

Study on UxNB Network Deployment Method toward Mobile IAB

Keewon Kim*, Jonghyun Kim**, Kyungmin Park**, Tae-Keun Park***

*Professor, Dept. of Computer Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo, Korea

**Principal Researcher, Information Security Research Division, ETRI, Daejeon, Korea

**Senior Researcher, Information Security Research Division, ETRI, Daejeon, Korea

***Professor, Dept. of Computer Engineering, Dankook University, Yongin, Korea

[Abstract]

In this paper, we propose a deployment and operation scheme of UxNB network toward mobile IAB. By operating a UxNB network based on SDN(Software Defined Network), UxNBs are deployed in areas where mobile communication services are desired. After deploying UxNB in the service area, IAB can be set up to perform mobile communication services. For this purpose, this paper first proposes a UxNB Network Controller consisting of a UAV Controller and an SDN Controller, and proposes the necessary functions. Next, we present a scenario in which a UxNB network can be deployed and operated in detail step by step. We also discuss the location of the UxNB network controller, how to deliver control commands from the UAV controller to the UxNB, how to apply IAB for UxNB networks, optimization of UxNB networks, RLF(radio link failure) recovery in UxNB networks, and future research on security in UxNB networks. It is expected that the proposed UxNB Network Controller architecture and UxNB network deployment and operation will enable seamless integration of UxNB networks into Mobile IAB.

▶ **Key words:** Mobile Communication, UxNB, SDN, IAB, Open RAN

[요 약]

본 논문은 모바일 IAB를 향한 UxNB 네트워크 배포 및 운영 방안을 제안한다. SDN(Software Defined Network) 기반으로 UxNB 네트워크를 운영하여, 이동 통신 서비스를 원하는 지역에 UxNB를 배포한다. 서비스 지역에 UxNB를 배포한 후, IAB를 설정하여 이동 통신 서비스를 수행할 수 있다. 이를 위해 본 논문에서는 먼저 UAV 컨트롤러(UAV controller)와 SDN 컨트롤러(SDN controller)로 구성되는 UxNB 네트워크 컨트롤러(UxNB NC; UxNB network controller)를 제안하고 필요한 기능들을 기술한다. 다음으로 UxNB 네트워크를 배포하고 운영할 수 있는 시나리오를 단계별로 상세하게 제시한다. 또한 UxNB 네트워크 컨트롤러의 위치, UxNB에 대한 UAV 컨트롤러 제어 명령 전달 방법, UxNB 네트워크를 위한 IAB 적용 방법, UxNB 네트워크의 최적화, UxNB 네트워크의 RLF(radio link failure) 복구 및 UxNB 네트워크의 보안(security)에 대한 향후 연구를 논한다. 제안한 UxNB NC 아키텍처와 UxNB 네트워크 배포 및 운영 방안을 이용하여 모바일 IAB에 UxNB 네트워크를 원활하게 통합할 수 있을 것으로 기대한다.

▶ **주제어:** 이동통신, UxNB, SDN, IAB, Open RAN

-
- First Author: Keewon Kim, Corresponding Author: Tae-Keun Park
 - *Keewon Kim (kwkim@mmu.ac.kr), Dept. of Computer Engineering, Mokpo National Maritime University
 - **Jonghyun Kim (jhk@etri.re.kr), Information Security Research Division, ETRI
 - **Kyungmin Park (kmpark@etri.re.kr), Information Security Research Division, ETRI
 - ***Tae-Keun Park (tkpark@dankook.ac.kr), Dept. of Computer Engineering, Dankook University
 - Received: 2023. 11. 07, Revised: 2023. 11. 21, Accepted: 2023. 11. 28.

I. Introduction

무인 비행체(UAV: Unmanned Aerial Vehicle)는 배치의 용이성과 호버링(hovering) 능력으로 인하여, 이동통신 환경에서 다양한 응용에 대한 활용도가 높다 [1].

이동통신 표준을 주도하고 있는 3GPP의 TS 22.125 [2]에서 UxNB의 정의와 요구 사항을 제시하고 있다. UxNB는 UAV에 탑재된 무선 액세스 노드(radio access node on-board UAV)로 정의되어 있다. 즉, UAV에 의해 공중으로 운반되면서 UE(user equipment)에게 접속성을 제공하는 무선 액세스 노드를 UxNB라고 정의하고 있다.

UxNB의 다양한 유스케이스(use case)는 Fig. 1 [3]과 같으며, 유스케이스를 분류하면 다음과 같다. 첫째, 일시적인 이벤트나 예기치 않은 상황에서 UxNB를 배치하여 기존 셀룰러 네트워크를 효과적으로 지원할 수 있다 [4]. 즉, 자연재해 등으로 연결 상태가 좋지 않은 지상 네트워크를 지원할 수 있다. 둘째, GU(ground user)에게 확장된 네트워크 커버리지를 제공하기 위해 UxNB 기반의 셀을 형성할 수 있다 [5,6]. 즉, 지상 네트워크가 커버하기 어려운 원거리 지역(remote area)을 UxNB를 이용하여 이동통신 서비스를 할 수 있다. 셋째, 특정 지역의 폭증하는 트래픽 수요를 충족하기 위해 기존 지상 네트워크를 보완할 수 있다 [7]. 즉, 경기장이나 콘서트장과 같이 일시적으로 트래픽이 폭증하는 경우에 지상 네트워크를 지원할 수 있다.

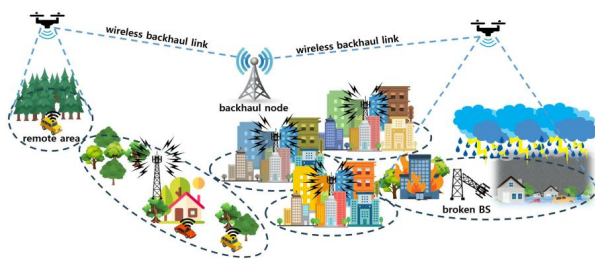


Fig. 1. Use cases for UxNBs [3]

UxNB 네트워크와 지상 네트워크를 성공적으로 통합하기 위해 해결해야 할 문제는 다음과 같다 [8]. 등록된 GU의 효과적인 추적과 UxNB의 원활한 핸드오버를 보장해야 한다. 커버리지의 안정적인 확장을 위해 UxNB와 지상 네트워크의 간헐적으로 발생하는 연결 문제를 해결해야 한다. 에너지, 간섭, 연결성 등의 제약을 고려하면서 UxNB의 배치를 최적화해야 한다. 사용자의 동적인 트래픽 수요를 효율적으로 충족하기 위해 UxNB와 지상 네트워크 간의 자원을 효율적으로 관리해야 한다.

