] <http://www.3gpp.org>
 [11] 3GPP, Feasibility study on new services and markets technology enablers – network operation, TR 22.864 v.2.0.0, 2016. 6.
 [12] <http://www.miweba.eu>



윤미영

- 1999년 2월 충남대학교 학부 (학사)
- 2001년 2월 충남대학교 (석사)
- 2000년 12월~현재 한국전자통신연구원 책임연구원

〈관심분야〉
5G 이동통신



조승권

- 1999년 2월 부산대학교 학부 (학사)
- 2001년 2월 광주과학기술원 (석사)
- 2001년 3월~현재 한국전자통신연구원 책임연구원

〈관심분야〉
5G 이동통신



백승권

- 2000년 2월 경북대학교 대학원 (석사)
- 2000년 2월~4월 삼성전자
- 2000년 4월~현재 한국전자통신연구원 책임연구원
- 2016년 3월~현재 한국전자통신연구원 네트워크연구실 실장

〈관심분야〉
이동통신시스템, 무선자원/이동성 관리, 네트워크 최적화



신성필

- 2013년 2월 고려대학교 학부 (학사)
- 2015년 2월 고려대학교 (석사)
- 2015년 2월~현재 한국전자통신연구원 연구원

〈관심분야〉
mmWave 통신, 대규모 안테나 기술, Beamforming 기술, 무선 백홀 기술