
FDD 방식의 4G 이동통신 기지국에서 DU와 RU간 한계거리 분석

김성만*

Limit Analysis of the Distance between DU and RU in 4G FDD Mobile Communication Systems

Sung-Man Kim *

요 약

LTE (long-term evolution) 를 비롯한 4G 이동통신 기지국 시스템에 있어서 최근에 DU(digital unit)와 RU(radio unit) 로 분리된 형상의 기지국들이 많이 등장하고 있다. 이러한 형태의 기지국에서 DU 는 전화국 사에 설치하고 RU 는 옥외에 설치하는 형태로서, DU와 RU 간의 분리 가능한 거리는 이동통신 망 설계를 하는데 있어서 매우 중요한 요소가 된다. 하지만, DU와 RU 간 허용거리는 이동통신의 물리계층 기술에 의해 제약을 받을 수 있다. 본 논문에서는 FDD (frequency division duplexing) 기반의 4G 이동통신 시스템에서 Closed-Loop MIMO (multiple input multiple output) 기술에 의해 제한되는 DU와 RU 간 한계거리에 대해 분석하였다. DU와 RU 간 한계거리는 이동통신 시스템의 동작 주파수에 따라 다른 결과를 나타내며, 2 GHz 의 동작주파수를 가정할 경우에는 약 11 km의 한계거리를 가지는 것으로 분석되었다.

ABSTRACT

A majority of 4G Mobile communication manufacturers have launched separated-type base stations composed of DU (digital unit) and RU (ratio unit). DUs are usually installed in the central office, while RUs with antennas are installed on the top of building or pole. Therefore, the allowable distance between DU and RU is very important for cell planning. In this paper, we analyze the allowable distance between DU and RU induced by closed-loop MIMO (multiple input multiple output) technology in 4G FDD (frequency division duplexing) mobile communication systems. In conclusion, the distance limit between DU and RU is dependent on the frequency of the wireless communication, and the allowable distance is about 11 km when assuming the operating frequency is 2 GHz.

키워드

CPRI, FDD, Digital unit, Radio unit, Distance limit, Mobile communications

CPRI, FDD, 이동통신 기지국, 한계거리, 디지털 유닛, 라디오 유닛

1. 서 론

최근 스마트 폰이 널리 보급되고 관련 서비스가 활

성화 됨에 따라 사용자의 무선 데이터 전송 요구량이
폭증하고 있다 [1-3]. 이에 따라 기존의 이동통신 기술
보다 한층 더 빠른 데이터 전송속도를 자랑하는 LTE

* 경성대학교 전자공학과 (sungman@ks.ac.kr).

접수일자 : 2011. 12. 13

심사(수정)일자 : 2011. 12. 24

게재확정일자 : 2012 01. 25

(long-term evolution) 기술이 국내를 비롯하여 전 세계적으로 상용서비스가 시작되었다 [4]. 한편, ITU-T는 LTE 기술의 차세대 버전인 LTE-Advanced와 WiMAX 표준기술의 차세대 버전인 Mobile WiMAX evolution을 4G 이동통신 표준 기술로 채택한 바가 있다.

이러한 이동통신 기지국에 있어서 최근에 <그림 1>과 같이 DU(digital unit)와 RU(radio unit)로 분리된 형태의 기지국이 많이 등장하고 있다 [5]. 이렇게 DU와 RU로 분리된 형태의 기지국은 전화국사에 DU를 두고, 설치비용 및 임대비용이 많이 드는 외부에는 최소한의 RF 소자들로 구성된 RU를 설치하는 형태이다. 이렇게 DU와 RU로 분리된 형태의 이동통신 기지국에서 DU와 RU 사이를 연결하는 인터페이스로는 CPRI(common public radio interface)라는 표준이 널리 쓰이고 있다 [6].