본 논문은 모바일 IAB를 위한 UxNB 네트워크 배포 및 운영 방안을 제안한다. UxNB 네트워크를 SDN(Software Defined Network) 기반으로 운영하여, 이동 통신 서비스를 원하는 지역에 UxNB를 배포한 후에, IAB를 설정하여 이동 통신 서비스를 수행할 수 있다. 이를 위해 본 논문은 UxNB 네트워크 컨트롤러와 UxNB 네트워크 배포 및 운영 시나리오를 제시하고, UxNB 네트워크 배포 및 운영에 있어 발생 가능한 이슈들을 논한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서 관련 연구인 UAV와 SDN, IAB, Open RAN에 대해 간략하게 소개한 뒤, 제 3장에서 UxNB 네트워크 컨트롤러와 UxNB 네트워크 배포 및 운영 시나리오를 제안한다. 제 4장에서 UxNB 네트워크 배포 및 운영에 있어 발생 가능한 이슈들을 논하고 향후 연구를 제시한다. 마지막으로 제 5장에서 결론을 기술한다.

II. Related Work

본 장에서는 UAV와 SDN, IAB Network, Open RAN에 대해 간략하게 소개한다.

1. UAV and SDN

UAV 네트워크에서 UAV는 데이터 플레인(data plane)에서 네트워크의 스위치로 볼 수 있고 [9], UAV 네트워크 컨트롤러(network controller)는 네트워크 데이터를 수집하고 네트워크 제어를 수행하는 컨트롤러로 볼 수 있다 [10,11].

UAV 네트워크 관련된 이슈는 다음과 같다 [8]. UAV 네트워크는 통신 및 리소스 활용 측면에서 제한적이다. 특정 시나리오의 트래픽 수요는 매우 높기 때문에 더 많은 에너지를 소비하고 과부하 발생이 가능하다. 네트워크에 대한 글로벌 관점 없이는 UAV의 효율적 배치 및 운용이 불가능하다. 따라서 UAV 네트워크에서의 문제를 해결하기 위한 가장 적합한 솔루션은 SDN(Software Defined Network)이다 [8].

UAV 네트워크에 SDN을 통합하기 위해서 다음 사항이 필요하다 [8].

- SDN이 제공하는 중앙 집중식 제어는 활용 리소스를 늘리고 더 나은 QoS를 제공할 수 있다. 이를 위해서 네트워크 토폴로지를 지속적으로 업데이트하는 동시에 UAV와 SDN 컨트롤러 간의 연결성을 보장할 필요가 있다.

- 지상에 위치한 중앙 집중식 컨트롤러를 사용하여 UAV 군집 간의 네트워크 재구성 및 무선 자원 할당을 유연하게 수행할 수 있다.
- SDN 지원 아키텍처는 UAV와 지상 BS 간의 로드 밸런싱을 효과적으로 최적화할 수 있다.
- SDN 컨트롤러를 사용하면 손실이나 네트워크 혼잡 없이 UAV 간에 트래픽 정보를 라우팅할 수 있다.
- 위치 관리, 폴링, 페이징을 최적화하기 위해 SDN 지원 아키텍처를 사용하여 UAV의 3D 움직임을 동적으로 조정할 수 있다.

2. IAB Network

IAB(Integrated Access and Backhaul) 네트워크는 5G에 무선 릴레이(wireless relay)를 도입한 것이다. 4G에서도 릴레이 솔루션을 규격화하였으나, 상업적인 성공을 거두지는 못하였고, 5G에서는 mmWave 액세스를 도입하여 경제적인 네트워크 구축이 가능하게 되었다. mmWave는 넓은 대역폭을 가지며, 풍부한 용량을 제공하나, mmWave 주파수에서의 높은 전파 손실은 셀 크기를 제한한다. 충분한 영역의 커버리지를 얻기 위해서는, 고밀도 네트워크 배치가 필요하며, IAB의 목표는 이러한 고밀도 네트워크에서 백홀의 필요성을 줄이는 것이다. 이웃 노드를 통해, 다음 파이버 포인트(fiber point)로 무선으로 셀프-백홀(self-backhaul)하도록 하여 파이버(fiber) 연결이 없는 셀 제공이 가능하다 [12].

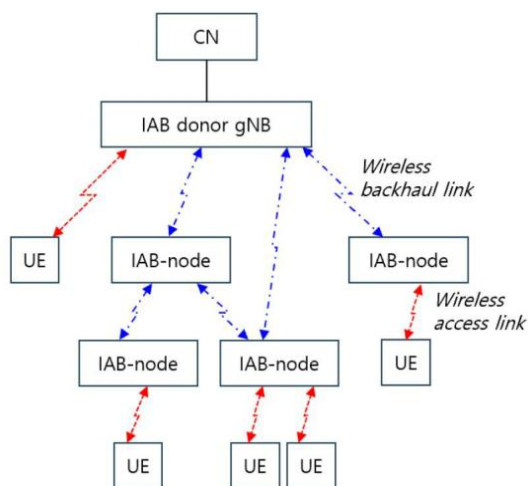


Fig. 2. IAB architecture [12]

IAB 아키텍처는 Fig. 2 [12]와 같으며, IAB node를 5G relay로 도입하고, IAB donor gNB를 무선 네트워크의 앵커 포인트(anchor point)로 도입한다. IAB node는 UE에

게 액세스를 제공하고, IAB donor gNB로부터/에게로 액세스 트래픽을 무선으로 백홀링(backhauling)하며, 피어 노드(peer node)를 통해 백홀 트래픽을 전달한다. 일반적인 구축에는 몇 개의 백홀 홉만 필요할 것으로 예상되지만, 아키텍처는 홉 수에 제한을 두고 있지 않다. IAB donor gNB는 gNB-DU와 gNB-CU로 분할되며, gNB-CU는 gNB-CU-CP와 gNB-CU-UP로 추가로 분할 가능하다. IAB donor는 기존 gNB와 동일한 배치 유연성(deployment flexibility)을 가진다.

