

xhaul 에서의 Ethernet 응용 기술

김아정, 조상원, 조광호*, 최진식**
 세종대학교, Actus Networks*, 한양대학교**

요약

본고에서는 4G/5G/WiFi 무선 통신의 C-RAN(Centralized/Cloud Radio Access Network)을 지원하는 xhaul망에서의 이더넷 응용 기술에 대해 분석한다. xhaul에서의 요구사항을 고찰하고, 이를 충족시키기 위한 이더넷 응용으로서 RoE(Radio over Ethernet)을 중심으로 한 기술 분석과 함께, 그 외 프론트홀 전송 기술을 알아봄으로써, xhaul에서의 이더넷의 응용과 더불어 기타 차세대 무선 망 기술과 함께 유무선 융합 전송 기술에 대한 방향을 타진해 보도록 한다.

도하면서, 이를 지원하는 기술들의 연구개발이 다각도로 진행되고 있다. 이더넷 기술은 가장 광범위하게 사용되고 백홀로의 확장성을 가진 효율적인 표준 기술로서 xhaul 네트워크의 경제적 솔루션으로 기대되고 있다.

본고에서는 이동통신의 C-RAN을 지원하는 xhaul 네트워크의 요구사항을 고찰하고, 이를 지원하는 이더넷 응용 기술로서 RoE(Radio over Ethernet)에 대한 분석과 함께, 그 외 프론트홀 전송 기술인 CPRI over OTN (Optical Transport Network), CPRI over WDM (wavelength division multiplexing) 등도 고찰함으로써, xhaul에서의 이더넷의 응용과 기타 차세대 xhaul 전송 기술에 대해 알아보도록 한다.

I. 서론

인터넷 서비스와 스마트폰의 보급으로 인해 모바일 트래픽이 급증하면서, 주파수 자원 한정을 극복하기 위해 통신사 이트는 셀의 크기를 작게 하고 셀의 수를 증가시키는 small cell 구조로 구축되고 있는 추세이다. 기존의 기지국 구조인 D-RAN(Distributed RAN)은 데이터 처리부인 BBU(Baseband Unit)와 안테나부인 RRH(Remote Radio head)가 일체형으로 구성되어 냉방 및 전력공급을 위해 실내에 설치했기 때문에, 기지국 수가 증가함에 따라 ISP 사업자가 부담해야 할 CAPEX/OPEX가 증가 되었다. 이에 RRH만 옥외에 설치하고 BBU들은 CO(Central Office)나 BBU pool에 모여서 관리하는 C-RAN(Cloud RAN) 구조가 제안 되었다[1].

RRH와 BBU가 분리되면서 RRH와 BBU 사이의 구간을 프론트홀(fronthaul)이라 정의하고, eNodeB 간의 연결 구간은 미드홀(midhaul)로 칭하여지고 있다. 현재 프론트홀에서의 인터페이스는 CRPI(Common Public Radio Interface), OBSA-I(Open Baseband Remote Radiohead Interface), ORI(Open Radio Interface) 등이 사용되고 있고 미드홀에서는 X2 인터페이스가 사용되고 있다.

트래픽 폭증으로 인해 이러한 xhaul 구간도 네트워크화를 시

II. 본론

1. xhaul 요구사항

xhaul 에 대한 요구사항은 CPRI 등의 표준에서 정의하고 있으나 통신망의 발달로 인한 프론트홀의 재정의를 위해 2015년 6월 IEEE회의에서 NGFI(Next Generation Fronthaul Interface) 추진이 발의되었다.

CPRI 표준규격에 따른 프론트홀에 대한 요구사항을 보면 BER(bit error rate)은 최대 10^{-12} 으로 제한되어 있다. 데이터 압축은 50%까지 가능하고, 주파수 에러는 ± 2 ppb(parts per billion) 이내로, 지터는 64ns 이내로 제한한다. 왕복 지연 등은 프론트홀에서는 정의되지 않았으나 3GPP(3rd generation partnership project)에서 정의한 LTE 기준에 의하면 TAE(-Time Alignment Error)는 각 반송파에 대해 65ns 이내, 반송파 집적(Carrier Aggregation)의 경우는 130ns나 260ns 이내로 규정하고 있다. 이 TAE 요구사항을 만족하기 위해 CPRI 표준에서는 하향 링크의 지연 정확도를, 광케이블 상의 지연을 제외하고 ± 8.138 ns 이내로 규정하고 있다. EVM도 아직 프론트에 대해서는 표준화되지 않았으나 3GPP 정의에 의하면

