

LTE-Advanced 이동통신망 Fronthaul 구간을 위한 Radio over Fiber 시스템의 필요 전송용량 및 요구사항 분석

김성만*

Required Specification Analysis of Radio over Fiber system for LTE-Advanced Fronthaul link

Sung-Man Kim*

요 약

전 세계적으로 스마트폰이 널리 보급되고 있으며, 이에 따라 이동통신망에서 데이터 통신의 수요가 폭증하고 있다. 이를 수용하기 위하여 전 세계적으로 LTE-Advanced와 같은 차세대 이동통신 서비스가 보급되고 있다. 이러한 LTE-Advanced 기지국을 구현함에 있어서 DU(digital unit)와 RU(radio unit)로 분리된 형태의 기지국이 많이 사용되고 있다. 이때에 DU와 RU를 연결하는 네트워크 구간인 Fronthaul 구간에 기존에는 CPRI(common public radio interface)라는 디지털 광통신 기술로 구현되어 왔으나, 폭증하는 데이터 수용을 감당하기에는 그 한계에 다다른 상태이다. 따라서, 본 논문에서는 이 구간을 아날로그 광통신 기술인 RoF(Radio over Fiber)로 구현하여 폭증하는 전송용량을 경제적으로 수용할 수 있는 방안을 연구하였다. 또한, LTE-Advanced 이동통신망의 Fronthaul 구간을 RoF로 구현하기 위한 기술적인 요구사항을 연구하였다.

ABSTRACT

Since smart phones are widely used globally, the demand for high-speed mobile communications are increasing. To accommodate the increased communication demand, the next-generation mobile communication services such as LTE-Advanced are deployed. In the LTE-Advanced base stations, the base station schemes of Digital Unit (DU) and Radio Unit (RU) are widely used. Here, the link between DU and RU is called fronthaul link. In the current fronthaul link, a digital optical communication interface is used, which is called Common Public Radio Interface (CPRI). However, the CPRI link cannot support the increased mobile traffic efficiently. Therefore, in this paper, we investigate an alternative technology based on the Radio over Fiber (RoF) to accommodate the increased mobile traffic economically.

키워드

Radio over Fiber(RoF), LTE-Advanced, Common Public Radio Interface(CPRI), Optical Passive Network
Radio over Fiber(RoF), LTE-Advanced, Common Public Radio Interface(CPRI), 광가입자망

* 교신저자(corresponding author) : 경성대학교 전자공학과(sungman@ks.ac.kr)

접수일자 : 2014. 06. 10

심사(수정)일자 : 2014. 07. 21

게재확정일자 : 2014. 08. 11

1. 서론

최근 전세계적으로 스마트폰이 널리 보급되면서 이동통신망에서 데이터 통신의 수요가 폭증하고 있다 [1-4]. 이러한 데이터 통신수요를 맞추기 위하여 국내외의 이동통신 사업자들은 더 많은 이동통신 주파수를 확보하고, LTE-Advanced 와 같은 차세대 이동통신 서비스를 확대하고 있다. 이러한 LTE-Advanced 기지국을 구현함에 있어서 최근에는 그림 1과 같이 중앙처리부인 DU(digital unit)와 외부의 RU(radio unit)로 분리된 형상의 기지국을 많이 사용하고 있다[5-6]. 이렇게 DU와 RU로 분리된 형상의 기지국은 실내의 전화국사에 DU를 두고, 설치비용 및 임대비용이 많이 드는 외부에는 최소한의 RF 소자들만으로 구성된 소형의 RU를 설치하는 형태이다. 이렇게 DU와 RU로 분리된 형상의 이동통신 기지국에서 DU와 RU 사이를 연결하는 구간의 네트워크를 우리는 주로 이동통신망의 Fronthaul이라고 지칭하고 있다[7].

현재 이러한 Fronthaul 구간에는 디지털 광통신 기술이 적용된 CPRI(common public radio interface) 및 OBSAI(open base station architecture initiative)라는 표준기술이 쓰이고 있다. 하지만, 채널 당 수십 MHz의 대역폭을 가지고 최대 8x8 MIMO(multiple input multiple output)로 동작하는 LTE-Advanced 표준을 수용하기 위해서는 각 RU당 수 Gb/s 이상의 CPRI 링크가 수십 회선이 필요하다. 최근에는 Massive MIMO라는 개념으로 수십 개의 MIMO 안테나를 사용하여 빔포밍을 하는 기술도 활발히 연구 중에 있다[8]. 이러한 기술을 구현하려면, 엄청난 전송량의 CPRI 회선이 필요한데, 이를 디지털 광통신 기반의 CPRI 기술로는 수용하기에 한계가 있다.