액세스 및 백홀을 무선 링크로 구축하는 IAB는 유연하고 밀집된 네트워크를 구현하기 위한 실행 가능한 접근 방식으로 구성된다. Release-16의 IAB 규격은 주로 Stationary Small Cells에 초점을 맞추었으며, 향후, 열차, 버스, 택시, 저고도 드론, 위성 등에 IAB node를 배치하는 것에 대한 Mobile IAB에 대한 표준화가 진행될 수 있을 것으로 예상된다 [13].

3. Open RAN

O-RAN(Open Radio Access Network) Alliance [14]는 2018년 2월에 AT&T, 차이나모바일, 도이치텔레콤, NTT 도코모 및 오렌지 와 같은 5개의 글로벌 통신사업자가 주도하여 설립되었다.

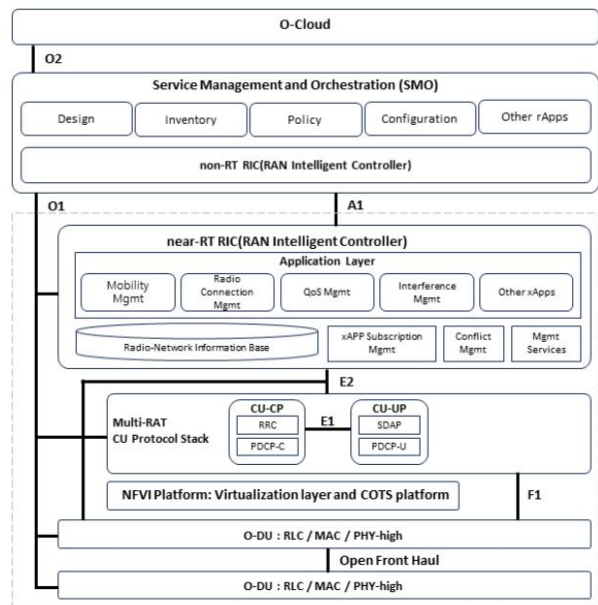


Fig. 3. Open RAN architecture [15]

O-RAN Alliance는 5G에서 네트워크 소프트웨어화 (softwarization) 개념을 적용하고 인텔리전스 (intelligence) 기술을 도입하여 Open RAN 구조를 설계

하였다. Open RAN은 인텔리전스 기반의 무선 제어 및 가상화된 무선 접속 네트워크를 구축하기 위해 고안되었으며, 표준화된 인터페이스를 기반으로 3GPP 및 다른 표준을 지원하여 개방적이고 상호 운용 가능한 장비 공급망 생태계를 형성할 수 있다. 이에 대한 O-RAN 아키텍처는 구조는 Fig. 3과 같이 O-Cloud, SMO, RIC, O-CU, O-DU, O-RU로 구성된다 [15].

O-Cloud는 near-RT RIC, O-CU, O-DU, O-RU와 같은 O-RAN 노드들의 가상화를 담당하는 물리적 컴퓨팅 컴퓨팅 플랫폼(physical computing platform)이며, 다양한 VNF(virtual network function) 및 CNF(cloud network function)를 생성하고 호스팅한다.

SMO(Service Management and Orchestration)는 O-RAN 컴포넌트들의 관리 및 제어를 담당하며, NF(network function), RAN 최적화를 위한 near-RT(near real time) RIC, 컴퓨팅 자원(resource) 및 워크로드(workload)를 관리하는 O-Cloud에 인터페이스를 제공한다.

RIC(RAN Intelligence Control)는 기능과 자원의 실시간 최적화를 수행하며, non-RT RIC와 near-RT RIC로 분류된다. non-RT RIC는 SMO와 통합되어 있으며, 초(second) 단위 범위 내의 제어 요청 및 RAN 리소스를 처리하며, rApps 라는 특수 애플리케이션을 사용한다. near-RT RIC는 네트워크 성능 메트릭과 가입자 데이터를 수집하며, AI 기반 네트워크 최적화 제공한다. 또한 near-RT RIC는 에지 서버 또는 지역 클라우드 내에 상주하고, 밀리초(milliseconds) 범위 내의 네트워크 최적화 작업을 수행하며, xApps 라는 특수 애플리케이션을 사용한다.

O-DU(Open Distributed Unit)는 물리 계층과 MAC 계층 기능을 담당하며, CU와 F1 인터페이스(F1-C, F1-U)로 연결되어 있고, near-RT RIC와 E2 인터페이스로 연결되어 있다. O-CU(Open Centralized Unit)는 제어 평면과 데이터 평면의 모든 기능 담당하며, F1-C, F1-U 인터페이스를 통해 O-DU와 연결되어 있다. O-RU(Open RAN Radio Unit)는 물리 계층 및 무선 시그널링 처리(radio signaling processing) 기능을 담당하며, 오픈 프론트홀(Open Fronthaul) M-Plane 인터페이스를 통해 SMO와 연결되며, 무선(radio) 인터페이스를 통해 UE와 연결된다.

III. Proposed Deployment and Operation for UxNB Network

본 장에서는 UxNB 네트워크 컨트롤러와 UxNB 네트워크 배포 및 운영 시나리오를 제안한다.

1. UxNB Network Controller

1.1 Components of the UxNB Network Controller

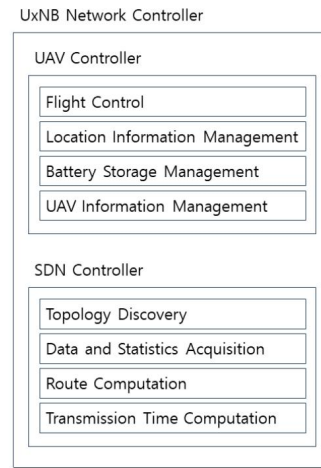


Fig. 4. Architecture of UxNB Controller

UxNB NC(Network Controller)는 Fig. 4와 같이 UAV 컨트롤러와 SDN 컨트롤러로 구성된다. UAV 컨트롤러는 비행 제어, 배터리 스토리지, 지리적 위치 등 다양한 UAV와 관련된 정보, 배치, 이동, 임무 시간 및 범위 관리를 한다. SDN 컨트롤러는 UxNB 네트워크와 관련된 정보를 구성 및 관리하고 UAV 컨트롤러와 상호 작용한다. 즉, 네트워크와 관련된 정보를 수집 및 저장하고 의사 결정 내리고, 네트워크를 구성하며 서로 다른 기능 간에 새로운 경로를 생성한다.

