

논문 2012-49TC-5-14

LTE 이동 단말의 MIMO 무선 성능과 Hand effect

(Human Hand Effect on The MIMO OTA Performance of LTE Mobile Handset)

조 용 상*, 김 영 렬*, 노 승 표*, 심 혜 정*, 김 인 경**

(Y.S Cho, Y.R Kim, S.P Noh, H.J. Shim, and I.K. Kim)

요 약

최근 국내외 주요 이동통신 사업자들이 본격적으로 4G 무선표준 방식인 LTE (Long Term Evolution) 서비스를 시작 하면서 LTE 방식을 지원하는 이동단말의 MIMO (Multi Input-Multi Output) OTA (Over The Air) 성능 평가 방법의 필요성이 중요해 지고 있다. 본 논문에서는 3GPP (3rd Generation Partnership Project)에서 논의되고 있는 MIMO OTA 시스템에서의 LTE 이동 단말기의 핸드 효과에 의한 안테나의 특성변화를 이론 및 실험적으로 검증하였다. 핸드 효과에 의한 LTE 이동 단말기의 성능은 MIMO OTA 시스템에서의 LTE PDSCH throughput 비교를 통해 link level에서 확인하였다.

Abstract

Since the major cellular data service providers in U.S, Japan as well as in Korea started the LTE (Long Term Evolution) service, there has been more strong need for the methods that can accurately measure the MIMO (Multi Input-Multi Output) OTA (Over The Air) performance of LTE handsets because the performance of the MIMO antenna determines the data throughput in the downlink. In this paper, the hand effect on the MIMO antenna performance is analyzed by numerically and experimentally. The hand effect on the LTE mobile handset is analyzed by measuring the link level performance in the MIMO OTA system.

Keywords : MIMO, OTA, LTE, ECC, Correlation, Channel model

I. 서 론

다중 안테나를 포함하는 LTE 단말기의 무선 성능에 영향을 주는 요소는 안테나의 efficiency, correlation 특성, baseband chip의 MIMO channel estimator 성능, channel환경 등에 의해 복합적으로 영향을 받는다. 이러한 단말의 MIMO 수신 성능에 대한 종합적인 평가는 주로 실제 서비스 망이 구축된 필드환경에서 가능하므로 다중 안테나 방식을 지원하는 이동 단말의 무선 성능 평가를 위해서는 많은 비용과 시간이 필요하다.

실험실 환경에서 앞서 언급한 요소들을 모두 고려하

여 다중 안테나를 포함하는 단말의 성능평가가 가능하고 정량화될 수 있다면 많은 시간과 비용을 절감함과 동시에 단말의 성능 최적화를 위한 안테나 개발 환경 및 검증 환경을 제공할 수 있을 것이다.

MIMO 방식을 지원하는 이동 단말의 성능 평가방법에 대한 필요성이 중요해 짐에 따라 지난 2008년부터 MIMO OTA testing methodology에 대한 연구 결과들이 research forum과 standardization forum에서 제안되어 논의되고 있다. 대표적으로 European Cooperation in Science and Technology (COST) COST2100의 뒤를 이을 IC1004가 있으며^[1], 3GPP RAN4 working item으로서 MIMO OTA methodology에 대한 논의가 활발히 진행되고 있고^[2], CTIA에서도 동일한 논의가 진행되고 있다^[3]. 주요 그룹들에서 공통적으로 논의되고 있는

* 정회원, ** 정회원-교신저자, LG전자
(LG Electronics)

접수일자: 2012년3월28일, 수정완료일: 2012년5월12일

MIMO OTA methodology중 하나인 “Anechoic chamber with multiple probe antenna” 방법^[4]은 외부에 연결된 fading emulator로 pre-faded MIMO OTA 신호를 생성하여 anechoic chamber내의 다수의 probe 안테나를 통해 spatial fading 환경을 구현한다. 이러한 방식의 MIMO OTA system은 3GPP SCM(E)^[5], WINNER^[6] 및 IMT-Advanced^[7] 등의 geometrical channel model을 기반으로 space-temporal fading channel을 anechoic chamber 중앙에서 실현함으로써 단말의 MIMO 안테나 성능과 수신기의 MIMO 디코딩 성능을 동시에 평가할 수 있도록 제안되었다.

본 논문에서는 MIMO OTA system에서의 LTE 이동 단말의 PDSCH 데이터 전송 속도를 실험적으로 검증하였으며 핸드 팬텀을 이용하여 핸드 효과가 LTE 이동 단말의 PDSCH 데이터 전송속도에 미치는 영향을 측정 데이터를 기반으로 분석하였다.