따라서, 본 논문에서는 LTE-Advanced 이동통신 망에서 Fronthaul 구간을 아날로그 광통신 기술의 일종인 Radio over Fiber(RoF) 기술을 이용하여 구현하는 방안을 연구하였다. RoF 기술을 이용하면 이동통신의 무선 구간에 사용되는 OFDM(orthogonal frequency division multiplexing) 신호를 그대로 아날로그 형태로 전송하여 요구되는 전송량을 디지털 광통신 기반의 CPRI 기술에 비해 획기적으로 줄일 수 있다. 본 논문에서는 LTE-Advanced 이동통신 망에서 요구되는 Fronthaul 구간의 전송용량을 분석하고, 이를 RoF로 구

현하기 위한 요구사항을 분석하여 본 응용 시장에 뛰어 들고자 하는 RoF 전송 시스템의 개발목표를 설정하고자 한다.

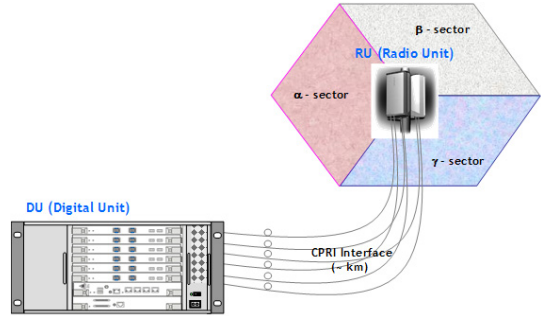


그림 1. DU와 RU로 구성된 LTE-advanced 기지국
Fig. 1 LTE-advanced base stations composed of DU and RU

II. LTE-Advanced Fronthaul 의 필요 전송용량 분석

표 1은 현재 국내의 이동통신 사업자들이 보유하고 있는 주파수 대역폭을 나타내고 있다. 사업자별로 보유한 주파수 대역폭이 조금씩 차이가 나지만, LTE-Advanced 서비스를 위하여 DL(downlink)과 UL(uplink)을 포함하여 최대 80 MHz의 주파수를 확보한 상태이다.

표 1. 국내 이동통신 사업자들의 주파수 대역폭 보유 현황

Table 1. Frequency bandwidths of mobile communication service providers

Mobile Service Provider	A	B	C
Total bandwidth (DL+UL)	60 MHz	70 MHz	80 MHz

이 중에서 가장 많은 대역폭을 가지고 있는 80 MHz로 보유하고 있는 사업자를 기준으로 3 섹터, 8x8 MIMO를 구현하는 하나의 LTE-Advanced RU당 Fronthaul 구간에 필요한 CPRI 용량을 계산하면 표 2와 같다. 표 2에서 계산한 바와 같이 LTE-Advanced

서비스를 위해서는 하나의 RU당 약 120 Gb/s의 엄청난 통신용량이 필요함을 알 수 있다. 만약, 이를 2.5 Gb/s의 광통신 회선으로 구현한다면, 총 48 회선이 필요한 엄청난 용량이다. 또한, 여러 개의 RU 를 하나의 링 형태의 망으로 연결하고 있는 기존의 이동통신망에서는 엄청난 부담이 아닐 수 없다. 여기에 여분의 백업 용 용량을 고려하면 실제 구현시 필요한 통신용량은 더 늘어날 것이다.

표 2. LTE-advanced 이동통신망 fronthaul 구간에 필요한 CPRI 용량
Table 2. Required CPRI traffic for LTE-advanced fronthaul link

Item	Value
Bandwidth of radio channel	20 MHz
Frequency allocation	2 ch.
Sampling rate for 20 MHz channel	30.72 MHz
IQ sample width	16 bits for I & Q
Line coding	8B/10B
MIMO antenna	8x8
Number of sectors	3 sectors
Required CPRI capacity for LTE-Advanced Fronthaul	$30.72 \text{ MHz} \times 16 \text{ bits} \times 2 \text{ (I \& Q)} \times 8 \text{ (MIMO)} \times 3 \text{ (sectors)} \times 2 \text{ (ch.s)} \times 5/4 \text{ (8B/10B coding)} \times 2 \text{ (DL \& UL)}$ = 117.96 Gb/s

III. Fronthaul 구간을 위한 RoF 시스템의 필요 전송용량

앞 절에서 보듯이 MIMO 안테나의 개수가 늘어나고 채널 대역폭이 늘어난 LTE-Advanced 서비스를 위해서는 엄청난 용량의 CPRI 회선이 필요함을 알 수 있다. 이러한 용량을 기존의 광통신망으로 수용하기에는 어려움이 많다. 따라서, 이를 아날로그 광통신 기술의 일종인 RoF를 이용하여 구현하고자 한다. 표1과 동일한

조건에서 LTE-Advanced의 Fronthaul 구간을 RoF 로 구현하였을 때 필요한 아날로그 통신용량을 계산하면 표 3과 같다.

