

5G NR 핵심 기술의 표준동향 및 군 통신 적용 시나리오

이성진¹⁾ · 김은수¹⁾ · 김기훈²⁾ · 이종만²⁾ · 최 완^{*1)}

¹⁾ 서울대학교 전기정보공학부

²⁾ 한화시스템(주) 전술통신체계팀

Standardization Trends and Military Communication Applications of Core Technologies of 5G NR

Seongjin Lee¹⁾ · Eunsoo Kim¹⁾ · Kihun Kim²⁾ · Jongman Lee²⁾ · Wan Choi^{*1)}

¹⁾ Department of Electrical and Computer Engineering, Seoul National University, Korea

²⁾ Tactical Information Communication Network, Hanwha Systems, Korea

(Received 17 May 2024 / Revised 17 July 2024 / Accepted 7 August 2024)

Abstract

5G New Radio(NR) technology, with its focus on high speed, low latency, and connectivity, introduces crucial advancements like MIMO for enhanced reliability and transmission rates, edge computing for reduced latency, and IAB for extended coverage. However, military communication networks face challenges such as limited capacity, unpredictable mobility and communication dead zones. This paper delves into the trends of the above 5G NR technologies outlined by the 3GPP standard, exploring their potential applications within military infrastructure networks. Our aim is to underscore the benefits of harnessing these technologies in military settings. Additionally, through simulation, we forecast the advantages associated with integrating these core 5G NR technologies, thereby paving the way for enhanced military communication capabilities.

Key Words : 5G NR(5세대 이동통신), MIMO(다중 안테나 기술), Edge Computing(엣지 컴퓨팅), IAB(통합 액세스 및 백홀), Military Communication(군통신)

1. 서론

5G 기술은 초고속(eMBB), 초저지연(URLLC), 초연결(mMTC) 3가지 특성을 목표로 발전시킨 통신 기술이다. eMBB는 enhanced mobile broadband의 약자로

4G 통신 기술보다 높고 넓은 주파수 대역폭을 활용하여 데이터 전송률 및 주파수 효율성을 높이는 특성을 의미한다. URLLC는 Ultra-Reliable and Low Latency Communications의 약자로 무선 접속(access) 기술 개발을 통해 고신뢰도의 데이터 전송을 지원하는 동시에 장치간 통신 지연시간을 최소화하는 특성을 의미한다. mMTC는 massive Machine Type Communication으로 통신 소요 자원 절감을 통해 다수의 통신 장치가 네트

* Corresponding author, E-mail: wanchoi@snu.ac.kr

Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

워킹에 접속 가능하게 하는 특성을 의미한다. 이러한 5G 기술의 발전은 공공 및 민간 산업에 높은 부가가치를 창출하고 있다.

다양한 사례에서 5G 기술이 상용화된 반면, 현재 한국군의 기반통신망은 전송용량 제한, 신속한 개통제한 및 기동성 미보장, 통신 음영지역 발생, 주파수 부족 등의 문제점을 가지고 있다^[1]. 본 논문에서는 먼저 군의 기반통신망이 가지고 있는 문제를 해결하기 위해 적용가능한 5G 핵심 기술 중 군 통신에 활용성이 높은 MIMO, 엣지 컴퓨팅, IAB에 대해 3GPP 표준동향을 살펴본다.

5G NR MIMO(Multi-Input Multi-Output) 기술은 3GPP Rel.15부터 표준화되었고 빔 제어 기법, 다중 기지국 송수신 기법, 채널 정보 측정 및 보고 기술 등 다양한 범위가 포함되어 있다. 본 논문에서는 이 중, 다중 기지국 송수신 기법을 중심으로 표준동향을 살펴본다.

엣지 컴퓨팅 기술은 엣지 응용, 관리 계층 등으로 나누어 표준화를 진행 중이다. 엣지 응용 계층은 검색 및 연결 등 엣지 컴퓨팅 핵심 기능을 처리하는 플랫폼 기능과 네트워크 계층 기능을 제공한다. 엣지 관리 계층은 엣지 컴퓨팅 플랫폼과 응용의 컴포넌트에 대한 수명 주기 관리나 과금에 대한 기능을 제공한다. 본 논문에서는 응용 계층을 중심으로 3GPP Rel.16 및 17에서의 표준화 동향을 살펴본다.

IAB(Integrated Access and Backhaul) 기술은 3GPP Rel.16에서 무선 프로토콜의 구성, 다중 홉 무선 백홀 데이터 전송, 데이터 흐름 제어 상향 링크 스케줄링 지연 개선 및 논리채널식별자 확장, IAB 노드 통합 절차 등에 대해 표준화를 진행했다. 본 논문에서는 IAB의 라우팅 및 혼잡 제어 기법, 노드 통합 절차 등을 중심으로 표준동향을 조망한다.

또한 본 논문에서는 위의 5G NR 표준 동향을 바탕으로 해당 기술을 군 통신에 적용하여 현재 군의 기반통신망이 가지고 있는 문제를 해결할 수 있는 가능성을 시나리오를 통해 논의한다. 제시된 군 전술 시나리오를 바탕으로 해당 기술도입으로 얻을 수 있는 이득을 Matlab 시뮬레이션을 통해 보인다.