UxNB NC는 이동통신 기능과의 연계가 필요하며, Open RAN 아키텍처에서 CU와 연결 되어 있으며, 뒷 부분에서 설명할 예정이다. 그리고 UxNB는 DU와 RU의 기능을 수행한다.

1.2 Functions of UAV and SDN Controllers

UAV 컨트롤러의 기능은 비행 제어, 위치 관리, 배터리 스토리지 관리, UAV 관련 정보 관리 등을 수행한다. SDN 컨트롤러는 UAV 네트워크와 관련된 정보를 구성 및 관리하고 UAV 컨트롤러와 상호 작용한다. SDN 컨트롤러는 구체적으로 토폴로지 검색, 데이터 및 통계 수집, 경로 계산, 전송 시간 계산 기능이 있다. 첫 번째, 토폴로지 검색

기능은 네트워크 연결에 대한 글로벌 뷰(global view)를 구축하기 위해 전체 링크의 상태를 주기적으로 수집한다. 두 번째, 데이터 및 통계 수집 기능은 전체 네트워크의 연결성에 대한 글로벌 뷰를 확보하기 위해 수행되며, 네트워크 연결 상태(예: 비트 오류율, 지연 등)에 대한 통계를 수집한다. 세 번째, 경로 계산 기능은 데이터 및 통계 수집 기능에서 제공하는 정보를 바탕으로 최적의 통신 경로를 계산한다. 네 번째, 전송 시간 계산 기능은 연결된 각 UAV 쌍 간의 전송 시간을 추정한다.

2. Deployment and Operation Scenario for UxNB Network

본 논문에서 제안하는 UxNB 네트워크의 배포 및 운영 시나리오는 다음과 같다.

- 1) UxNB 네트워크를 배포할 서비스 지역을 결정한다.
 - 2) 서비스 지역으로 이동 전에 UxNB를 초기 설정한다.
 - 3) UxNB 군집이 서비스 지역으로 이동하여 배치한다.
 - 4) 서비스 지역 도착 후, UxNB 간 이웃 링크를 확인하고 네트워크 토폴로지를 구성한다.
 - 5) UxNB 네트워크 라우팅 경로를 확인한다.
- 시나리오의 상세한 과정은 다음에서 제시한다.

2.1 Determination for Service Area of UxNB Network Deployment

UxNB 네트워크를 배포할 서비스 지역을 결정한다. 자연재해 등으로 연결 상태가 좋지 않은 지상 네트워크를 지원하기 위해, UxNB를 배치하여 기존 셀룰러 네트워크를 효과적으로 지원할 수 있다. 또한 지상 네트워크가 커버하기 어려워 이동통신 서비스가 지원되지 않는 원거리 지역을 UxNB를 이용하여 이동통신 서비스를 할 수 있다.

2.2 Initial Setup for UxNBs before Moving to Service Area

서비스 지역으로 이동 전, Fig 5와 같이 UxNB의 초기 설정을 한다. 즉, 비행 경로, 최종 도착 위치 등을 설정하고, 키, 보안 알고리즘 등의 보안 관련 설정을 한다. 또한 UxNB 네트워크의 초기 토폴로지(예: 이웃 링크 등)를 설정한다.

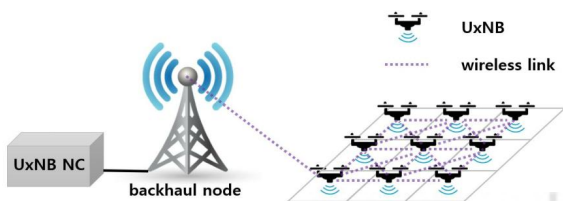


Fig. 5. Initial setup of UxNB

2.3 Deployment of UxNB after Moving to Service Area

초기 설정 작업 후, UxNB 군집이 서비스 지역으로 이동한다. UxNB 군집은 UxNB의 이웃 간 무선 링크를 점검하며 유지하면서 이동한다. 또한 이동 중에 위치 정보, UxNB의 무선 링크 정보 등은 UxNB 컨트롤러로 송신한다. UxNB 군집의 이동 중에는 이동통신 서비스는 하지 않는다. 서비스할 지역에 도착한 UxNB 군집은 초기에 Fig. 6과 같이 그리드 형태로 배치한다. 그림에는 생략되었지만 네트워크의 단절 방지를 위해서 다중 무선 연결을 가지고 있다. 즉 다른 Backhaul node에 무선 링크로 연결된 UxNB가 있다.

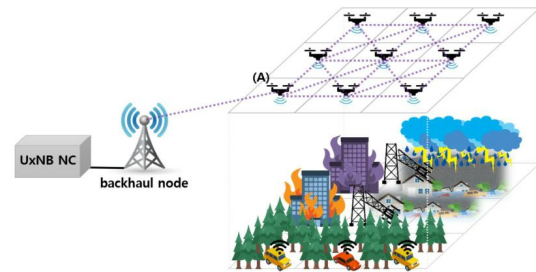


Fig. 6. Deployment of UxNB in grid form

2.4 Check of Neighbor Links and Configuration Topology Between UxNBs

Fig. 6과 같이 UxNB 간의 이웃 링크를 서로 확인하고 네트워크 토폴로지를 구성한다. 이때, 실제 서비스 지역에서 고려하지 못한 상황에 따라 UxNB의 위치 조정이 필요할 수 있다. 즉 서비스 지역에 초기에 그리드 형태로 배치 후에 Fig. 7과 같이 두 UxNB 사이에 장애물(예: 산, 높은 건물 등)로 인해서 링크가 끊어질 수 있다. 위치에 따라 다양한 네트워크 성능 지표(예: 처리량, 지연, 연결성)에 영향을 미칠 수 있으므로, 약간의 위치 이동을 통해서 적절한 위치에 UxNB를 배치한다.