이러한 구조의 기지국에서 DU와 RU 간의 허용거리는 이동통신 기지국 망을 배치하는데 있어서 매우 중요한 요소이다. DU와 RU 간의 거리를 마음대로 늘릴 수 있다면, 하나의 전화국사에서 수용할 수 있는 RU 셀의 개수가 늘어날 수 있으며, 이는 경제적으로 이동통신 망을 운용할 수 있는 장점을 가져오게 된다. 하지만, DU와 RU간의 거리는 무한정 늘릴 수 있는 것이 아니며, 이동통신의 물리계층 기술에 따라 제한을 받을 수 있다. 따라서, DU와 RU간의 허용거리를 분석하는 일은 4G 이동통신망의 셀 배치 계획을 세우는데 있어 매우 중요한 일이다.

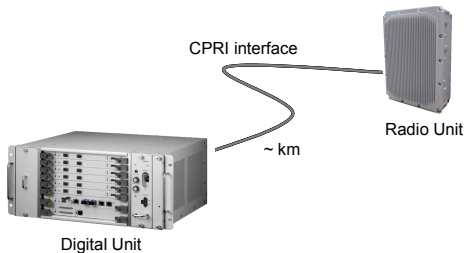


그림 1. DU와 RU로 구성된 이동통신 기지국
Fig. 1 Base Station composed of DU and RU

우리는 이미 본 연구의 중요성을 파악하여 TDD(time division duplexing) 방식의 이동통신 기지국에서 DU와 RU 간의 허용거리에 대해 이론적인 분석을 수행

한 바가 있다 [7]. 하지만, LTE 서비스의 대부분을 차지하는 FDD(frequency division duplexing) 방식의 이동통신 기지국에서는 이러한 연구가 이루어진 바가 없다. 따라서, 본 논문에서는 FDD 방식의 이동통신 기지국에서 DU와 RU간의 한계 허용거리에 대해 이론적인 분석을 수행하고자 한다.

II. Closed-Loop MIMO 기술로 인한 이동통신망의 조건

4G 이동통신 물리계층의 기술 중에 Closed-Loop MIMO(multiple input multiple output)라는 기술이 있다. Closed-Loop MIMO 기술은 일종의 MIMO 기술로서, 송신단이 무선 구간의 채널 상태를 미리 파악하고 이를 이용하여 송신단에서 미리 무선 채널 상태를 이용한 pre processing을 하여 성능을 높이는 기술로서, LTE 및 LTE-Advanced에도 이 기술이 적용되어 있다. 특히, FDD 방식에서는 무선 구간에서 DL(downlink)과 UL(uplink)의 동작 주파수가 다르므로 단말기는 code book이라고 불리는 약속된 표를 이용하여 현재 채널 상태에 대한 pre processing 행렬 정보를 짧은 코드(수 bits)를 이용하여 UL 신호에 함께 실어 보내고, 기지국의 모뎀은 이 정보를 수신하여 Closed-Loop MIMO를 수행하게 된다.

하지만, 이러한 Closed-Loop MIMO를 성공적으로 수행하기 위해서는 단말기가 무선 구간에 대한 채널 정보를 기지국으로 송신한 후에 다시 Closed-Loop MIMO 기술이 적용된 신호를 수신할 때까지 무선 구간의 채널 상태가 변하지 않아야 하는 시간적인 조건이 뒤따르게 된다.

MIMO 단말기에서 안테나 이격거리에 따른 두 신호의 상관계수(correlation coefficient)를 연구한 이전의 결과들을 살펴보면 [8, 9], 채널 조건에 따라 $0.3\lambda \sim 0.5\lambda$ 만큼 안테나가 떨어져 있으면 수신신호의 상관계수가 거의 0에 가까워지는 것을 알 수 있다 (λ 는 주파수의 파장). 즉, 바꾸어 말하면, 단말기가 공간상에서 $0.3\lambda \sim 0.5\lambda$ 만큼 이동하면, 채널 상태가 완전히 바뀌는 것을 뜻한다.