제 II장에서는 5 종류의 700 MHz대역에서 동작하는 DUT (Device Under Test)를 선정하여 이들에 대한 안테나 별 이득 특성과 안테나 간의 correlation 특성에 대하여 논하였고 제III장에서는 제 II장에서 논의 한 5 종류의 DUT를 이용하여 hand effect가 안테나의 correlation 특성과 PDSCH 데이터 전송 속도에 미치는 영향에 미치는 영향을 MIMO OTA system을 이용하여 검증하였고, 마지막으로 제 IV장에서는 결론을 맺는다.

II. LTE 이동 단말 안테나의 Gain 및 cross-correlation 특성

1. LTE DUT의 안테나 특성 및 시험 환경

본 절에서는 선정된 LTE 이동 단말기 5종류에 대한 안테나 파라미터와 측정 방법 및 안테나 측정 환경에 대하여 요약하였다. DUT는 본 연구를 목적으로 안테나 특성을 임의로 변경하여 그림 1과 같이 DUT의 안테나 위치와 이득 특성, 안테나의 correlation 특성을 요약하여 나타내었다. 선정된 DUT의 안테나 배치는 공통적으로 ANT1이 하단에 위치하고 ANT2가 상단에 배치되었으며 그림 1의 표와 같은 특성을 갖는다. 안테나 이득은 일반적인 3D anechoic chamber에서 far-field Radated Field Pattern (RFP)를 그림 2 (a)와 같이 Azimuth 면의 2D gain만을 고려하여 측정 하였다. 실제 사용 시나리오 및 핸드 팬텀에 거치하는 경우와 일

	DUT 1		DUT 2		DUT 3		DUT 4		DUT 5	
Antenna locations										
Gain (dB)	ANT1	ANT2	ANT1	ANT2	ANT1	ANT2	ANT1	ANT2	ANT1	ANT2
ρ_{avg}	-10.7	-8.1	-9.1	-12.7	-4.3	-11.1	-5.8	-8.8	-9.4	-7.6
	0.87		0.78		0.41		0.65		0.37	

그림 1. DUT 1~5에 대한 안테나 배치 구조 및 이득 특성

Fig. 1. Antenna configuration and placement information for DUT 1~5 and relevant gain characteristics.

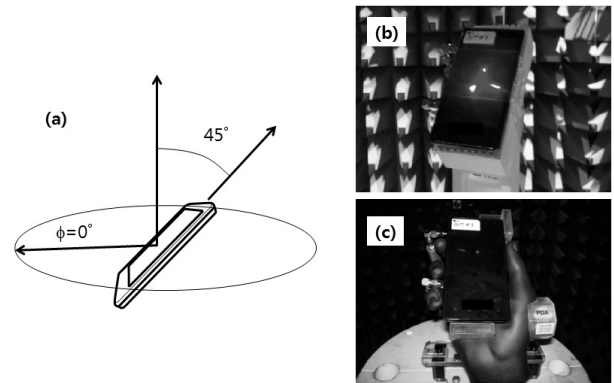


그림 2. 안테나 특성 측정을 위한 DUT 설치 조건 (a) Free space상태에서 2D RFP 특성을 측정하기 위한 DUT의 방향 (b) Free space 조건으로 설치한 상태 (c) CTIA 표준 PDA 핸드 팬텀에 설치 상태

Fig. 2. DUT install condition for antenna performance measurements (a) DUT orientation for 2D RFP measurement (b) mounted on a JIG for free space condition (c) mounted on a PDA hand phantom compliant with CTIA standards.

관된 시험 조건을 고려하여 단말기의 기준 방향은 그림 2 (a)와 같이 $\theta=0^\circ$ 축으로부터 45° 기울인 상태에서 측정 되었다. 핸드 효과를 실험적으로 확인하기 위해 그림 2 (b), (c)와 같이 각각 자유 공간 상태와 핸드 팬텀에 거치한 상태에서의 안테나 이득의 변화, 안테나 간의 correlation 변화에 대한 이론 및 실험적 분석을 수행하였으며 최종적으로는 MIMO OTA system을 이용한 LTE Physical Downlink Shared Channel (PDSCH) throughput 비교 시험을 통해 핸드 효과를 확인하였다.