2. 5G 핵심 기술의 표준동향

2.1 MIMO

MIMO는 송수신단에서 다중 안테나를 이용하는 기

술로 통신 시스템에 다양한 이점을 제공한다^[2]. 송수신단의 서로 다른 안테나를 거친 채널들의 비상관성을 이용하여 다이버시티(Diversity)를 얻어 높은 신뢰성을 확보할 수 있다. 또한, 공간 다중화(Spatial multiplexing)를 통해 동일한 시간 및 주파수 자원에서 다수의 계층을 이용해 데이터 스트림을 동시에 전송할 수 있어 데이터 전송률을 높일 수 있고, 각 안테나 요소들의 위상 및 크기를 조절하여 신호를 특정 방향으로 집중시키는 빔포밍(Beamforming) 기술을 이용해 커버리지(Coverage)를 향상시킬 수 있다.

2.1.1 MIMO 다중 기지국 송수신 기법

2.1.1.1 하향 링크

다중 송수신단 기법에서 단말은 최대 두 개의 기지국에 연결이 가능하며, 이때, 하나의 기지국은 서빙, 다른 하나는 협력 기지국으로 동작한다. 각 기지국은 단말에 개별적인 스케줄링이 가능하다. 이러한 다중 기지국 송수신 기법은 eMBB, URLLC 서비스 지원을 위한 기술로 세분화하여 각기 다른 내용으로 표준화가 진행되었다^[3]. eMBB 서비스 개선을 위해 크게 단일 제어 채널 기술과 다중 제어 채널 기술로 구분된다. 단일 제어 채널 기술은 서빙 기지국이 PDCCH(Physical Downlink Control Channel)를 사용하여 두 기지국의 PDSCH(Physical Downlink Shared Channel)를 스케줄링한다. 단말이 서빙 기지국에서만 제어 정보를 받을 수 있으므로 서빙 기지국과의 연결에 문제가 생길 경우 협력 기지국과의 통신에도 영향을 미칠 수 있다. PDCCH는 각 기지국 별 하나 또는 두 개의 하향 링크 빔 정보를 전달할 수 있는데, 이는 3 bits의 인자를 통해 결정된다. 다중 제어 채널 기술은 두 기지국이 모두 각각의 PDCCH를 전송하여 PDSCH를 스케줄링하는 기술이다. 각 기지국의 하향 링크 빔제어와 정보 전달은 단일 제어 채널 기술과 동일하다. 해당 기법은 단일 제어 채널 기법에 비해 높은 스케줄링 자유도와 안정성을 제공하지만 단말의 수신 복잡도가 증가하는 문제가 존재한다. 이를 해결하기 위해 단말이 다중 제어 채널 기법으로 동작할 경우 각 기지국으로부터 할당 받을 수 있는 코어셋(CORESET, 물리적 자원과 PDCCH를 전송하기 위해 사용되는 매개변수의 집합)의 수를 3, 4, 5개로 제한하였다. 단일/다중 제어 채널 기술을 이용하여 각 기지국이 서로 다른 데이터 레이어에서 하나의 단말에 서로 다른 데이터를 한 번에 전송하는 NCJT(Non-Coherent Joint

Transmission) 기법이 제시되었다. 또한, URLLC 서비스 지원 기술을 위해 두 개의 기지국이 동일한 데이터를 서로 다른 시간, 주파수, 계층에서 반복 전송하여 다이버시티 이득을 통해 안정성을 높이는 기법이 제안되었다. 이는 하나의 기지국의 신호 수신에 실패하더라도 다른 기지국에 의해 데이터를 수신할 수 있는 기술이다^[4].

2.1.1.2 상향 링크

URLLC 서비스를 위해 PUSCH(Physical Uplink Shared Channel), PDCCH, PUCCH(Physical Uplink Control Channel)에 다중 기지국 송수신을 활용한 링크 안정성 향상 기법에 대한 표준화가 진행되었다. PDCCH의 전송 자원 영역은 코어셋과 탐색 영역의 정보를 통해 설정된다^[3]. PDCCH의 링크 안정성을 위해서 두 개의 기지국은 서로 다른 코어셋과 탐색 영역을 사용하면서 각 코어셋과 탐색 영역 간의 연결 설정을 부여하여 동일한 DCI(Downlink Control Information)를 단말에 반복 전송한다. 이로 인해 하나의 기지국과의 통신이 불안정하더라도 다른 기지국을 통해 단말의 수신 안정성이 향상된다. PUCCH, PUSCH에 대한 연결 안정성 향상을 위해서 동일한 UCI 및 데이터가 서로 다른 시간 자원에서 서로 다른 빔으로 반복 전송할 수 있도록 표준화가 이루어졌다^[5].