따라서, 본 논문에서는 채널 상태가 유지되는(수치적으로 말하면, 상관계수가 0.9를 넘는) 조건은 공간상

에서 0.3λ 의 1/10 인 0.03λ 범위 내라고 가정하였다. 또한, 단말기의 최고 이동속도를 120 km/h 로 가정하면, 이 속도로 0.03λ 만큼 이동하기 전까지 통신신호가 단말기부터 기지국의 모뎀단까지 왕복해야 함을 뜻한다. 본 논문에서 가정한 수치적 값을 정리하여 <표 1>에 나타내었다.

표 1. 본 논문에서 가정한 값
Table 1. Assumed Values in this paper

항목	값
공간상에서 채널 상태가 유지되는 거리	0.03λ
단말의 최대 이동속도	120 km/h

III. DU와 RU간 한계허용거리

LTE-Advanced 서비스의 동작 주파수를 2 GHz 로 가정하면, 그 파장 $\lambda = 0.15$ m 이므로, 0.03λ 는 0.0045 m 에 해당한다. 이 거리를 120 km/h (= 33.3 m/s) 속도로 이동하는데 걸리는 시간은 $0.0045 \text{ m} / 33.3 \text{ m/s} = 0.14 \text{ ms}$ 이다. 이 시간동안 무선 데이터는 단말과 DU 사이를 왕복해야 한다. 이를 정리하여 <표 2>에 나타내었다.

즉, 단말기부터 DU의 모뎀사이를 <표 2>에서 나타낸 T_r 시간 이내에 왕복해야 한다. <그림 2>와 같은 시스템에서 이러한 왕복시간 조건을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$2 \times \left(D_{DU} + D_{RU} + \frac{L_{DU-RU}}{2 \times 10^5} + \frac{R}{3 \times 10^5} \right) < T_r \tag{1}$$

표 2. 단말기와 DU 사이의 왕복 요구시간
Table 2. Required round-trip time between mobile station and DU

항목	값
LTE-Advanced 서비스 동작주파수	2 GHz (= f)
공간상에서 채널 상태가 유지되는 거리	0.0045 m (= $C / f * 0.03$)
단말의 최대 이동속도	120 km/h = 33.3 m/s

단말기에서 DU 까지의 왕복 요구시간 (T_r)	$0.0045 \text{ m} / 33.3 \text{ m/s} = 0.14 \text{ ms}$ (= $C / f * 0.03 / 33.3$)
--------------------------------	---

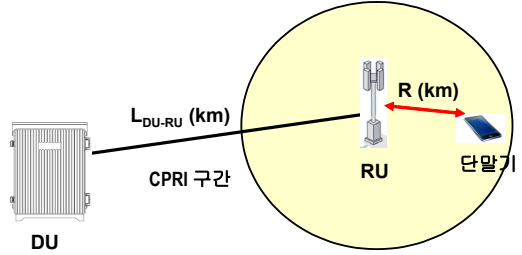


그림 2. DU와 RU로 구성된 기지국의 한계허용거리
Fig. 2 Distance limit of base station composed of DU and RU

수식(1)에서 T_r 은 DU와 단말사이를 왕복해야 하는 요구 시간이며, D_{DU} 는 DU에서 발생하는 지연 (모뎀에서의 processing delay 포함), D_{RU} 는 RU에서 발생하는 지연, L_{DU-RU} 는 DU 와 RU 간 최대 허용거리 (km), R 은 RU에서 단말까지의 거리, 2×10^5 은 광섬유에서의 빛의 속도 (km/s) 를 나타낸다.