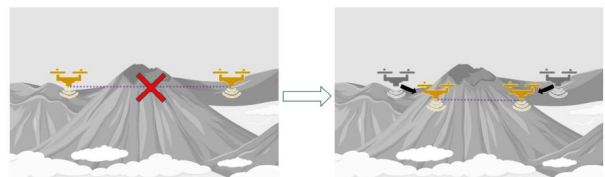


Fig. 7. Adjustment of the position of the UxNB

2.5 Confirmation of UxNB Network Routing Paths

UxNB 네트워크에서 라우팅을 위해서 전송 스킴(delivery scheme), 경로 발견(path discovery), 단일 또

는 다중 경로(single or multi path) 등을 고려해야 한다. 전송 스킴으로는 유니캐스트, 브로드캐스트가 사용될 수 있다. SDN 컨트롤러를 사용하여 중앙에서 모든 경로를 관리하기 때문에 경로 발견은 불필요하다. 단일 경로 또는 다중 경로 중에서는 네트워크의 단절 방지를 통해 이동통신의 지속적인 서비스가 가능해야 하므로 다중 경로 지원이 필요하다.

여기에서의 라우팅 경로는 이동 통신 서비스를 위한 것이 아닌 SDN 시그널링과 UAV 컨트롤을 위한 라우팅 경로이다. 라우팅 경로 설정은 UxNB NC의 SDN 컨트롤러가 결정하며, 네트워크 내 모든 목적지에 대한 라우팅 경로 정보 관리한다.

3. IAB and UxNB Network

앞 절에서 UxNB 배치 및 운영 시나리오를 거치면 UxNB 군집을 서비스 지역에 배치를 완료하게 되고, 이동통신 서비스를 하기 위해서 IAB 설정 과정을 거친다. 기존의 UxNB 네트워크를 위한 토폴로지를 기반으로 IAB를 위한 이동통신 토폴로지를 형성한다.

Fig. 2의 IAB 아키텍처에서 IAB node를 5G 릴레이(relay)로 도입하고 IAB donor gNB를 무선 네트워크의 앵커 포인트(anchor point)로 도입한다. 지상의 backhaul node는 IAB doner gNB 역할을 하고, 각 UxNB는 IAB node가 될 수 있다. IAB node인 UxNB는 UE에게 액세스(access)를 제공하고, IAB donor gNB에게 액세스 트래픽을 무선으로 백홀링(backhauling)하며, 피어 노드(peer node)를 통해 백홀 트래픽을 전달한다.

IV. Discussion and Future Work

본 장에서는 제안된 UxNB 네트워크 배포 및 운영 방안을 UxNB 네트워크 컨트롤러의 위치, UxNB에 대한 UAV 컨트롤러 제어 명령 전달 방법, UxNB 네트워크를 위한 IAB 적용 방법, UxNB 네트워크의 최적화, UxNB 네트워크의 RLF(radio link failure) 복구, UxNB 네트워크의 보안(seuciryt) 측면에서 상세하게 분석하고 추가적인 연구가 필요한 부분에 대하여 정리한다.

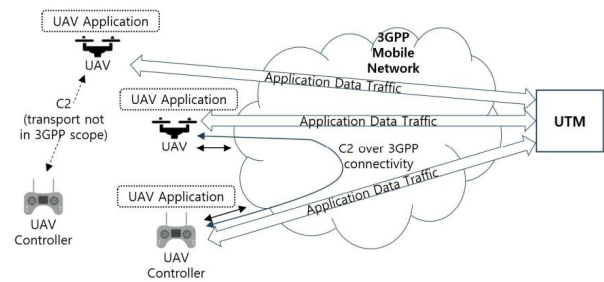


Fig. 8. 3GPP UAS Model [16]

1. Location of UxNB Network Controller

무선 액세스 노드를 탑재한 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)인 UxNB는 사용자에게 이동통신 서비스를 제공하면서 무선 백홀(wireless backhaul)을 통해 코어 네트워크(core network)와 연결되어야 한다 [1]. Fig. 8과 같은 3GPP TS 22.125 [16]의 3GPP UAS(Unmanned Aerial System) 참조 모델에서, UAV 컨트롤러는 C2(Command and Control) 통신 방식을 사용하여 UAV를 제어하고, UAS 관리를 담당하는 UTM(UAS Traffic Management)은 3GPP 이동통신 네트워크를 통해 UAV와 응용 데이터 트래픽(application data traffic)을 교환한다. 따라서 무선 액세스 노드를 탑재한 UAV들로 구성된 UxNB 네트워크를 구축하기 위해서는 가장 먼저 UxNB를 제어할 UAV 컨트롤러의 위치를 결정할 필요가 있다.

Fig. 8과 같은 3GPP UAS 참조 모델에서 UAV 컨트롤러는 3GPP 네트워크 외부의 장치이면서 3GPP 이동통신 네트워크 서비스를 사용하지 않고 UAV를 제어하는 것이 허용된다. 하지만 이 모델은 무선 액세스 노드를 탑재한 UAV만을 위한 모델이 아니라, 여러 가지 목적으로 사용될 수 있는 일반적인 UAV를 위한 참조 모델이라는 점에 주의하여야 한다. 본 연구에서는 5G 서비스 커버리지 확장을 위하여 5G 서비스가 제공되지 않는 지역에 다수의 UxNB를 배포하여 5G 서비스를 제공하고자 하는 것에 초점을 맞추고 있다. 이러한 목적으로 사용될 UxNB는 5G 네트워크를 구성하는 장치로 볼 수 있기 때문에, UxNB를 제어하는 UAV 컨트롤러를 5G 네트워크 내에 위치시키면서 UxNB에 대한 제어 명령을 5G 통신 서비스를 통하여 전달하도록 해야한다. 따라서 본 논문이 제안하는 UxNB 네트워크 구축 방안에서는 UAV 컨트롤러를 Fig. 3에서 Open RAN 구성 요소인 non-RT RIC 내에 UxNB 네트워크 컨트롤러의 일부로 위치시킨다. 그러나 UxNB 네트워크 컨트롤러가 10 밀리초(msec)에서 1초(sec) 수준의 실시간 처리를 수행할 필요가 있는 경우, UxNB 네트워크 컨트롤러의 위치를 Fig. 3의 Open RAN 구성 요소인

near-RT RIC로 위치를 변경할 수 있다.

그런데 5G 네트워크 내에 위치한 UAV 컨트롤러가 5G 통신 서비스를 통하여 모든 UxNB를 제어하지 못할 가능성이 있다. 왜냐하면, 본 논문에서는 UxNB가 5G 서비스가 제공되지 않는 지역에 5G 서비스를 제공하기 위하여 투입되는 것을 가정하고 있기 때문이다. 이에 대해서는 다음 절에서 다룬다.