2.2 엣지 컴퓨팅(Edge Computing)

엣지 컴퓨팅은 응답 시간을 줄이고 대역폭을 절약하기 위해서 사용자 단말과 가까운 곳에 엣지 서버를 위치시키는 분산 컴퓨팅 기술 중 하나이다. 기존 클라우드 컴퓨팅과는 달리 우수한 연산 능력을 갖춘 엣지 서버가 사용자의 단말 근처에 위치하기 때문에 데이터를 전송하는 데에 필요한 물리적 통신 거리가 줄어든다. 사물 인터넷의 확대와 고화질 비디오 등 미디어의 대용량화가 진행되며 엣지 컴퓨팅의 수요는 증대되고 있으며 이에 3GPP 표준 기술로 선정되어 활발한 연구와 표준화가 이루어졌다^[6].

2.2.1 5G 코어 네트워크 데이터 평면 구조

5G 네트워크 구조에서는 엣지 컴퓨팅 지원을 위해 데이터가 지나가는 경로인 데이터 평면(Data plane)의 구조가 크게 변화하였다. 기존 중앙 집중화되고 고정된 PDU(Protocol Data Unit) 게이트웨이 기반 데이터 평면에서 분산되고 상황에 따라 게이트웨이 재선택이

가능한 데이터 평면으로 진화하였다. 5G 게이트웨이의 위치를 분산시켜 이를 엣지 응용 서버에 더욱 가깝게 위치시킬 수 있을 뿐만 아니라, 사용자 단말의 이동성을 고려하여 게이트웨이를 유연하게 재선택함으로써 상황에 맞게 사용자 단말과 엣지 응용 서버 사이 단-대-단 거리를 효과적으로 최소화할 수 있다^[7].

사용자 단말의 이동성을 고려하여 게이트웨이를 재선택할 때, 게이트웨이를 변경하면서도 세션 서비스의 연속성(Session and service continuity)을 지원해야 한다. 3GPP 표준에서는 이를 위한 세 가지 모드를 지원한다. SSC 모드 1은 사용자 단말의 이동성에 따른 게이트웨이 변경을 허용하지 않는 모드이다. 서비스 및 세션의 연속성을 보장할 수 있으나 게이트웨이 변경이 허용되지 않기 때문에 단말과 엣지 응용 서버 사이 거리의 최소화를 보장할 수 없다. SSC 모드 2는 이동성에 따라 기존 게이트웨이 및 PDU 세션의 IP 주소를 해지한 후, 새로운 IP 주소를 할당하는 모드이다. 이는 선 해지, 후 생성의 방법으로 게이트웨이 변경 시 해지와 생성 사이의 패킷 손실이 발생할 수 있다. 마지막으로 SSC 모드 3은 이동성에 따라 새로운 게이트웨이 및 PDU 세션의 IP 주소를 할당한 후, 기존 IP 주소를 해지하는 모드이다. 이는, 선 생성 후 해지의 방법으로 SSC 모드 2와는 달리 게이트웨이 변경 시 패킷 손실이 발생하지 않는다.

사용자 단말은 PDU 세션 성립 시 망이 정한 규칙에 따른 각 SSC 모드에 대한 선호도를 요청한다. 그 후, 최종 SMF(Session Management Function)가 요청된 선호도를 기반으로 해당 세션의 SSC 모드를 결정한다. 이러한 과정을 통해 엣지 컴퓨팅에서는 단말의 이동성을 고려하여 게이트웨이를 유연하게 재선택 및 변경하면서도 서비스의 중단없이 항상 가까운 엣지 응용 서버와의 연결성을 지원할 수 있다.

2.2.2 단말의 이동성을 지원하는 5G 코어 네트워크 라우팅 기능

게이트웨이의 유연한 선택을 위해서는 게이트웨이 선택을 위한 기준이 필요하다. 게이트웨이 선택을 위한 기준으로 3GPP 표준에서 허용하는 게이트웨이 선택 방법은 응용 기반 라우팅 방식(AFI)과 지역 기반 데이터 네트워크 방식(LADN)으로 나뉜다.

2.2.2.1 응용 기반 라우팅(AFI)

AFI(Application Function Influence) 방식에서는 외부

의 응용 기능(AF)으로부터 게이트웨이 선택에 대한 요구사항을 전달받아 이러한 응용을 사용하는 단말들의 PDU 세션에 대한 정책과 데이터 경로 등을 정하는 방식이다. 응용 기능은 자신이 제공하는 응용 서비스를 사용하기 위한 정책 요구사항을 PCF(Policy Control Function)에 전달하고 PCF는 전달받은 요구사항을 기반으로 응용 서비스에 대한 정책을 수립한다. 정책 수립을 위해 요구사항이 명시하는 정보로는 응용 서버의 위치, 정책이 적용되는 단말 및 위치 정보 등이 있다. 이러한 정보를 통해 PCF는 각 응용 기능 및 서비스에 대한 라우팅 정책을 수립하여 사용자 단말과 엣지 응용 서버와의 거리를 응용 기능 관점에서 최소화할 수 있다.