RoF 시스템에서는 무선 구간의 아날로그 OFDM 신호를 그대로 보내므로, 무선 구간의 채널 숫자와 섹터 수, MIMO 안테나 수만이 곱해져서 최종적으로 96 개의 20 MHz 채널이 필요하다. 이를 단순히 산술적으로 계산하면 총 1920 MHz의 아날로그 채널이 된다. 하지만, 20 MHz 채널마다 이격거리가 필요하므로 실제로 구현할 때에는 이보다 더 많은 아날로그 채널 대역폭이 필요하다.

표 3. LTE-advanced 이동통신망 fronthaul 구간에 필요한 아날로그 RoF 통신용량
Table 3. Required RoF system for LTE-advanced fronthaul link

Item	Value
Bandwidth of radio channel	20 MHz
Frequency allocation	2 ch.
MIMO antenna	8x8
Number of sectors	3 sectors
Required analog channels for RoF system	$20 \text{ MHz} \times 8 \text{ (MIMO)} \times 3 \text{ (sectors)} \times 2 \text{ (ch.s)} \times 2 \text{ (DL \& UL)}$ = 96 * 20 MHz

기존의 이동통신에서 사용되는 CPRI 의 규격을 잘 모르는 연구자라면 표 3의 결과가 전부라고 생각하기 쉬우나, 실제로는 CPRI의 용량 중에 무선 구간의 OFDM 신호이외에 DU와 RU간에 필요한 제어채널이 있기 때문에 기존 시스템과의 호환을 위해서는 이러한 제어채널을 RoF 시스템에서도 보내주어야 한다. 이러한 제어채널은 아날로그 형태로 보내어줄 수 있는 것이 아니며, 디지털 통신의 형태로 보내주어야 한다.

기존의 CPRI 규격에서 CPRI 총 전송량의 1/16은 제어채널이다. 따라서, 표 2에서 계산한 값의 1/16인 7.37 Gb/s는 RoF 구현시에도 별도의 디지털 통신채널로 전송하여야 한다. 이를 요약하여 표 4에 나타내었다.

표 4. LTE-advanced 이동통신망 fronthaul 구간에 필요한 디지털 제어통신량

Table 4. Required digital control traffic for LTE-advanced fronthaul link

Item	Value
CPRI link traffic	117.96 Gb/s
Ratio of control channel in CPRI	1/16
Required digital control channels in RoF system	$117.96 \text{ Gb/s} * 1/16$ = 7.37 Gb/s

따라서, 최종적으로는 RoF 시스템에서 하나의 RU 당 표 3에서 계산된 96 개의 20 MHz 아날로그 채널과 표 4에서 계산된 7.37 Gb/s의 디지털 채널을 수용할 수 있어야 한다. 이 값들은 DL과 UL의 용량을 합해 놓은 것이기 때문에 한쪽방향으로는 위에서 계산한 값의 절반이 된다. 즉, DL이나 UL의 한쪽방향만을 고려한다면, 48 개의 20 MHz 아날로그 채널과 3.69 Gb/s의 디지털 채널을 수용할 수 있게 구현하여야 한다.

IV. LTE-Advanced 이동통신망의 Fronthaul 구간에 허용되는 EVM 값

Fronthaul 구간을 아날로그 통신기술인 RoF 로 구현할 때에 문제가 되는 것은 아날로그 통신신호의 품질이 되겠다. OFDM 신호에서 신호의 품질을 나타내는 가장 중요한 척도는 EVM (error vector magnitude) 이다. LTE관련 통신표준을 정하는 단체인 3GPP(3rd generation partnership project)에서 정한 LTE-Advanced 표준에서는 64 QAM(quadrature amplitude modulation) 신호에 대해 DU에서부터 무선 구간에 도달할 때까지 총 8 %의 EVM을 허용치로 정하고 있다. 하지만, 이는 CPRI 구간만의 EVM 허용치가 아니라, digital IF combining, crest factor reduction, 디지털 predistortion, RF up conversion, 파워 증폭기의 왜곡 등 RU에서 발생하는 모든 왜곡을 포함한 EVM 허용치이다. 따라서, 일부 연구자들이 오해하고 있는 것처럼 LTE-Advanced 표준에서 8 %의 EVM 허용치를 정하고 있다고 하더라도 RoF 시스템에서 8 %의 허용치를 모두 사용할 수 있는 것은 아니다.