2. How to Deliver Control Commands from UAV Controller to UxNBs

앞 절에서 언급한 바와 같이, 5G 네트워크 내에 위치한 UAV 컨트롤러는 5G 통신 서비스를 통하여 Mobile IAB 노드로 동작할 UxNB에게 제어 명령을 전달하여야 한다. Mobile IAB 노드란 이동성 측면에서 분류한 IAB 노드의 한 종류이며, Fixed IAB 노드는 특정 위치에 고정되어 서비스를 제공하는데 반하여, Mobile IAB 노드는 이동하면서 통신이 가능한 노드를 의미한다 [13]. 그러나 본 연구에서는 5G 서비스가 제공되지 않는 지역에 Mobile IAB 노드로 동작할 UxNB가 5G 서비스를 제공하기 위하여 투입되는 것을 가정하고 있기 때문에, 목적지로 이동하고 있거나 목적지에 도착한 UxNB들은 5G 서비스를 제공받을 수 없는 상황을 맞이할 수 있다.

예를 들어 UAV 컨트롤러는 Fig. 6에서 IAB-donor 역할을 수행하는 백홀 노드(backhaul node)에 직접 연결된 UxNB (A)에게 제어 명령을 5G 서비스를 통하여 전달할 수 있다. 하지만 5G 서비스 커버리지를 벗어난 UxNB에게는 UAV 컨트롤러가 5G 서비스만을 통하여 제어 명령을 전달할 수 없다. 따라서 Fig. 6의 백홀 노드에 직접 연결된 UxNB가 UAV 컨트롤러의 명령 전달을 위한 게이트웨이로 동작하는 멀티 홉(multi hop) UxNB 네트워크의 구성이 필요하다.

멀티 홉 UxNB 네트워크에서 UxNB 간 UAV 컨트롤러의 제어 명령 전달을 위하여 새로운 프로토콜을 개발하는 것보다는 기존의 검증된 UAV 네트워크 라우팅 프로토콜 중 하나를 선택하고 활용하는 것이 바람직하다. UAV 네트워크 라우팅 프로토콜은 네트워크 아키텍처 기반 라우팅 프로토콜과 데이터 포워딩 기반 라우팅 프로토콜로 분류된다 [17]. 본 논문의 UxNB 네트워크는 하나의 조직에 의하여 관리되고 수십 개 이내의 UxNB로 구성되며, UxNB들은 동일한 출발지로부터 배포 현장으로 함께 이동한다. 또한 UxNB들은 현장에 도착한 이후 일정 위치에 정지 비행하는 특성을 가진다. 따라서 앞서 언급한 [17]의 네트워크 아키텍처 기반 라우팅 프로토콜 중에서 토폴로지 기반

라우팅(topology-based routing) 방법에 속하는 프로액티브 라우팅(proactive routing) 프로토콜을 제안하는 방안이 적용하도록 하였다. 이상의 내용을 정리하면, 본 논문이 제안하는 UxNB 네트워크 배포 방안에서 5G 네트워크에 존재하는 UAV 컨트롤러가 임의의 UxNB에게 전송한 제어 명령은 IAB-donor에게 직접 연결된 UxNB(Fig. 6에서 UxNB (A))에게 5G 서비스를 통해 전달된 다음, 그 UxNB가 UAV 네트워크 라우팅 프로토콜을 활용하여 수신한 제어 명령을 목적지 UxNB에게 전달한다.

UAV 컨트롤러의 제어 명령에 따라 모든 UxNB가 현장에 도착하면, UxNB들은 다음 단계로 3GPP IAB 기술 표준에 따라 무선 백홀(wireless backhaul)을 설정해야 한다. 이에 대해서는 다음 절에서 다룬다.

3. Application of IAB for UxNB Network

IAB는 3GPP에 의하여 Release-16에서 표준화되었다. Release-16에서 정의된 초기 IAB의 기능 범위에 속하는 중요한 한 가지 특성은 Release-15의 UE를 지원하여야 한다는 것이다. 이는 Release-15의 5G 아키텍처 배포 시나리오를 준수하는 것이 중요하다는 것을 의미한다. 초기 IAB의 기능 범위의 중요한 또 다른 특성 하나는 IAB가 정지 인프라 릴레이(stationary infrastructure relays)라는 것이다. 이는 Mobile IAB를 위한 기술 규격이 Release-16에는 포함되어 있지 않다는 것을 의미한다. Release-17에서 IAB 표준 규격이 향상되기는 하였지만, Mobile IAB에 대한 기술 규격은 포함되지 않았다. 이후 Release-18부터 Mobile IAB 셀(cell)과 같은 의미를 가지는 모바일 셀(mobile cell)에 대한 지원이 논의되기 시작하였다. 하지만 UAV를 활용하는 IAB에 대해서는 Release-18이 Mobile IAB에 대하여 다루는 내용에 포함되지 않았다. Mobile IAB에 대한 Release-18의 초기 연구는 버스나 기차에 IAB 노드를 탑재하는 형태의 VRM(Vehicle-Mounted Relays)이 포함되어 있다 [13].

따라서 본 논문이 제안하는 UxNB 네트워크 배포 방안에서는 정지 인프라 릴레이를 위한 IAB 표준을 활용하여야 한다. 앞서 언급한 바와 같이, 현재의 IAB 표준은 Release-15 UE를 지원하여야 하기 때문에, 하나의 IAB-node가 IAB-donor와 연결하기 위하여 최대 두 개의 부모(parent) IAB-node만 가질 수 있다. 부모 IAB-node란 하나의 IAB-node가 IAB-donor CU와 F1 인터페이스를 설정하기 위하여 상향링크(uplink) 방향으로 물리적으로 직접 연결된 IAB-node를 의미한다. 이러한 제약을 극복하기 위하여 본 논문이 제안하는 UxNB 네트워크 배포

방안에서는 가용한 모든 링크의 상태를 관리하여 IAB-node가 최적의 부모 IAB-node를 선택할 수 있도록 UxNB 네트워크의 토폴로지 관리 등의 기능을 담당할 SDN 컨트롤러를 도입하였다. Fig. 4와 같이 SDN 컨트롤러를 UAV 컨트롤러와 함께 UxNB 네트워크 컨트롤러에 위치시킴으로써 이동성을 가진 UxNB들로 구성된 네트워크를 제어하고 관리하도록 하였다. 그런 다음, 현재 네트워크 토폴로지 상에서 정지 인프라 릴레이를 위한 IAB 표준 기능을 UxNB가 수행하도록 하였다.