2.2.2.2 지역 기반 데이터 네트워크(LADN)

LADN(Local Area Data Network)은 특정 지역에서만 유효한 로컬 데이터 네트워크를 의미한다. 특정 지역에 한정된 로컬 데이터 네트워크의 물리적인 위치는 특정 지역 내부에 위치할 가능성이 크기 때문에 단말의 위치를 파악하여 단말이 특정 지역 내부에 위치할 경우에만 이러한 로컬 데이터 네트워크 및 로컬 서비스를 단말에게 제공하는 방식이며, 이로써 단말의 위치에 맞는 적절한 엣지 응용 서버와의 연결성을 제공할 수 있다.

2.3 IAB

IAB는 광대역 밀리미터파 주파수 자원을 동적으로 활용하여 다중 홉 릴레이 기반의 무선 액세스/백홀 링크를 제공하는 기술이다⁴⁾. IAB는 광섬유가 연결된 IAB 도너(donor)와 광섬유 연결이 없는 IAB 노드로 구성된다. IAB 도너는 CU(Central Unit)와 DU(Distributed Unit)로 구성되어 있으며, 5G 코어 네트워크와 직접 연결되어 있다. DU는 BAP(Backhaul Adaptation Protocol) 하위 계층을 가지고 있고 이를 이용하여 IAB 노드에게는 백홀, 단말에게는 액세스 링크를 제공한다. IAB 노드는 단말기능을 수행하는 IAB-MT(Mobile Terminal)와 기지국 기능을 수행하는 IAB-DU로 나누어진다. IAB-MT는 다른 IAB-DU에 접속하여 IAB 노드와 IAB 도너의 CU 사이의 연결성을 제공하여 코어 네트워크에 연결될 수 있도록 한다. IAB 노드 사이의 연결 관계를 지칭할 때, IAB 노드 또는 도너의 DU에 연결된 IAB 노드를 자식 IAB 노드, IAB-MT에 연결된 IAB 노드를 부모 IAB 노드라고 한다⁸⁾.

2.3.1 IAB 프로토콜 구성

IAB 노드와 IAB 도너 사이의 연결은 IP 계층이 사용되고 무선 다중 홉 백홀 전송을 위해 라우팅 및 RLC(Radio Link Control) 채널 매핑 기능을 가지는 BAP 하위 계층이 사용된다. BAP 하위 계층은 데이터 전송 시 다수의 백홀 RLC 채널을 이용하여 차별화 전송과 높은 QoS(Quality of Service)를 제공할 수 있다. BAP는 백홀 데이터 전송, 상위 계층에서 수신한 패킷의 BAP 목적지 결정, 라우팅 및 흐름 제어 피드백 및 폴링 신호 전송 등의 역할을 수행한다.

2.3.2 IAB BAP 기반 라우팅 기법

다중 홉 무선 백홀 데이터 전송을 위해 라우팅 기능이 도입되면서 BAP 라우팅 ID가 정의되었다. BAP 라우팅 ID는 BAP 주소와 BAP 경로 ID로 구성되어 있다. BAP 라우팅 ID는 PDU(Protocol Data Unit)의 목적지 IAB를 가리키고 BAP 경로 ID는 패킷의 목적지 IAB가 동일하지만 서로 다른 라우팅 경로를 가질 경우 이를 지정하기 위해서 정의되었다. 또한, BAP 하위 계층의 백홀 RLC 채널은 두 IAB 노드 사이의 데이터 전송 시 특정 트래픽 우선 처리 기능을 제공한다.

2.3.3 IAB 하향/상향 링크 데이터 혼잡 제어

IAB 노드에서 다중 홉 하향 링크 데이터 전송을 수행할 시에 데이터를 송신하는 IAB 노드는 수신하는 IAB 노드와 다음 홉의 IAB 노드의 연결 상황을 알 수 없으므로 데이터가 손실될 수도 있다. 이를 방지하기 위해 자식 IAB 노드의 하향 링크 전송 버퍼의 상태가 일정 수준을 넘어서면 흐름 제어 피드백을 부모 IAB 노드에게 전송하여 하향 링크 혼잡문제를 해결하는 기법이 표준화되었다.

일반적인 상향 링크 스케줄링은 단말의 버퍼가 비어있는 상황에서 송신할 데이터가 생긴 경우, 정규 BSR(Buffer Status Report)이 기지국으로 전송되어 단말에 저장된 데이터의 양을 알리고 기지국이 상향 링크 그래นต์를 단말에게 할당한 후, 단말이 상향 링크 전송을 시작한다. 하지만 다중 홉 무선 백홀 환경에서는 실제 데이터가 IAB 노드에 도착하기 전까지 정규 BSR을 통해 상향 링크 그래นต์를 요청할 수 없어 상향 링크의 스케줄링이 지연되는 문제가 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해 선점(pre-emptive) BSR이 도입되었다. 선점 BSR은 라우팅을 통해 곧 IAB 노드로

도착할 데이터에 대한 정보만 포함하고 실제 IAB 노드의 버퍼에 저장되어 있는 데이터 정보는 포함하지 않는다. 해당 기법을 이용하면 실제 데이터 도착 전에 미리 상향 링크 그랜트 요청을 할 수 있다.