2. LTE 단말의 Cross-correlation 특성

LTE 이동 단말의 cross-correlation 특성, ρ_{12} 은 일반

적으로 안테나의 far-field RFP을 이용하여 다음의 식 (1)로부터 얻을 수 있다^[8].

$$\rho_{12} = \frac{\int F_1(\Omega)F_2^*(\Omega)P_L(\Omega)d\Omega}{\sqrt{\int |F_1(\Omega)|^2P_L(\Omega)d\Omega \cdot \int |F_2(\Omega)|^2P_L(\Omega)d\Omega}} \quad (1)$$

$$P_L(\phi) = \sum_{k=1}^{N_c} \frac{Q_{L,k}}{\sigma_{L,k}\sqrt{2}} e^{[-\sqrt{2}|\phi - \phi_{0,k}|/\sigma_{L,k}]} \quad (2)$$

식 (1)로부터 얻은 ρ_{12} 는 anechoic chamber에서 측정된 안테나의 far-field RFP F_1, F_2 가 반영되어 안테나 측정 조건에 따라 cpl 효과가 반영 될 수 있다. 또한 일반적으로 안테나 correlation 계산에 광범위 하게 사용되는 2D-Uniform PAS (Power Azimuth Spectrum) 펄드 분포 함수 대신 식 (2)와 같이 Laplacian^[9]를 적용한다면 주어진 PAS모델의 형태와 조건에 따라 안테나 correlation이 어떻게 영향을 받는지 분석할 수 있다.

본 절에서는 현재 3GPP RAN4 MIMO OTA system 검증에 사용되고 있는 round-robin channel model^[10] 중 SCME Urban Macro (SCME UMa) channel에 정의된 parameter들을 기반으로 PAS를 정의하고 이를 기반으로 그림 1에 설명된 5 종류의 DUT에 대한 correlation 특성을 분석하였다.

그림 3에는 ρ_{12} 을 얻기 위해 사용된 PAS 모델을 Azimuth면상에 나타내었다. SCME UMa 시나리오에 해당되는 PAS는 식 (2)에서 $N_c=6$ 인 경우로서 그림3에서와 같이 6개의 cluster에 의한 composite Laplacian PAS 형태를 갖는다. 6개의 cluster들의 angular spread는 모두 $\sigma=35^\circ$ 로 동일하고 서로 다른 Angle of Arrival (AoA)과 power를 갖는다^[10].

측정 데이터에 기반 한 안테나의 correlation 값은 안테나의 RFP측정 시 cpl효과를 포함하도록 두 개의 안테나를 동시에 위치시킨 상태에서 얻어진 RFP 데이터를 식 (1)에 적용하여 얻어질 수 있다. 이러한 방법으로 그림 4에 각 DUT별 안테나들의 RFP를 식 (1-2)에 적용하여 DUT별 ρ_{12} 결과를 나타내었다. 기준 데이터 확보를 위해 다이폴 안테나의 특성도 포함하였다. 기준이 되는 다이폴 안테나 데이터는 두 안테나 간의 이격거리가 $\Delta_l=\lambda/4$ 인 조건에서 확보된 측정 결과이다. 그림 4의 결과에서 $\rho_{12} > 0.7$ 인 비교적 높은 correlation 특성을 갖는 DUT 1, 2의 경우 AoA offset에 따라 ρ_{12} 변화도가 매우 작으나 $\rho_{12} < 0.5$ 특성을 보이는 DUT 3, 5의 경우

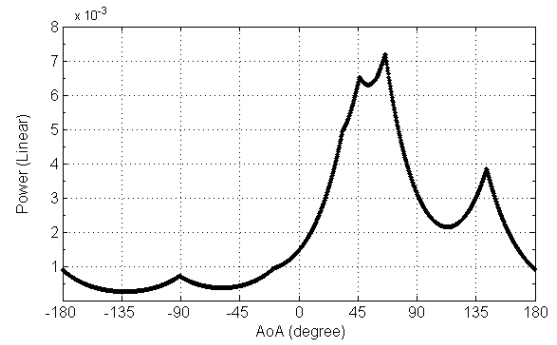


그림 3. ρ_{12} 을 구하기 위한 Power Azimuth Spectrum (PAS)

Fig. 3. Power Azimuth Spectrum (PAS) model to be applied for ρ_{12} calculation.

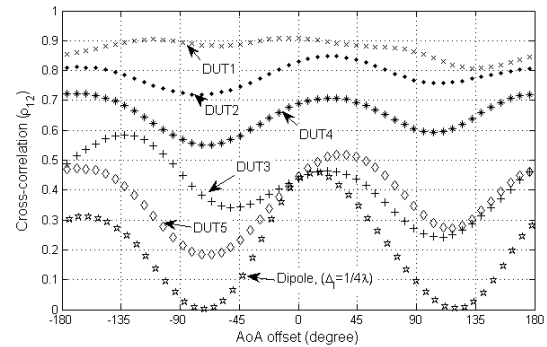


그림 4. DUT별 측정된 RFP로부터 얻은 ρ_{12} 특성의 AoA 변화에 따른 경향

Fig. 4. ρ_{12} characteristics against AoA offset, obtained from the measured RFP for each DUT.