우리가 관심이 있는 것은 DU와 RU간 최대 허용거리인 L_{DU-RU} 이므로 수식(1)을 L_{DU-RU} 위주로 수식을 변형하면 수식(2) 와 같이 된다. 이 수식이 DU와 RU간 최대 허용거리를 나타낸 식이 된다.

$$L_{DU-RU} < \left(\frac{T_r}{2} - D_{DU} - D_{RU} - \frac{R}{3 \times 10^5} \right) \times 2 \times 10^5 \tag{2}$$

이 수식의 이론적인 최대 한계치는 DU 및 RU 에서 발생하는 지연인 D_{DU} 및 D_{RU} 가 모두 0 이고, R 이 0 인 경우이므로 이를 표현하면 수식(3)처럼 된다.

$$L_{DU-RU} < \left(\frac{T_r}{2} - D_{DU} - D_{RU} - \frac{R}{3 \times 10^5} \right) \times 2 \times 10^5 < T_r \times 10^5 \text{ km} \tag{3}$$

한편, <표 2>에서 단말기에서 DU 까지의 왕복 요구 시간 T_r 은 다음과 같이 동작주파수 f 의 함수로 나타낼 수 있다.

$$T_r = \frac{C}{f} \times 0.03 \times \frac{1}{33.3} \quad (4)$$

여기에서 C 는 빛의 속도인 3×10^8 m/s 를 나타낸다. 수식(4)를 수식(3)에 대입하면 이론적인 최대 한계치는 최종적으로 다음과 같이 동작주파수의 함수로 나타낼 수 있다.

$$L_{DU-RU} < \frac{C}{f} \times \frac{1}{11.1} \times 10^3 \text{ km} \quad (5)$$

즉, DU와 RU간의 이론적인 최대 한계거리는 수식(5)와 같이 나타낼 수 있으며, 실제적인 여러 지연 요소를 고려하면 수식(2) 와 같이 표현된다.

<표 2>의 경우처럼 동작주파수가 2 GHz 인 경우에는 식(5)를 이용하여 계산하면 DU와 RU간의 이론적인 최대 한계거리는 14 km 가 된다. 여기에 실질적인 지연 요소를 고려한 한계 허용거리를 계산한 예는 <표 3>에 나타내었다.

표 3. DU와 RU간 허용거리 계산 예
Table 3. Calculation of the distance limit between DU and RU

항목	값
R (셀 반경)	1 km
DU 에서 발생하는 지연, D_{DU}	5 μ s
RU 에서 발생하는 지연, D_{RU}	10 μ s
DU 와 RU 간 최대 허용거리, L_{DU-RU}	$((70 - 5 - 10) \times 10^{-6} - 1/3 \times 10^5) \times 2 \times 10^5 = 10.3 \text{ km}$

<표 3>에서 알 수 있듯이 실제 지연요소를 고려하여 계산하면 DU와 RU 간 가능한 허용거리는 11 km 가 채 되지 않는 것을 알 수 있다.

한편, LTE-Advanced 의 동작 주파수를 변경하면 DU 와 RU 간의 한계거리의 값도 달라지므로, 동작 주파수에 따른 DU와 RU 간의 이론적인 한계거리 및 실

제 지연요소를 고려한 한계거리를 <그림 3>과 같이 그래프로 정리하였다.

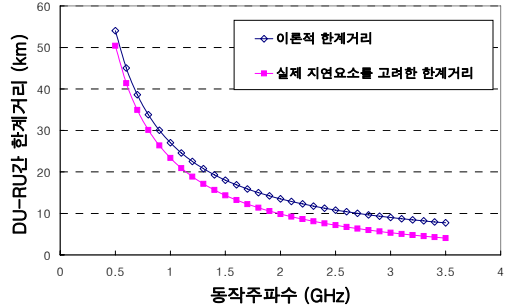


그림 3. 동작주파수에 따른 DU-RU 간 한계허용거리
Fig. 3 Distance limit between DU and RU as a function of operating frequency

표 4. 몇 가지 동작주파수에 대한 DU-RU 간 한계허용거리

Table 4. Distance limit between DU and RU at several operating frequencies

동작주파수	이론적인 DU-RU 최대 한계거리 (식(3))	실제 지연요소를 고려한 DU-RU 한계거리 (식(2))
800 MHz	34 km	30 km
1 GHz	27 km	23 km
2 GHz	14 km	10 km