2.3.4 IAB 노드 통합 절차

새로운 IAB 노드가 설치된다면 네트워크에 등록하여 IAB 노드로 동작하도록 하기 위한 절차가 필요하다. 이를 IAB 노드 통합 절차라고 하며 네 가지의 단계로 나뉜다. 첫 번째로 IAB-MT 설정 단계에서는 새로운 IAB-MT는 IAB 도너의 CU와 RRC 연결 수립 과정을 수행한다. 두 번째 단계인 백홀 RLC 채널 수립 단계에서는 새로 설치되는 IAB 노드와 기존 설치되어 있는 IAB 노드 사이에 트래픽을 전송하기 위한 디플렉트 백홀 RLC 채널을 수립한다. 세 번째로 라우팅 업데이트 단계에서는 새로운 IAB 노드와 IAB 도너의 DU 사이의 라우팅을 지원하기 위해 해당 라우팅 경로상에 있는 IAB 노드들과 IAB 도너 DU의 BAP가 업데이트된다. 마지막으로 IAB-DU 부분 설정 단계를 수행한다. 이 과정이 끝나면 새로운 IAB 노드는 단말 서비스가 가능해진다.

UAV, 정찰 로봇 등에서 수집한 정밀 데이터를 안정적으로 보고받을 수 있어야 한다. 이는 다중 송수신단 기술의 적용으로 달성 가능하다. 구체적으로, 작전 지역의 각 장비에서 PUCCH, PUSCH 연결 안정성을 제공하기 위해 동일한 UCI를 다수의 슬롯에서 혹은 하나의 슬롯 내에서 반복 전송하는 기술을 이용하여 신뢰성 향상을 보장할 수 있다. 따라서 작전 지역의 실시간 정보를 정확하고 안정적으로 획득할 수 있고 전방위 탐지를 통한 전장 가시화를 바탕으로 상황에 맞는 적응적 대응 작전 수립 및 적합한 정밀 타격 결정을 할 수 있다.

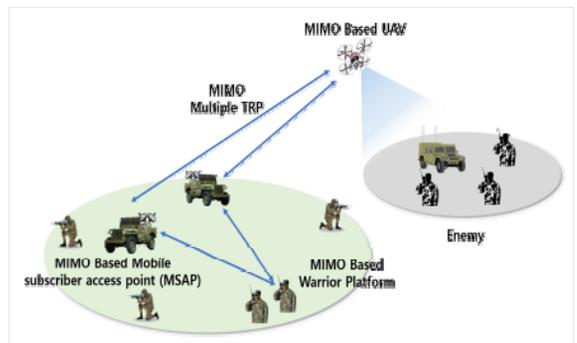


Fig. 1. MIMO in military communication scenario

3. 군 통신 적용 시나리오

3.1 MIMO

미래 전장 환경은 UAV, 정찰 로봇 등이 수집한 정찰 정보를 이용해 상황 판단을 하고 획득된 정보를 바탕으로 현행 작전을 수정, 전장 상황에 맞는 작전 수립으로 결심, 첨단화된 무기체계를 이용한 정밀 타격의 순서로 이루어질 것이다^[1]. 이를 효율적으로 이루어 내기 위해서는 중앙 작전 본부와 작전 수행 중인 위리어 플랫폼 및 UAV, 정찰 로봇 등이 안정적으로 연결된 고용량 통신 네트워크를 구축해야 한다. 이는 기지국 및 작전 수행 장비에 다수의 안테나를 장착하는 MIMO의 표준 중, 다중 송수신단 기술을 구현함으로써 이루어 낼 수 있다.

특히, 대대급 전술 작전 수행 상황 시, 반경 수 km의 작전 지역에서 수 백여명의 대대원을 유기적이고 효율적으로 지휘, 통제해야 한다. 이를 위해서는 중앙 작전 본부의 정확한 판단과 최선의 대응 방책 결정을 통한 작전의 수정 및 수립이 필요하다. 이를 위해서 중앙 작전 본부는 작전 수행 중인 위리어 플랫폼 및

또한, 이렇게 수립된 작전을 대대원들에게 빠르고 안정적으로 전송하는 것 역시 중요하다. 이를 위해서 중앙 작전 본부의 노드 통신소에서 NCJT 기술을 이용한 두 송수신단의 협력 전송을 통해 여러 데이터 스트림으로 정보를 한 번에 전송함으로써 고용량의 자세한 전술 작전 명령의 신속한 하달이 가능하다. 이를 통해 수용성과 신속성을 보장할 수 있고 작전 지역 투입 인원 및 무인 장비들을 유기적으로 통제함으로써 현장 작전 지휘 체계의 구축이 가능하다.