AoA offset에 따라 ρ_{12} 변화의 폭이 최대 0.3으로 크게 증가함을 알 수 있다. 이러한 경향은 다이폴 안테나의 경우 더욱 두드러진다. 따라서 다음 절에서는 DUT별 안테나 correlation 특성을 AoA offset에 대한 ρ_{12} 의 평균값으로 정의하여 MIMO OTA system에서 측정된 결과와 비교하였다.

III. MIMO OTA system을 이용한 LTE 단말의 correlation 특성 및 핸드 효과의 분석

1. 핸드 효과에 의한 안테나 이득 및 correlation 변화

MIMO OTA system은 Azimuth plane상에 probe용 OTA 안테나를 균일한 각도 간격으로 그림 5와 같이 ring의 형태로 배열시키고 이들 probe용 OTA 안테나를 이용하여 2D Laplacian PAS를 생성시킬 수 있다. Anechoic chamber 내에는 8개의 probe용 OTA 안테나

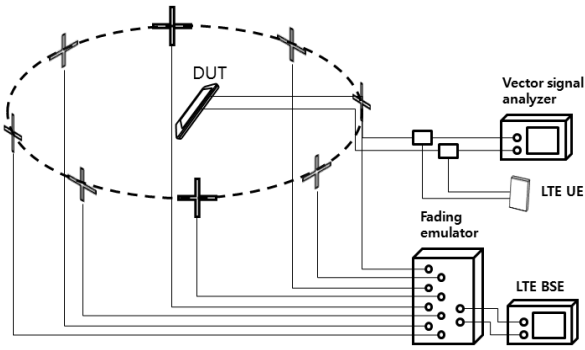


그림 5. Channel correlation 및 LTE 단말의 무선 Data throughput performance 측정을 위한 MIMO OTA system 구성도
 Fig. 5. The MIMO OTA system setup for channel correlation and data throughput measurement for LTE handset device.

가 45° 간격으로 배열되어 있으며 각 probe용 OTA 안테나는 vertical 및 horizontal polarization용 급전 단자를 독립적으로 가지고 있어 PAS의 XPR (Cross polarization ratio) 정의가 가능하다. MIMO OTA system에서의 PAS의 형성은 PAS의 AoA에 따라 8개의 OTA 안테나 중 2~4개를 선택하여 각각의 OTA 안테나로부터 출력되는 신호의 크기를 조절하여 PAS를 구현한다^[4].

MIMO OTA system에서 DUT의 correlation 특성 측정은 다음과 같은 과정으로 이루어진다. LTE BSE (Base station emulator) 장비에서 2x2 MIMO LTE downlink 신호를 생성하여 fading emulator의 input signal로 인가하고 fading emulator를 통해 spatial fading effect 및 PAS를 생성한다. 생성된 fading channel 신호는 fading emulator의 signal output과 연결된 probe용 OTA 안테나를 통해 chamber 중앙으로 전송된다. 전송된 2x2 MIMO 신호는 chamber 중앙에서 patio-temporal fading channel 환경을 형성시킨다. Chamber 중앙에 위치한 DUT 안테나로 수신된 fading 신호는 RF cable을 통해 chamber 외부의 VSA(Vector signal analyzer)에서 데이터를 수집한다. VSA를 이용한 correlation 측정은 다음의 식 (3-4)으로부터 얻을 수 있다.

$$h_1 = FFT(S_1), h_2 = FFT(S_2) \tag{3}$$

$$\rho_{12} = \left| \frac{cov(h_1, h_2)}{\sqrt{cov(h_1, h_1) \cdot cov(h_2, h_2)}} \right| \tag{4}$$

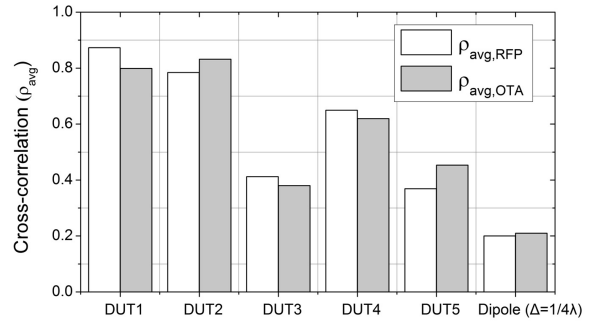


그림 6. SCME UMa PAS 모델과 측정된 RFP 데이터로부터 얻은 $\rho_{avg,RFP}$ 결과와 MIMO OTA system에서 측정된 $\rho_{avg,OTA}$ 측정 결과의 비교
 Fig. 6. A comparison between the $\rho_{avg,RFP}$ results obtained by the PAS model and the measured RFP and measured $\rho_{avg,OTA}$ results at MIMO OTA system.