그런데 UxNB는 이동 가능한 장치이기 때문에 서비스 환경의 변화에 따라 UxNB의 위치와 UxNB 네트워크 토폴로지의 변경이 필요할 수 있다. 이에 대해서는 다음 절에서 다룬다.

4. Optimization of UxNB Network

본 논문에서 제안하는 UxNB 네트워크 배포 방안에서는 UxNB가 IAB-node로 동작을 시작하는 시점의 네트워크 토폴로지에 정지 인프라 릴레이를 위한 IAB 표준을 적용하도록 하였지만, UxNB는 이동성을 가졌기 때문에 시간의 흐름에 따라 네트워크 토폴로지를 비롯하여 여러가지 상황이 변할 수 있다. 또한 일반적으로 5G의 UE도 이동 가능하기 때문에, 사용자의 분포 역시 시간에 따라 달라질 수 있다. 이러한 상황에서 UxNB 네트워크의 최적화가 필요하다. 고려 대상인 UxNB 네트워크 최적화 문제 중 하나는 지상에 존재하는 전통적인 5G UE의 분포 변화에 따른 UxNB 네트워크의 최적화 문제이다. 이 문제에 대한 최적화 방안과 이것을 악용하는 보안 공격에 대하여 본 논문의 저자들과 협업하는 연구팀에서 현재 연구가 진행되고 있다. 추후 해당 연구 결과를 본 논문이 제안하는 UxNB 네트워크 배포 방안에 반영할 계획이다.

UxNB 네트워크의 토폴로지 변화를 야기할 수 있는 또 다른 요인은 IAB-node 사이의 RLF (Radio Link Failure)의 발생이다. 이에 대해서는 다음 절에서 다룬다.

5. RLF(Radio Link Failure) Recovery for UxNB Network

IAB-node는 최대 두 개의 부모(parent) IAB-node를 가질 수 있다. 이를 통하여 동일한 IAB-donor에 대한 중복 경로(redundant route)를 설정할 수 있다. 이와 같이 IAB-node가 중복 경로를 가지고 있는 경우, RLF(Radio Link Failure)가 발생하더라도 측정 보고(measurement report)를 통해 IAB-donor CU에게 이벤트를 통지하고 모든 트래픽을 대안 경로(alternative route)로 전환할 수

있다. 그러나 IAB-node가 오직 한 개의 부모 IAB-node만 가지는 경우에는, RRC Connection Reestablishment 절차[18]를 사용하여 RLF 복구(recovery)가 진행되어야 한다. 이 절차에서 IAB-node는 새로운 부모 IAB-node를 검색하고 선택한 다음, 이전과 동일한 IAB-donor 또는 다른 IAB-donor에 대하여 RRC 연결성(connectivity)을 재설정하여야 한다.

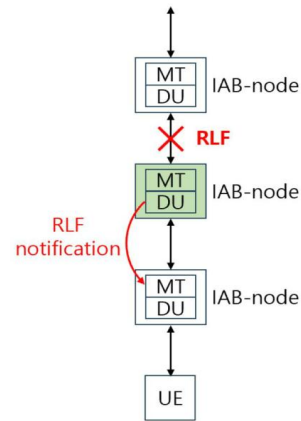


Fig. 9. Notification of RLF to downstream IAB [12]

3GPP IAB 표준 규격은 고정 IAB를 대상으로 작성된 규격이다. 따라서, RLF 복구 절차가 실패하면 IAB-node는 Fig. 9[12]와 같이 자식(child) IAB-node에게 RLF Notification을 전송하여 백홀에 오류가 발생하였음을 통지하여야 한다. 하지만 본 논문이 제안하는 UxNB 네트워크 배포 방안에서는 RLF 복구 실패가 발생하기 전에 UxNB 네트워크 컨트롤러의 SDN 컨트롤러와 UAV 컨트롤러가 협업하여 일부 UxNB를 이동시키는 등의 조치를 취할 수 있다. 그러나 기존 UxNB의 이동, 새로운 UxNB의 투입, 기존 UxNB의 제거 등을 안전하게 수행하기 위해서는 관련 절차에 대한 보안 측면에서의 검토가 필요하다. 이에 대해서는 다음 절에서 다룬다.

6. Security of UxNB Network

안전하게 UxNB를 제어하고 UxNB 네트워크를 구성 및 관리하기 위해서는 관련 절차를 보안 측면에서 검토하는 것이 필수적이다. 또한 UxNB가 IAB-node로 동작하면서 부모 IAB-node를 검색할 때 UxNB는 일반 UE처럼 동작해야 하기 때문에, 허위 기지국(false base station)을 이용한 공격뿐만 아니라 5G 보안 설계 취약점을 이용한 공격들[19]에도 취약할 수 있다. 따라서 RLF 복구와 네트워크 최적화를 위한 UxNB 네트워크 컨트롤러의 동작 및 관련 보안 이슈들에 대하여 향후 연구를 수행할 계획이다.

V. Conclusion

본 논문에서는 모바일 IAB를 위한 UxNB 네트워크 배포 및 운영 방안을 제안하였다. UxNB 네트워크를 SDN 기반으로 운영하는 것을 제안하였고, UAV 컨트롤러와 SDN 컨트롤러로 구성되는 UxNB 네트워크 컨트롤러의 아키텍처와 UxNB 네트워크 배포 및 운영 시나리오를 제안하였다. 또한 UxNB 네트워크 배포 및 운영에 있어 발생할 수 있는 이슈들을 논의하였다. 본 논문에서 제안한 UxNB 네트워크 컨트롤러와 배포 및 운영 방안을 통해 모바일 IAB에 UxNB 네트워크를 원활하게 통합할 수 있을 것으로 기대한다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government (MSIT) (No.2021-0-00796, Research on Foundational Technologies for 6G Autonomous Security-by-Design to Guarantee Constant Quality of Security)