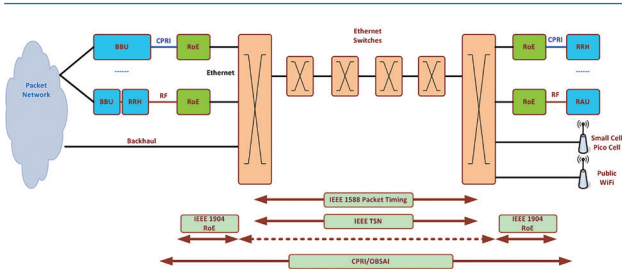


그림 1. 프론트홀 네트워크 상의 RoE 적용 구조

eNodeB에서 변조 방식에 따라 QPSK의 경우 17.5%, 16QAM은 12.5%, 64QAM은 8% 이내로 규정되어 있다. 이 EVM 기준은 DU와 RU 사이를 포함한 프론트엔드에서 백홀 경계 구간의 값이므로 프론트홀 구간만을 고려한다면 이 기준은 보다 엄격해 질 것이다[2][3].

〈그림 1〉은 CPRI로 규정된 프론트홀 구간을 이더넷 스위치로 네트워크화 할 경우의 구조에 대한 것으로서 이에 대한 표준화는 IEEE 1904.3 RoE에서 추진되고 있다. 이더넷 스위치 기반의 RoE 장비간의 패킷 시간 동기화는 IEEE 1588을 사용한다 하더라도 기존 이더넷 스위칭 기술과 2:1의 압축을 사용하여 앞서 언급된 TAE나 latency, EVM 요구사항을 만족시키는 것은 상당히 도전적인 문제로 보인다. RoE는 맵핑과 캡슐화, 패킷 전송 방식에 의한 버퍼로 인해 지터가 hop마다 매우 크기 때문에, 네트워크화 하는데 필요불가결한 이더넷 스위치 사용을 위해서 RoE 패킷 지터를 최소화 하기 위한 연구도 진행 중이다. 특히 2015년 5월 발의된 IEEE 802.1CM 프론트홀을 위한 TSN(Time Sensitive Networking)과 현 802.1 산하에서 진행 중인 여러 TSN 기술들, 또한 RE(remote equipment)에 대한 server화나 xhaul망에 대한 소프트웨어 정의화 네트워크 등의 현 추세를 고려할 때, 충분히 해결 가능할 문제들이므로, 이더넷은 현재 xhaul의 가장 효율적인 네트워크 기술로 고려되는 바이다.

2. xhaul 응용 기술로의 RoE

기존의 전송망은 광-패킷통합망의 형태로서 WDM의 광기반 기술을 이용하나 광스위치 등 시스템 장비가 고가라는 장애가 있다. 따라서 향후 C-RAN이나 eNB간의 광스위치 역할을 대신하면서 프론트홀 패킷 네트워킹이 가능하게 할 경제적 기술로 RoE 연구에 관심이 집중되고 있다.

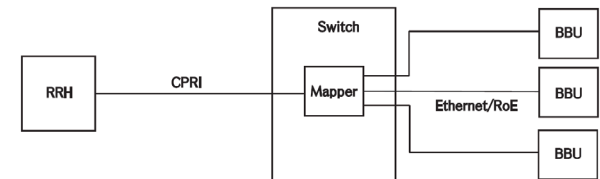
현재 통신망에서의 이더넷이 차지하는 비율이나 현 이더넷의 속도, 용량 향상률 등을 볼 때, 이더넷 스위치를 사용하는 RoE는 전송과 부하 분배를 위한 유연성, 링, 트리, 버스 등 다양한 토폴로지 적용성, 백홀로의 네트워크 확장성, 피코셀/펄토셀화

되어가는 실내 전송 등에서 매우 유리한 위치를 점유하면서 기업 및 데이터 센터 시장에서 가장 각광받는 솔루션으로 기대되고 있다.

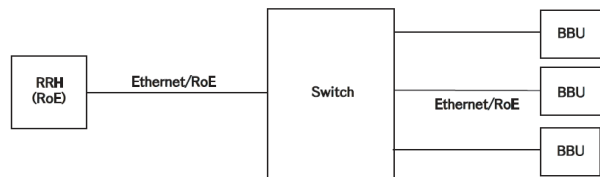
RoE를 프론트홀 망에 적용시킬 경우, CPRI와 같은 기존의 레가시 데이터 형식을 지원하는 하이브리드 방식과, 모든 영역에서 RoE 데이터 형식만을 사용하는 네이티브 방식으로 크게 분류할 수 있다[4].