Fig. 2는 위 시나리오에 MIMO 다중 기지국 기법을 사용했을 때 주파수 효율의 이득을 보여주는 시뮬레이션 결과이다. 해당 시뮬레이션에서는 2개의 셀을 가정하고, 각 셀에는 2개의 안테나를 가지고 있는 기지국이 존재하며, 안테나 2개를 가지고 있는 두 명의 위리어 플랫폼이 각 셀에 존재한다고 가정한다. 만약 위리어 플랫폼이 두 셀에 맞닿아 있는 영역에 존재한다면 다중 기지국 기법을 통해 지원하고 그렇지 않다면 단일 기지국을 통해 지원하는 기법을 ‘Multi-TRP with Cooperation’라고 정의하였고, 위리어 플랫폼의

위치에 관계없이 단일 기지국을 통해 지원하는 기법을 ‘Benchmark’라고 정의하였다. 단일 기지국을 통해 전송할 경우, 한 기지국의 신호는 다른 셀의 위리어 플랫폼에게 간섭으로 작용한다. Fig. 2에서 볼 수 있듯이 다중 기지국 기법을 사용했을 때, 평균 주파수 효율이 향상되는 것을 확인할 수 있다.

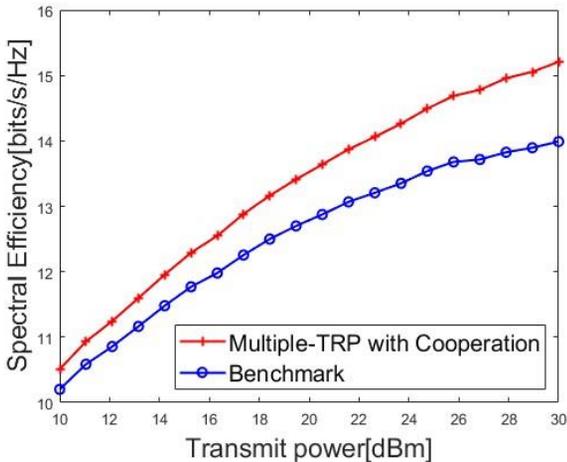


Fig. 2. Spectral efficiency using MIMO and multiple transmission and reception points (TRP)

3.2 엣지 컴퓨팅

현(現) 우리 군에서 운용중인 전투 무선망은 실시간 전장 가시화가 제한되고 있다는 문제점이 있다. 전후방 및 피아가 혼재된 현·미래 전장은 전장의 안개로 불릴 만큼 심한 불안정성을 보여준다. 이를 해결하기 위해 전장 상황에 대한 감지 및 정찰과 실시간 상황 공유에 따른 정확한 전술 판단은 그 무엇보다 중요한 과제이다. 전장 가시화를 위해 스마트폰 군활용 체계와 위치관리체계 등을 운용하고 있지만, 별도 관계 컴퓨터에서 위치를 확인한 후 다시 수동으로 좌표를 입력하는 등 번거로움과 실시간 업데이트가 제한되고 있다.

아미타이거 4.0 체제에서는 병사들의 위리어 플랫폼, 무인 정찰기와 드론봇, 그리고 다양한 IoT 센서로부터 전장 상황에 대한 방대한 감지 데이터를 획득할 수 있다. 병사들의 위리어 플랫폼으로부터 개개인의 생체 데이터와 개인이 마주한 전장의 상황뿐만 아니라 병사들이 직접 접근하기 힘든 적진 또는 산악 지형에 무인 정찰기와 드론봇을 보냄으로써 수많은 정

찰 데이터를 얻을 수 있다. 수집한 방대한 데이터에 빅데이터 관련 기술과 인공지능 기술을 적용하여 정확한 전장 상황 판단 및 현행 작전 평가를 내릴 수 있다. 이를 위해 대대별로 분산된 위치에서도 전장 위치 별 5G 네트워크의 지원을 통해 실시간으로 수집한 데이터를 처리하고 분석할 수 있는 능력이 필요하다. 엣지 컴퓨팅은 이러한 실시간 데이터 처리 및 분석 능력을 제공할 수 있는 5G 핵심 기술이다.

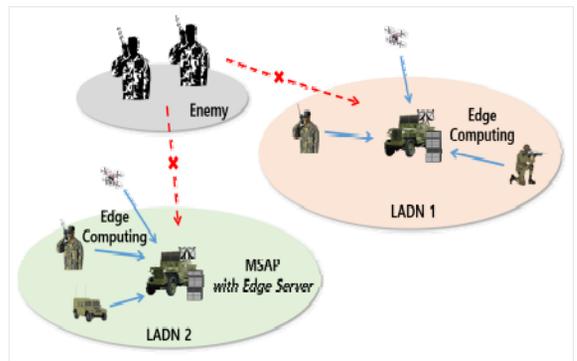


Fig. 3. Edge computing in military communication scenario

전술 이동통신 체계에서 각 대대는 이동형 기지국을 중심으로 전술이동을 수행하게 된다. 전장 상황에 따라 대대내, 대대간 움직임이 요구되기 때문에 무선 장비들의 이동성을 고려하여 장비들의 위치와 엣지 응용 서버간 단-대-단 거리를 최소화하기 위한 게이트웨이 변경 및 선택이 필요하다. 각 전술 작전 체계는 이동형 기지국을 중심으로 분산된 전장에 위치하며, 이동형 기지국이 제공하는 네트워크는 전장 위치별로 특정 위치에서만 유효한 로컬 데이터 네트워크이다. 엣지 컴퓨팅에서는 전술 작전 체계의 위치를 파악하여 해당 위치에서의 지역 기반 데이터 네트워크 (LADN)을 제공하여 단-대-단 거리를 최소화할 수 있다. 이러한 지역 기반 데이터 네트워크를 이용한 전술 작전 체계와 엣지 응용 서버간 라우팅 방식은 특정 지역에 위치한 사용자들을 위해서만 네트워크 연결성 및 엣지 서비스를 제공하기 때문에 해당 위치의 사용자들에게 높은 데이터 전송률과 낮은 지연 시간을 제공할 수 있다.