VSA의 동기화 된 두 개의 수신 port를 통해 수집된 channel frequency response S_1, S_2 를 FFT (Fast Fourier Transform) 변환하면 시간 축에서의 channel impulse response, h_1, h_2 을 구할 수 있다. 최종 적으로 ρ_{12} 는 h_1, h_2 로부터 두 채널 간의 co-variance matrix를 구하여 일반적인 correlation 식 (4)로부터 얻을 수 있다^[12].

그림 6은 II장에서 사용된 PAS model과 안테나의 RFP 측정 데이터로부터 구한 DUT별 $\rho_{avg,RFP}$ 결과와 그림 5의 MIMO OTA system에서 측정된 DUT별 $\rho_{avg,OTA}$ 결과를 비교한 결과이다. MIMO OTA system에서도 DUT의 안테나 correlation 특성이 AoA offset에 따라 변화 되므로 AoA offset=0°, 90°, 180° (-180°), 270° (-90°)에서 ρ_{12} 값들의 평균치를 구하여 RFP 측정 데이터로부터 구한 ρ_{12} 의 평균치와 비교하였다. 그림 6에서 알 수 있듯이 PAS모델 및 측정된 RFP로부터 구한 correlation 특성과 MIMO OTA system에서 측정한 correlation 특성의 경향이 거의 일치함을 알 수 있다. 따라서 본 시스템을 이용한 핸드 효과의 분석은 유효한 결과를 얻을 수 있을 것이라 판단된다.

그림 7은 5개의 DUT에 대하여 핸드 효과가 없는 자유공간 조건 과 PDA용 핸드 팬텀 거치 상태에서 측정된 안테나 이득 변화와 correlation 변화에 대한 측정 결과이다. 핸드 팬텀 거치 상태에서 얻은 결과와 자유공간 상태에서 얻은 결과의 차이를 나타내었으므로 음수는 핸드 효과에 의해서 $\rho_{avg,OTA}$ 및 ANT1, ANT2의

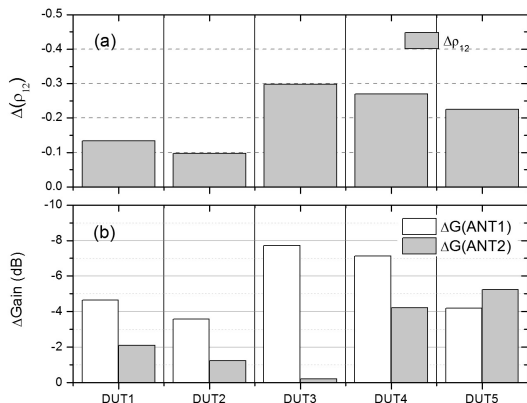


그림 7. MIMO OTA 시스템에서 측정된 DUT별 핸드 효과에 의한 안테나 특성 변화 (a) 안테나 correlation 변화(b) 안테나 이득 변화 (음수는 핸드 효과에 의해 안테나 이득 또는 correlation이 감소했음을 의미)

Fig. 7. Measurement results for antenna performance change due to hand effect (a) Antenna correlation change, (b) Antenna gain change (The negative values stands for the decrease in the antenna gain or in the antenna correlation due to the hand effect)

이득이 감소함을 의미한다. 모든 DUT에서 공통적으로 나타난 특성은 ANT1의 이득 손실분이 ANT2의 이득 손실분보다 큰 점이다. 그림 1의 DUT별 안테나 위치 정보를 통해 알 수 있듯이 ANT1이 단말의 가장 아래쪽에 위치하므로 핸드 팬텀에 물리적 접촉에 의한 안테나 임피던스 변화 때문인 것으로 추정 된다. 반면 ANT2가 핸드 팬텀에 의한 영향이 ANT1이 받는 영향에 비해 상대적으로 작은 이유도 그림 1과 같이 ANT2는 단말기의 상단에 위치하여 핸드 팬텀에 물리적으로 접촉이 되지 않았거나 접촉 면적이 작았기 때문으로 판단된다. 그림 7의 결과에서 흥미로운 점은 안테나 correlation이 매우 높은 DUT 1, 2의 경우 핸드 효과에 의해 correlation특성의 변화가 작다는 점과 ANT1의 이득 손실이 큰 DUT 3,4의 경우 correlation의 감소의 폭도 다른 DUT에 비해 매우 크다는 점이다.

본 절에서는 Multi-antenna를 포함하는 LTE 단말기는 핸드 영향에 의해 안테나 이득 손실을 유발할 뿐만 아니라 안테나의 correlation에도 큰 변화를 주며 5개의 DUT에서 공통적으로 correlation이 낮아지는 경향을 보임을 MIMO OTA system에서 실험적으로 확인하였다. 다음 절에서는 핸드 효과가 LTE 단말기의

MIMO OTA throughput 성능에 미치는 영향에 대해 논의하였다.