〈그림 2〉는 하이브리드 RoE, 네이티브 RoE 및 다수 RRH를 한 개의 매퍼나 스위치에 연결하는 집적(aggregation) 방식에 대한 use case 구조를 보여주고 있다. (a) 하이브리드 방식은 CPRI등의 기존의 전송 포맷도 지원하여 RoE와 함께 사용하는 것으로, RoE 스위치 연동을 위한 RoE 형식으로 변환 맵핑이 필요하고, (b) 네이티브 RoE e2e나 (d) 집적 방식에서는 이러한 변환 맵핑이 불필요하다. (d) 네이티브 RoE 집적 방식에서 각각의 flow는 서로 다른 RoE 패킷으로 생성되어 각각 독립적으로 스위칭되기 때문에 용이한 구축이 가능하다.

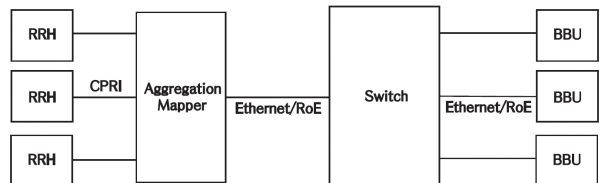
최근 Task Force 승인 받은 IEEE 1904.3 RoE에서는, 무선 IQ 신호에 대한 이더넷 캡슐화 기법과 CPRI프레임을 지원하는



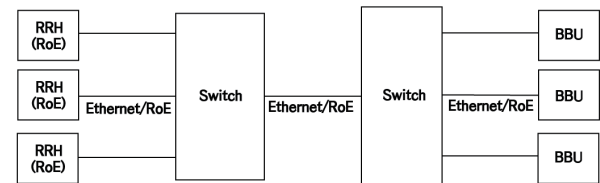
(a) 하이브리드 RoE



(b) 네이티브 RoE e2e



(c) 하이브리드 RoE Aggregation



(d) 네이티브 RoE Aggregation

그림 2. RoE의 use case

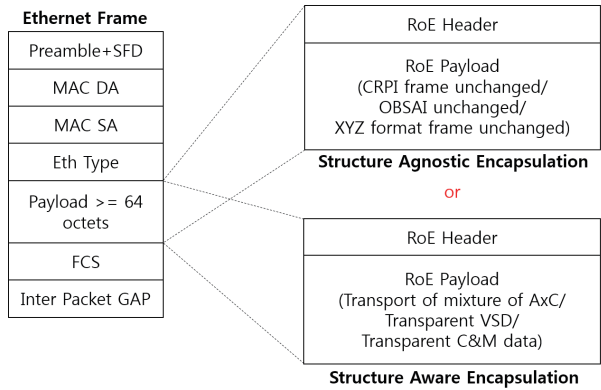


그림 3. RoE 데이터 형식으로 캡슐화

CPRI-to-RoE 및 그 외의 프로토콜 전환 프레임을 지원하는 맵핑 기법에 대한 규정을 추진하고 있다.

RoE 데이터 형식으로 캡슐화하는 방법으로는 structure-agnostic 방식과 structure-aware 방식이 있다[5].

〈그림 3〉에서 보여지듯 structure-agnostic 방식은 CPRI나 OBSAI같은 기존의 프론트홀에서 사용하는 프레임을 RoE의 페이로드에 그대로 삽입하는 방식이다. structure-aware 방식은 기존 레가시 프레임에서 IQ 데이터, 개발자 형식의 데이터, C&M 데이터를 RoE 프레임 형식으로 맵핑하여 네이티브 RoE 포맷으로 만드는 기법이다.

현재 진행중인 IEEE 1904.3에 의하면 RoE header의 포맷은 〈그림 4〉와 같다.

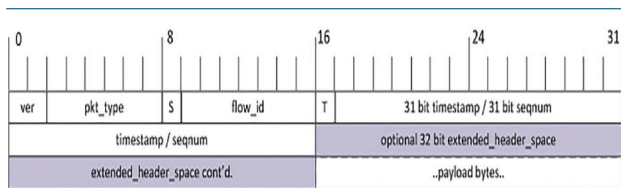


그림 4. RoE header와 프레임 구조

header는 48비트 header(〈그림 4〉)나 extended space를 포함한 80비트 header 두 가지로 분류된다. 즉 32비트의 extended_header_space 필드를 통해 여분의 header 공간을 확보해 놓고 있다.