Fig. 4의 시뮬레이션은 병사들이 데이터를 처리하고자 할 때, 각 MSAP (Mobile Subscriber Access Point)가

제공하는 LADN 커버리지를 다르게 하여 달성할 수 있는 총 지연 시간을 비교한 결과이다. 해당 시뮬레이션에서는 하나의 병사에 대해 두 개의 기지국과 엣지 서버가 통신을 지원하는 상황을 가정하였다. “Local”은 각 디바이스에서 발생하는 데이터가 해당 디바이스에서 처리되는 일반적인 군통신 상황을 의미하며, “R”은 각 LADN의 커버리지 반경을 의미하며 각 2 km, 4 km, 6 km로 설정하였다. 또한, 병사의 위치를 매 반복마다 무작위로 설정하여 해당 병사의 위치를 파악하여 병사의 MSAP가 제공하는 LADN 1 또는 LADN 2의 커버리지 내에 위치할 경우 해당 LADN과 연결된 엣지 서버에 데이터를 전송하여 처리할 수 있다. 그렇지 않을 경우 병사들의 단말에서 처리한다. LADN 커버리지가 커질수록 병사들이 LADN 커버리지 내에 위치할 확률이 높아진다. 이는 더 많은 병사들이 엣지 컴퓨팅을 통해 데이터를 처리할 수 있음을 의미한다. 그럼에서 볼 수 있듯이 LADN 커버리지가 커질수록 엣지 컴퓨팅을 활용하여 총 지연 시간을 줄일 수 있다.

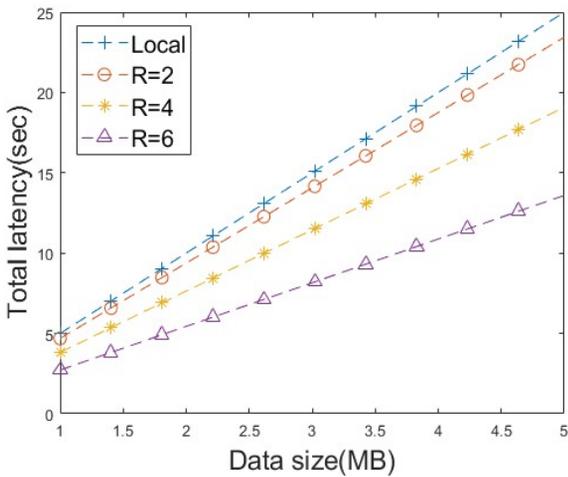


Fig. 4. Latency comparison of edge computing based on LADN routing

3.3 IAB

현(現) 군의 작전부대 통신 지원은 노드 통신소의 전계가 완료된 이후에 가능하므로 군의 기동 통신망은 노드 통신소에 대한 의존도가 높다고 할 수 있다. 노드 통신소는 작전부대 통신 지원뿐만 아니라 대대급 작전 수행 시, 수십 km 이상 떨어진 대대 간 통

신을 위해서도 필요하지만 신속한 개통 제한 및 통신 범위 제한이라는 문제점이 존재한다. 또한, 전장(戰場) 상황에 따른 적응적인 설치 및 철수 제한, 통신 음영 지역 발생 등도 문제시되고 있다. IAB 기술을 이용하면 광섬유 설치 등의 많은 시간과 자원이 드는 작업 없이 신속한 설치를 통해 효율적으로 통신 범위를 넓히면서 음영지역의 해소를 이룸으로써 생존성과 신속성을 보장할 수 있다. 설치된 IAB 노드는 상기하였듯 MT 설정, 백홀 RLC 채널 수립, 라우팅 업데이트, DU 설정의 4단계의 과정만 수행하면 기존의 통신망에 연결되어 단말 서비스가 가능하므로 적진 침투 및 진격 등의 상황에서 빠른 설치와 개통 및 특작부대의 적습 등의 긴급 상황에서도 빠른 철수가 가능하다.