2. 핸드 효과에 의한 MIMO OTA Throughput 영향

DUT에 대한 MIMO OTA 성능 비교는 최종적으로 LTE PDSCH throughput 측정결과를 기준으로 이루어진다. MIMO OTA system에서의 link level 성능 시험은 표 1에 요약한 파라미터들을 기반으로 진행되었다. DUT들의 핸드 효과에 의한 안테나의 성능 변화를 비교하는 것이 주된 목적이므로 안테나 이득 변화와 안테나 correlation 변화도를 모두 확인 할 수 있도록 입력 신호 세기를 -45 ~ -80 dBm 범위에서 성능을 비교하였다. 입력 신호 세기에 따른 MCS (Modulation coding scheme)는 주어진 입력 세기에서 MAC (Medium Access Control) 층의 PDU (Packet Data Unit) CRC error가 10% 미만으로 유지되는 최대의 MCS에서 throughput 측정이 진행되었다. 입력 신호 세기가 높은 경우에는 DUT의 안테나 이득 크기와 상관없이 충분한 SNR을 확보할 수 있어 PDSCH TM3 throughput 성능은 안테나의 correlation에 의해 크게 좌우되며 입력 신호 세기가 낮은 조건에서는 안테나의 이득도 throughput에 영향을 주는 중요한 요소로 작용한다.

그림 8에는 DUT별로 자유 공간 상태와 핸드 팬텀에 거치한 상태에서의 LTE PDSCH TM3 throughput 결과를 비교하여 나타내었다. 기준 데이터로서 두 안테나 간의 이격거리가 $\Delta_l = \lambda/4$ 인 다이폴 안테나의 성능 데이터를 점선으로 표시하였다. 앞 절에서 설명하였듯이 핸드 효과는 안테나 이득을 감소시킬 뿐만 아니라 안테나 correlation을 크게 낮추는 효과가 있다. 그림 8의 결과에서 모든 DUT에서 공통적으로 입력 신호의 세기가

표 1. MIMO OTA 성능 측정을 위한 파라미터
Table 1. Parameter for MIMO OTA performance measurement.

Parameters	Description
LTE frame structure	FDD with normal CP
System bandwidth	10 MHz
RB allocation	DL: 50 / UL: 12
Frequency	DL: 752 MHz, UL: 782 MHz
Total eNodeB transmit power	-45 ~ -80 dBm/9 MHz
PDSCH Transmission mode	TM3 (Open loop spatial multiplexing)
PDSCH MCS	Variable (MCS Index= 0~28)