2비트의 ver필드는 RoE 프로토콜의 버전과 데이터, 컨트롤, 패킷 타입등의 정보를 나타낸다.

6비트의 pkt_type필드는 structure-agnostic /structure-aware 방식의 구분, 48비트/80비트의 header의 구분을 나타낸다. S는 1비트로서 프레임의 시작을 알리는 것으로 time align을 위해 사용된다.

flow_id 필드는 송신지(SA)와 목적지(DA)의 엔드포인트 간의 전송을 위해, 7비트로 표현되는 128개의 엔드포인트 간 다중화에 사용된다. flow_id는 라우팅 기능을 하지 않고 오직 엔드포인트 간 전송을 제어한다.

T필드는 1비트이며 다음 필드가 타임스탬프 (T=0)를 나타내는지 일련 번호(sequence number)(T=1)를 나타내는지 구분해 준다. timestamp/seqnum 필드는 31비트로서, 타임스탬프 경우 ns단위로 나타내며, 일련 번호의 경우 최대 $2^{31}-1$ 개의 시퀀스가 할당된다.

RoE에서는 프레임 형식 외에도 절체 보호 기능, TSN 기능 등에 대한 연구 개발이 진행 중에 있으면서 Broadcom을 위시하여 RoE 상용화 칩 개발에 박차를 가하고 있다.

3. 그 외 프론트홀 전송기술

이더넷 응용 기술 외에 프론트홀 망에서의 전송 기술로는 CPRI over OTN, CPRI over WDM, Radio over Fiber(RoF) 등의 기술이 연구되고 있다. 아날로그 전송의 RoF 기술을 차치하고서 디지털 전송 기술을 보면, Huawei, ZTE 등 중국 중심으로 OTN 기반의 기술을, 국내에서는 WDM 기반의 기술을 중심으로 개발이 진행되고 있다.

CPRI over OTN을 보면, ITU-T G.872에 규정된 OTN은 광 망 요소들로 구성되어, 광채널의 다중화 기능, 라우팅 기능, 광채널 전송기능, 관리 기능, 감시 기능, 생존성 등을 제공한다. OTN의 전송 구조는 WDM방식의 광채널 전송 구조와 광채널 상위의 디지털 전송 구조로 구성되어 있고, 디지털 전송 구조는 OPU(Optical channel Payload Unit)와 ODU(Optical channel Data Unit) 및 OTU(Optical channel Transport Unit)으로 구성되어 있다. ITU-T의 SG15 G.709 Appendix에는 무선 액세스 망에서의 CPRI over OTN의 맵핑 방식을 정의하고 있는데 〈그림 5〉에서는 그 구조를 보여주고 있다.

RRH와 BBU 사이의 레가시 CPRI 인터페이스의 경우, 신호를 저지연 ODU1, ODU2 신호에 맵핑하는 기술 및 OTU1, OTU2 프레임 처리기술, 저지연 FEC(Forward Error

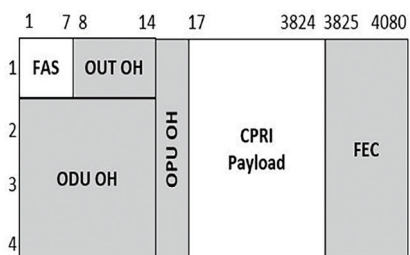


그림 5. CPRI over OTN 프레임 구조

Correction) 기술 등을 적용하여, 대용량의 회선 집중화 뿐만 아니라 망 확장시 2.5G(OTU1), 10G(OTU2) 단위의 용량증가가 가능한 광 전송장치를 구현할 수 있다.

각각의 기술을 살펴보면, 용량 확장기술로는, 기본 2노드에서 4노드로 확장하는 노드 확장과 68채널에서 100채널로 확장하는 채널 확장을 들 수 있다. ODU 맵핑은, 한 채널의 CPRI신호를 맵핑하는 ODU1경우와 4개의 채널을 맵핑하는 ODU2경우가 있다. OTU 프레임 처리 기술은 프레임의 감시와 처리 기능을 지원한다. 저지연 FEC 기술을 사용하면 NCG(Net Coding Gain)가 5.6dB보다 크게 되고, latency를 감소시켜 OTU1-FEC 기술의 경우 1 μ s이내, OTU2-FEC기술의 경우 3 μ s 이내가 가능하게 한다. 즉 원래 과정은 2.5Gbps(CPRI option 3)의 신호를 ODU1로 맵핑을 한 후 ODU2로 다중화, ODU2에 OH와 FEC를 추가 부여, OTU2로 전송의 일련의 과정을 거치는데 G.709에서 정의한 RS code를 이용한 16-byte interleaved codecs 방식으로는 CPRI 링크의 전송 지연 시간 규격인 최대 5 μ s를 만족시킬 수 없다. 그러나 저지연 FEC 기술을 적용하여 3 μ s 이하의 지연 특성을 가지게 함으로써 초지연성을 요구하는 프론트홀에 부합하는 구조이다.