REFERENCES

- [1] H. Lee, J.S. Bae, S.J. Bahng, and H.S. Lee: "Standardization Trends for Operation of Unmanned Aerial Vehicles Based on 5G," *Electronics and Telecommunications Trends*, Vol. 36, No. 4, pp. 13-22, Aug. 2021. DOI: 10.22648/ETRI.2021.J.360402
- [2] 3GPP. TS 22.125 v17.6.0, "Unmanned Aerial System (UAS) Support in 3GPP; Stage 1 (Rel-17)," Mar. 2022.
- [3] E. Kalantari, M.Z. Shakir, H. Yanikomeroglu, and A. Yongacoglu: "Backhaul-aware Robust 3D Drone Placement in 5G+ Wireless Networks," in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. Workshops (ICC Workshops)*, pp. 109-114, May 2017. DOI: 10.1109/ICCW.2017.7962642
- [4] F. Cheng, S. Zhang, Z. Li, Y. Chen, N. Zhao, F.R. Yu, and V.C.M. Leung: "UAV Trajectory Optimization for Data Offloading at the Edge of Multiple Cells," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol. 67, No. 7, pp. 6732-6736, Jul. 2018. DOI: 10.1109/TVT.2018.2811942
- [5] H. Hellououi, O. Bakkouche, M. Bagaa, and T. Taleb: "Aerial Control System for Spectrum Efficiency in UAV-to-Cellular Communications," *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 56, No. 10, pp. 108-113, Oct. 2018. DOI: 10.1109/MCOM.2018.1800078
- [6] K. Welch, "Evolving Cellular Technologies for Safer Drone Operation," *Qualcomm 5G White Paper Presentations*, Tech Collection, San Diego, CA, USA, Tech. Rep. 2016.
- [7] E. Bozkaya and B. Canberk, "BS-on-air: Optimum UAV Localization for Resilient Ultra Dense Networks," in *Proc. IEEE Conf. Comput. Commun. Workshops (INFOCOM WKSHPS)*, pp. 877-881, Apr. 2018. DOI: 10.1109/INFOCOMW.2018.8406903
- [8] O.S. Oubbati, M. Atiqzaman, T.A. Ahanger, and A. Ibrahim: "Softwarization of UAV Networks; A Survey of Applications and Future Trends," *IEEE Access*, Vol. 8, pp. 98073-98125, 2020. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2994494
- [9] Z. Ma, Q. Guo, J. Ma, Z. Zhang, H. Ma, L. Peng, and Y. Li: "VaSeMRP: Velocity-aware and Stability-estimation-based Multi-path Routing Protocol in Flying Ad Hoc Network," *Int. J. Distrib. Sensor Netw.*, Vol. 15, No. 11, Art. no. 1550147719883128, Nov. 2019. DOI: 10.1177/1550147719883128
- [10] O. Kalinagac, S.S. Kafiloglu, F. Alagoz, and G. Gur: "Caching and D2D Sharing for Content Delivery in Software-defined UAV Networks," in *Proc. IEEE 90th Veh. Technol. Conf. (VTC-Fall)*, pp. 1-5, Sep. 2019. DOI: 10.1109/VTCFall.2019.8891497
- [11] Q. Zhao, P. Du, M. Gerla, A.J. Brown, and J.H. Kim: "Software Defined Multi-path TCP Solution for Mobile Wireless Tactical Networks," in *Proc. IEEE Mil. Commun. Conf. (MILCOM)*, pp. 1-9, Oct. 2018. DOI: 10.1109/MILCOM.2018.8599848
- [12] Sasha Sirotkin: "5G Radio Access Network Architecture: the Dark Side of 5G," Wiley-IEEE Press, 2021.
- [13] V.F. Monteiro, F.R.M. Lima, D. C. Moreira, D.A. Sousa, T.F. Maciel, B. Makki, et al.: "Paving the way toward mobile IAB: Problems, Solutions and Challenges," *IEEE Open Journal of the Communications Society*, Vol. 3, pp. 2347-2379, Nov. 2022. DOI: 10.1109/OJCOMS.2022.3224576
- [14] O-RAN Alliance [online] Available: <https://www.o-ran.org/>
- [15] O-RAN: Towards an Open and Smart RAN, White Paper, October 2018.
- [16] 3GPP TS 22.125 v19.0.0, "Unmanned aerial system (UAS) support in 3GPP," Sep. 2023.
- [17] M. Y. Arafat, S. Moh: "Routing Protocols for Unmanned Aerial Vehicle Networks: A Survey", *IEEE Access*, Vol.7, p.99694-99720, 2019. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2930813
- [18] 3GPP TS 38.300 v17.6.0, "NR and NG-RAN Overall Description; Stage 2 (Rel-17)," Sep. 2023.
- [19] S.R. Hussain, M. Echeverria, I. Karim, O. Chowdhury, E. Bertino: "5GReasoner: A Property-Directed Security and Privacy Analysis Framework for 5G Cellular Network Protocol," in *Proc. 2019 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security*, pp.669-684, Nov. 2019. DOI: 10.1145/3319535.3354263

Authors



Keewon Kim received his M.S. and Ph.D. degrees in Computer Engineering from Kyungpook National University, Korea, in 2001 and 2006, respectively. He is currently an assistant professor in the department of

Computer Engineering, Mokpo National Maritime University. He is interested in information security, security protocol, VLSI, and big data analysis.



Jonghyun Kim received the Ph.D. degree in computer science from the University of Oklahoma, USA, in 2005. He was a researcher with the Samsung Electronics in 1995-1998. He is currently a principal

researcher with the Electronics Telecommunications Research Institute, Daejeon, Korea. He is also involved in standardization activities as a vice-chair of WP1 and a rapporteur of Q.4 (cybersecurity) in ITU-T SG17. His research interests include Network Security, Cloud Security, AI-based malware detection and 5G/6G Security.



Kyungmin Park received his B.S., M.S., and Ph.D. degree in Computer Engineering from Chungnam National University, Rep. of Korea, in 2010, 2013, and 2019. He joined the Electronics and Telecommunications

Research Institute(ETRI), Daejeon, Rep. of Korea, in 2017, where he is currently working as a senior researcher. Currently, he is interested in mobile network security.



Tae-Keun Park received his B.S., M.S., and Ph.D. degrees in Computer Science and Engineering from POSTECH, Pohang, Korea in 1991, 1993, and 2004, respectively. He joined POSTECH PIRL in 1993 and moved

to SK Telecom in 1996. From 2000 to 2001 and from 2001 to 2002, he worked for 3Com Korea and Ericsson Korea, respectively. In 2004, he joined in the department of Multimedia Engineering, Dankook University, Korea. He is currently on the faculty of the department of Computer Engineering at Dankook University. His research interests include network security, IoT, wireless/mobile communications, and distributed services.