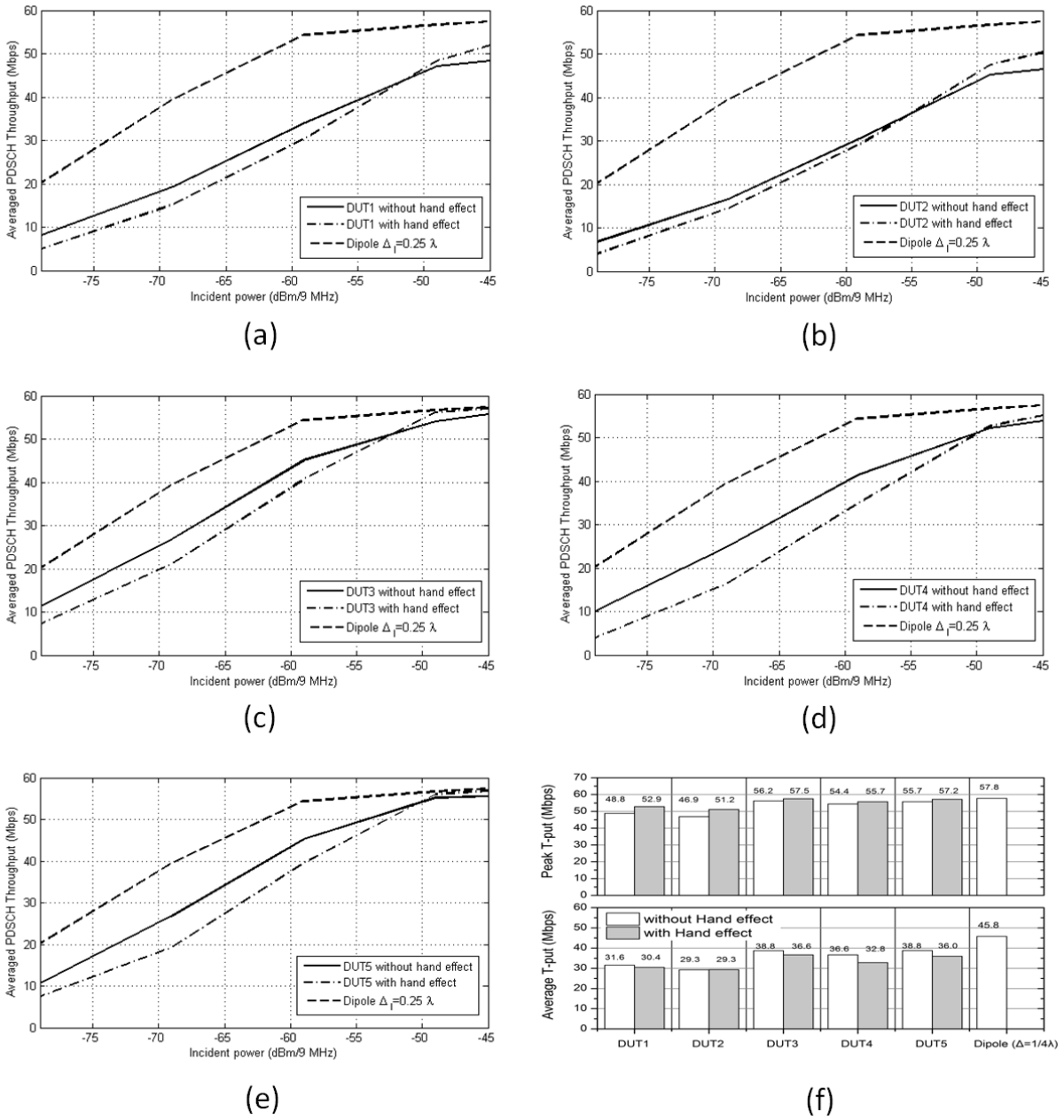


그림 8. 핸드 효과에 의한 MIMO OTA 시스템에서의 PDSCH throughput 성능 비교
 Fig. 8. Hand effect on PDSCH throughput performance measured by MIMO OTA system.

높은 영역에서는 안테나 이득 손실에도 불구하고 핸드 팬텀에 거치한 상태가 자유공간 상태보다 높은 throughput 성능을 보인다. 이는 앞 절에서 설명한 핸드 효과에 의해 안테나 correlation이 낮아진 효과에 기인한다.

다이폴 안테나 및 DUT 3과 DUT 5의 결과에 나타난 신호의 세기가 증가함에 따라 throughput이 포화되는 현상은 fading에 의한 입력 신호의 왜곡과 LTE 단말의 RF 선형성의 한계에 의해 입력 신호의 세기가 증가함

에도 불구하고 복호화 된 LTE 패킷의 EVM (Error Vector Magnitude)이 포함되어 가장 높은 MCS index 인 28에서 10% 이하의 CRC 에러율을 달성 할 수 없기 때문이다. 이러한 원인으로 DUT 3의 경우 핸드 효과에 의해 안테나 correlation이 가장 크게 감소하였음에도 높은 신호 세기 영역에서 throughput 개선의 폭이 기대치 보다 작았다.

입력 신호의 세기가 점차 낮아짐에 따라 핸드 팬텀 거치 조건에서의 결과가 자유공간 상태의 결과보다

throughput이 낮아지는 교차점들이 존재하는데 그 신호 세기 이하에서는 핸드 효과로 인해 저하된 안테나 이득이 수신 신호의 SNR 감소로 이어지기 때문이다.

그림 8 (f)에는 DUT별 측정 구간의 평균 throughput과 최대 throughput 성능 결과를 요약하였다. DUT 1과 2의 경우 throughput의 평균치는 거의 변함이 없고 throughput의 최대치는 약 4 Mbps가 증가하였다. Throughput 평균치의 감소의 폭이 작은 이유는 그림 7의 결과와 같이 DUT 1과 2의 경우 핸드 효과에 의한 안테나 이득 손실이 상대적으로 작아 안테나 correlation 감소로 인한 throughput 개선 효과와 상쇄될 수 있는 수준이기 때문이다. DUT 3, 4, 5의 경우 throughput의 평균치는 2~4 Mbps로 감소의 폭이 큰 반면 최대치는 약 1.5 Mbps로 증가의 폭이 작았다. 이는 그림 7의 결과에서 핸드 효과에 의한 이득 변화의 폭과 동일한 경향을 갖지만 안테나 correlation 감소의 폭 결과와는 상충된다. 그 이유는 앞서 설명한 높은 입력 신호 영역에서의 throughput 포화 현상에 기인한다. DUT 3, 4, 5의 결과에서 주목할 부분은 그림 7의 핸드 효과에 의한 DUT 3, 4, 5의 안테나 이득 감소가 작게는 4 dB에서 최대 7.8 dB 존재하였으나 그림 8의 핸드 효과에 의한 각 DUT별 throughput 곡선의 이동은 자유 공간 상태에서의 결과 대비 2.5~4 dB로 감소의 폭이 안테나 이득의 폭 대비 감소하였다. 그 이유는 핸드 효과에 의한 안테나 correlation 감소로 LTE 단말기의 MIMO 수신 성능이 향상되었기 때문이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 multi spatial cluster channel model의 경우 PAS모델과 측정된 안테나 RFP을 이용하여 얻은 cross-correlation 특성 결과와 MIMO OTA system에서 측정된 결과가 일치함을 확인하였으며 이를 통해 MIMO OTA 시스템의 유효성을 검증하였다. 또한 핸드 펜텀에 의한 안테나 특성 변화를 실험적으로 확인 하였으며 최종적으로 MIMO OTA 시스템에서의 PDSCH throughput 성능 비교를 통하여 link level 성능관점에서 핸드 효과가 LTE 단말기의 MIMO 수신 성능에 미치는 영향을 확인하였다.