CPRI over OTN 시스템 제어 및 운용 관리 기술로는 운용 및 유지보수를 위한 OAM 기능과 시스템 구성 정보를 백업하고 재저장하는 기능, CPRI의 정보처리 기능, remote node 시스템 소프트웨어 업그레이드 기능, OTU와 ODU 및 FEC의 정보처리와 성능 기능, round trip delay 측정 기능이 있다. 광케이블 비용 절감을 위하여 OTU 신호로 다중화한 CPRI 신호는 광파이버에 WDM 방식으로 광다중화를 하여 전송된다. ITU-T G.694.1/2 규정에 의하면 DWDM과 CWDM 방식의 다중화 기능을 융합하여 Hybrid-WDM 기술을 사용한다[6].

CPRI over WDM기술은 여러 CPRI 링크들을 파장 다중화를 이용하여 하나의 광케이블로 전송하는 기술이다. 이는 OTN/Ethernet 프레임 신호로 캡슐화하는 CPRI over OTN이나 RoE방식보다 매우 낮은 지연성과 높은 정확도를 얻을 수 있다. WDM 방식은 CPRI 다수 채널을 하나의 광케이블로 수용할 수 있기 때문에 광케이블 포설비나 프론트홀 망 구성비용이 절감될 수 있으나 광스위치 등 고가의 장비가 필요하다.

transponder 같은 능동소자를 이용하지 않는 수동WDM은 저가, 저전력의 장점 외에도 MUX나 DeMUX구간에서 O/E(Optic/Electric) 변환을 하지 않으므로 매우 적은 지터와 지연성을 얻을 수 있다. 그러나 프론트홀에서 BBU와 RRH 간 거리는 수십 Km이므로 광케이블의 절체가 발생할 수 있는데, 이때 수동 WDM은 백업 광섬유 링크로 스위칭하는 절체 보호 스위칭을 할 수 없다는 단점이 있다. 이를 해결 하기 위해서 RRH

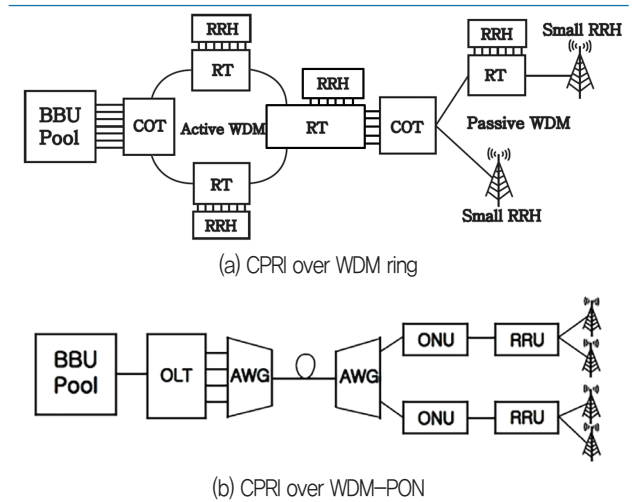


그림 6. CPRI over WDM 의 use case 구조

와 BBU의 WDM 장비에 광스위치를 설치하여 전송하는 방법이 연구되고 있다.

능동 WDM 경우는 transponder, muxponder와 같은 고가, 전력소비의 능동소자를 추가하지만, 양방향 전송이 가능하여 광케이블의 수를 줄일 수 있는데, muxponder를 사용하면 사용파장의 수를 더 줄일 수 있어 광케이블의 수를 최소화할 수 있다. 또한 운영자가 프론트홀의 성능에 대한 자기 진단 테스트를 실행하여 운영할 수 있다. 그러나, 능동 WDM장비의 O/E/O 변환에 의한 지터와 지연이 불가피하게 된다. 현재 능동 WDM은 절체 보호를 위해 링구조로 구성하려고 하는 추세이며[7] 국내 프론트홀에 포설 진행 중이다.