만약, CPRI 용량을 줄일 수 있는 기술측면에서 RoF 시스템과 경쟁관계에 있는 CPRI 압축기술과 비교를 해본다면, 40 % 정도의 압축률에서 1.5 % 정도의 EVM을 보이고 있다[9]. 따라서, CPRI 압축기술과 비교우위를 보이려면 이 정도의 EVM 값을 가지는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 아날로그 광통신망에서 비선형성을 줄이는 것이 어려움을 감안한다면 2 %의 EVM 허용치가 적당할 것으로 판단된다.

V. 결론

본 논문에서는 LTE-Advanced 이동통신망에서 Fronthaul 에 필요한 통신용량을 분석하여 기존의 CPRI 규격으로는 하나의 RU 당 약 120 Gb/s에 해당하는 막대한 통신용량이 필요함을 밝혀내었다. 따라서, 이를 경제적으로 구현하기 위하여 아날로그 광통신 기술인 RoF 를 이용하여 구현하는 방안이 필요하다. LTE-Advanced 의 Fronthaul 을 RoF 로 구현하기 위해서는 총 96 개의 20 MHz 아날로그 채널용량이 필요하고, 여기에 디지털 제어채널이 총 7.37 Gb/s가 필요하다. 이 값들은 DL 과 UL 을 모두 포함한 용량이므로 한쪽 방향으로 이의 절반이 필요하다. 여기에 여분의 용량을 고려해야 RoF 시스템에 필요한 총 전송용량이 될 것이다. 그리고, 아날로그 채널의 허용 EVM 값은 CPRI 압축기술과 비교를 해본다면 2 % 정도의 값이 적당할 것으로 판단된다.

본 논문에서 연구한 내용은 LTE-Advanced 이동통신망의 Fronthaul을 RoF 시스템으로 구현하고자 하는 연구자들에게 중요한 지침이 될 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2014학년도 경성대학교 학술연구비지원에 의하여 연구되었음.

References

- [1] S.-M. Kim, "A new RF-path calibration method for BSs with repeaters," *J. of the Korea Institute of*

Electronic Communication Sciences, vol. 6, no. 2, Apr. 2011, pp. 274-279.

- [2] J.-H. Yoon, "Design of circular ring antenna with half-circular strip for WLAN/WiMAX applications," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 4, Apr. 2014, pp. 417-424.
- [3] J.-M. Kim, J.-I. Kim, J.-S. Kim, and G.-R. Kwon, "Public bicycle system using smart phone," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 6, June 2014, pp. 727-732.
- [4] S.-U. Kim, "An image denoising algorithm for the mobile phone cameras," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 5, May 2014, pp. 601-608.
- [5] S.-M. Kim, "Limits of digital unit-remote radio unit distance and cell coverage induced by time division duplex profile in mobile WiMAX systems," *Int. J. of Communication Systems*, vol. 26, no. 2, Feb. 2013, pp. 250-258.
- [6] S.-M. Kim, "Limit Analysis of the distance between DU and RU in 4G FDD mobile communication systems," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 1, Feb. 2012, pp. 135-139.
- [7] S.-H. Cho, H. Park, H. Chung, K. Doo, S. Lee, and J. Lee, "Cost-effective next generation mobile fronthaul architecture with multi-IF carrier transmission scheme," In *Proc. Optical Fiber Communication Conf. (OFC 2014)*, San Francisco, USA, Mar. 2014, paper Tu2B.6.
- [8] K. T. Truong and R. W. Heath Jr., "Effects of channel aging in massive MIMO systems," *J. of communications and networks*, vol. 15, no. 4, Aug. 2013, pp. 338-351.
- [9] Bin Guo, Wei Cao, An Tao, and Dragan Samardzija, "LTE/LTE-A Signal Compression on the CPRI Interface," *Bell Labs Technical J.*, vol. 18, no. 2, Sept. 2013, pp. 117-133.

저자 소개



김성만(Sung-Man Kim)

1999년 KAIST 전기 및 전자공학과 공학사

2001년 KAIST 전기 및 전자공학과 공학석사

2006년 KAIST 전기 및 전자공학과 공학박사

2006년~2009년 삼성전자 정보통신총괄 책임연구원

2009년~현재 경성대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 광통신, LED 무선 광통신, 이동통신, 광에너지 전송