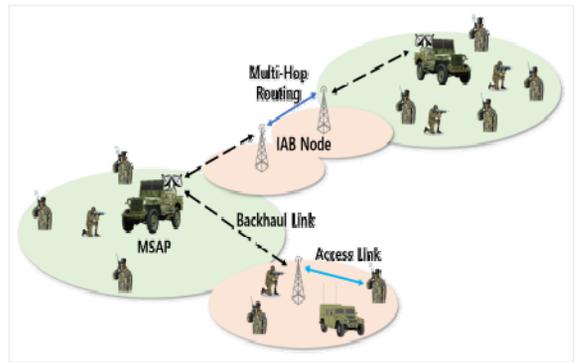


Fig. 5. IAB in military communication scenario

IAB 노드를 통해 통신망이 구성된 후, 전술 작전 시행 시, 각 대대 내의 전술 작전 명령 하달 및 정찰 정보 보고, 대대 간의 전시 상황 정보 공유 등의 데이터 전송이 다양한 방향에서 존재하여 혼잡한 상황을 이룰 것이다. 위와 같은 상황에서 IAB의 BAP와 그 하위 계층을 통한 적합한 라우팅 경로 설정 및, 하향/상향 링크의 데이터 혼잡 제어 기술들에 의해 전술 데이터의 안정적인 전송이 가능하여 신뢰성을 보장할 수 있다. 따라서 대대 내, 대대 간의 효율적인 정보 공유가 이루어질 수 있고 각 대대의 지휘관 및 작전 본부 인원은 더 넓은 범위의 전장 가시화를 이룩할 수 있다. 이를 통해 대대 간의 전장 복합체계들을 지휘 통제할 수 있으며 유기적인 협력 작전 수행이 가능해질 수 있다. 즉, IAB 기술을 이용하여 통신 음영지역에 신속하고 낮은 비용으로 커버리지를 제공할 수 있다.

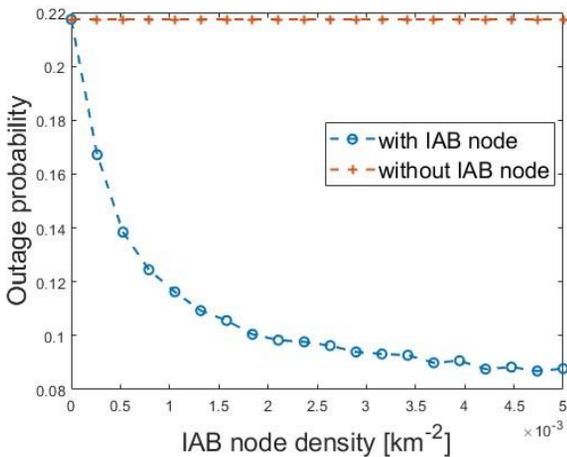


Fig. 6. Average rate by IAB node density

Fig. 6의 시뮬레이션은 IAB 도너 노드와 IAB 일반 노드, 사용자 단말을 PPP(Poisson Point Process)를 이용하여 반경 100 m 지역에 배치한 상황에서 IAB 일반 노드의 밀도를 높여가며 사용자의 outage 확률을 그린 그래프이다. outage 확률은 사용자가 경험하는 전송률이 특정 문턱값(10^4 bits/s)을 넘어서지 못할 확률이다. Fig. 6에서 확인할 수 있듯이 IAB 일반 노드의 밀도가 올라감에 따라 사용자의 outage 확률은 감소한다. 이를 통해, IAB 일반 노드의 배치가 통신 음영지역의 해소를 달성할 수 있음을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서 군통신에 적용하기 위한 5G 핵심기술 MIMO, 엣지컴퓨팅, IAB의 3GPP 표준동향을 살펴보고 있다. 또한, 각 기술이 적용될 수 있는 군통신 시나리오를 제시하고 해당 시나리오에서 각 기술을 통해 얻을 수 있는 이득을 Matlab 시뮬레이션을 통해 확인했다. 본 논문에서 제시한 바와 같이 5G 핵심기술을 군

통신에 적용할 경우, 전송용량 제한, 신속한 개통제한 및 기동성 미보장, 통신 음영지역 발생, 주파수 부족 등 군통신이 가지고 있는 현재의 문제점을 해결하는데 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

이 논문은 2024년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방기술진흥연구소의 지원을 받아 수행된 연구임(KRIT-CT-22-036).

References

- [1] T. Park, and J. Han, "Development Direction and Analysis on the Basic Communications Network in the Republic of Korea Forces: Focusing on Ground Forces," National Security and Strategy, Vol. 20, No. 2, pp. 131-170, 2020.
- [2] B. Shim, and B. Lee, "Evolution of MIMO Technology," The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, Vol. 38, No. 8, pp. 712-723, 2013.
- [3] 3GPP, RP-182863, "Enhancements on MIMO for NR".
- [4] TTA, TTAR-06.0233, Analysis of 3GPP Release 16 Technical Specification(Technical Report), Oct, 2021.
- [5] TTA, TTAR-06.0260, Analysis of 3GPP Release 17 Technical Specification(Technical Report), Oct, 2022.
- [6] TTA, TTAR-06.0222, 5G Technology for Industry - Edge Computing(Technical Report), May, 2023.
- [7] 3GPP, TS 23.501, "System architecture for the 5G System," Dec, 2016.
- [8] 3GPP, TR 38.874, "Study on Integrated Access and Backhaul," Jan, 2019.