최근에는 수동 WDM과 능동 WDM을 접목한 하이브리드 프론트홀 네트워크가 제안되고 있다. 능동형 WDM 구조를 통해 링 구조로 프론트홀을 구성하고 수동형 WDM을 이용해서 네트워크 구간 확장을 시도한다. 이와 더불어 능동 WDM보다는 비교적 네트워크 구성 비용이 낮은 WDM-PON이나 NG2-PON을 이용한 연구도 진행 중에 있다[8].

III. 결론

본고에서는 이동 통신과 무선 통신의 C-RAN 을 지원하는 xhaul 망에서의 이더넷 응용 기술에 대해 분석해 보았다. 현재 RoE 상용 칩이 개발 중에 있어, 개발 이전에는 CPRI over WDM 기술 등이 국내 프론트홀에서의 전송에 이용되고 있다. 이더넷이 가지고 있는 잠재성인, 전송, 부하분배, 토폴로지에 대한 유연성, 백홀로의 네트워크 확장성, 기존 장비와의 호환성, 경제성 등의 장점을 기반으로, 이더넷 스위치 기반의 RoE

가 xhaul에서의 요구사항을 충족시키기 위해 연관기술인 IEEE 802.1 TSN 기술, software configurable fronthaul 등에 대한 연구개발이 활발히 진행되고 있다.

따라서 향후 C-RAN이나 eNB간의 광스위치 역할을 대신하면서 프론트홀 패킷 네트워킹이 가능하게 할 경제적, 효율적 기술로서 이더넷 응용 기술인 RoE는 유/무선, 프론트홀/백홀 통합의 차세대 융합 통신망의 각광받는 솔루션으로 기여하게 될 것이다.

Acknowledgment

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 지원으로 수행되었다(R0127-15-1048, R0992-15-1017).

참고 문헌

- [1] Anna Pizzinat, "C-RAN architecture and fronthaul challenges", LTE Backhaul Summit 2013, Amsterdam, Jun, 2013.
- [2] Anna Pizzinat, "Things You Should Know About Fronthaul", Journal of Lightwave Technology, vol. 33, no. 5, pp. 1077-1083, March 2015
- [3] CPRI Interface Specification, v. 6.1
- [4] http://www.ieee1904.org/3/meeting_archive/2015/02/tf3_1502_korhonen_1.pdf
- [5] http://www.ieee1904.org/meeting_archive/2014/10/anwg_1410_korhonen_1.pdf
- [6] Jesoo Ko, Ji-Wook Youn, Bheom-Soon Joo Jong Hyun Lee, Won Hee Lee, Sung Kyu Hyun, "CPRI/OBSAI Transport System based on the Low Latency OTN for the Radio Access Network, The summer conference of Institute of Electronics and Information Engineers, 37-1,1894-1897, 2014
- [7] HFR's Mobile Fronthaul solutions for LTE-A Era, July 2014
- [8] Yiran MA, Xiaoli Huo, Junjie Li, Xiaomu Wang, Jingwen Yu, "Optical Solutions for Fronthaul Application", 2015 14th International Conference on Optical Communications and Networks,

약 력

김 아 정

1988년 서울대학교 학사
 1995년 Northwestern University 석사
 1996년 Northwestern University 석사
 1997년 Northwestern University Post-Dh.
 1998년 Motorola center for Telecom at NWU, Research Associate
 1998년~2003년 삼성전자, 삼성종합기술원 연구원
 2003년~현재 세종대학교 정교수
 관심분야: 유무선 융합 시스템, 광통신, 정보 보안

조 상 원

2015년 세종대학교 학사
 2015년~현재 세종대학교 석사과정 연구생
 관심분야: 이동통신, 광통신, Radio over Fiber 시스템 개발

조 광 호

1985년 서강대학교 학사
 2001년 KAIST 석사
 1985년~2001년 삼성전자 부장
 2001년 시스코 시스템즈, Product Manager
 2001년~2005년 콤포텍 시스템, 이사
 2005년~현재 액터스네트워크즈, 대표이사
 관심분야: Carrier Ethernet 시스템 개발, Radio over Ethernet

최 진 식

1985년 서강대학교 학사
 1987년 KAIST 석사
 1995년 KAIST 박사
 1995년~2001년 공주대학교 교수
 2001년~2004년 한국정보통신대학교 교수
 2004년~현재 한양대학교 정교수
 관심분야: Software Defined Network 시스템, 이더넷 패킷 네트워크