몇 가지 중요한 동작 주파수 경우에 대한 DU-RU 간 한계 허용거리는 별도로 <표 4>에 정리하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 DU와 RU로 분리된 형태의 기지국에서 Closed-Loop MIMO 기술이 제대로 동작하기 위해서 발생하는 DU와 RU 간의 한계거리에 대한 분석을 하였다. 분석결과 이동통신 서비스의 동작 주파수에 따라 한계거리가 달라지는 결과를 보였으며, 국내에서

LTE 서비스를 하고 있는 800 MHz 및 2 GHz (실제로는 1.8 GHz) 주파수 부근에서는 각각 30 km 및 10 km의 한계거리를 보였다. 이러한 결과는 공간상에서 채널이 유지되는 거리를 0.03λ 로 가정하고, 단말의 최대 이동속도를 120 km/h 로 가정했을 때의 결과이다. 만약, 이러한 가정값을 변경하려면, 본 논문에서 제시한 방법 및 수식을 그대로 이용하여 새로운 결과값을 얻을 수 있다.

본 논문의 결과는 주로 FDD 방식을 채택하고 있는 3GPP LTE 및 LTE-Advanced 이동통신망에서 DU와 RU 간의 한계거리를 구하는데 유용하게 쓰일 것으로 생각되며, DU와 RU 로 이루어진 기지국을 이용하여 서비스를 운영하는 이동통신 사업자에게 유용한 정보가 될 것이다.

감사의 글

이 논문은 2011학년도 경성대학교 학술연구비지원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

[1] 김성만, "중계기가 연결된 빔포밍 기지국을 위한 새로운 RF-패스 보정절차 방법", 한국전자통신학회논문지, 6권, 2호, pp. 274-279, 2011.

[2] 강명구, "W-CDMA 통신 시스템에서 새로운 룩코드 MMSE 검파기 구성 및 성능 분석", 한국전자통신학회논문지, 6권, 2호, pp. 163-170, 2011.

[3] 김송민, 송진호, "초고속 무선통신에 적용 가능한 소형화된 UWB BPF 설계", 한국전자통신학회논문지, 5권, 6호, pp. 620-624, 2010.

[4] 고영조, 이경석, 서방원, 노태균, "LTE-Advanced 표준 기술 동향", 전자파기술, 21권, 2호, pp. 9-23, March 2010.

[5] 김성만, "DU-RU 형태의 Mobile WiMAX 기지국에서 DU-RU 간 거리 및 Cell 반경의 한계에 관한 연구", 한국통신학회 2011년도 동계종합학술발표회, paper 6C-60, Feb. 2011.

[6] Common Public Radio Interface (CPRI); Interface Specification, ver 4.2, 2010.

[7] Sung-Man Kim, "Limits of digital unit-remote radio unit distance and cell coverage induced by time division duplex profile in mobile WiMAX systems", International Journal of

Communication Systems, early view version, DOI: 10.1002/dac.1356, Oct. 2011.

[8] 김상근, 오이석, "실내 채널 환경에서 MIMO 시스템의 안테나 이격거리에 따른 채널 용량 분석", 한국전자파학회논문지, 17권, 11호, pp.1058-1064, 2006.

[9] N. Ebrahimi-Tofighi, M. ArdebiliPour, and M. Shahabadi, "Receive and Transmit Array Antenna Spacing and Their Effect on the Performance of SIMO and MIMO Systems by using an RCS Channel Model", World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol. 36, pp.1-5, 2007.

저자 소개



김성만(Sung-Man Kim)

1999년 KAIST 전기및전자공학과 졸업 (공학사)
 2001년 KAIST 전자전산학과 졸업 (공학석사)

2006년 KAIST 전자전산학과 졸업 (공학박사)
 2006년~2009년 삼성전자 정보통신총괄 책임연구원
 2009년~현재 경성대학교 전자공학과 교수
 ※ 관심분야 : LED 무선 광통신, 이동통신, 광통신, 광에너지