본 논문을 통해 확인된 새로운 사실은 다중 안테나를 포함하는 LTE 단말기의 핸드 효과는 안테나의 이득 손실에 의한 성능 저하도 존재하지만 안테나 correlation 감

소 효과가로 인한 LTE 통신 모듈부의 디코딩 성능 개선으로 이득 변화에 따른 성능 저하의 폭을 상쇄할 수 있다는 점이다.

참 고 문 헌

- [1] "http://www.cost2100.org/."
- [2] Vodafone, "Proposed SID revision for study item: Measurement of radiated performance for MIMO and multi-antenna reception for HSPA and LTE terminals," 3GPP TSG-RAN 54, RP-111754, Berlin, Germany, Dec. 6th-9th, 2011.
- [3] "hppt://www.ctia.org/."
- [4] Kyosti, Pekka, Nuutinen, Jukka-Pekka, Jamsa, Tommi, MIMO OTA test concept with experimental and simulated verification, Antennas and Propagation(EuCAP), 2010 Proceedings of the Fourth European Conference on Publication Year, 2010,Page(s), 1 - 5
- [5] Baum, D.S., Hansen, J., Salo, J., "An interim channel model for beyond-3G systems: extending the 3GPP spatial channel model (SCM)," in Proc. of the 61st IEEE Veh. Technol. Conf. (VTC '05), Stockholm, Sweden, vol. 5, pp. 3132-3136, May 2005.
- [6] P. Kyosti et al., "IST-4-027756 WINNER II Deliverable 1.1.2. v.1.2, WINNER II Channel Models," IST-WINNER2, Tech. Rep., 2007.
- [7] "Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced, ITU-R Report M.2135," ITU-R, Tech. Rep., 2008.
- [8] R. Vaughan and J. B. Andersen, Channels, Propagation and Antennas for Mobile Communications. The IEE, London, UK, 2003.
- [9] S. Laurent, I.P. Klaus, E.M.Preben, From Antenna Spacings to Theoretical Capacities-Guidelines for Simulating MIMO Systems, The 13th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2002, Vol. 2, pp: 587-592
- [10] Measurement of radiated performance for MIMO and multi-antenna reception for HSPA and LTE terminals," 3GPP TR 37.976, v1.5.0, May, 2011.
- [11] Pedersen, K.I. Mogensen, P.E., Fleury, B.H., Spatial channel characteristics in outdoor environments and their impact on BS antenna system performance, Vehicular Technology Conference, 1998. VTC 98. 48th IEEE Volume: , Page(s): 719 - 723 vol.2
- [12] Kolmonen, V.-M.; Kermaol, J.-P.; Vainikainen,

P., *Comparison of Correlation-Based and Ray-Based Radio MIMO Channel Models*, Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2006 IEEE 17th International Symposium on, Page(s): 1 - 5

저 자 소 개



조 용 상(정회원)
1997년 서울시립대학교 전기전자 공학부 (공학학사)
1999년 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
2004년~현재 LG전자 책임연구원

<주관심분야 : MIMO, 통신 시스템, 안테나>



김 영 렬(정회원)
2005년 한양대학교 전자컴퓨터 공학부 (공학학사)
2007년 한양대학교 전자전기 제어 계측공학과 (공학석사)
2007년~현재 LG전자 선임연구원

<주관심분야 : 통신 시스템, 안테나, 전자파해석>



노 승 표(정회원)
2004년 연세대학교 전기전자 공학과 (공학학사)
2006년 연세대학교 전기전자 공학과 (공학석사)
2006년~현재 LG전자 선임연구원

<주관심분야 : 통신 시스템, 신호처리, 안테나>



심 혜 정(정회원)
2010년 홍익대학교 전자전기 공학부 (공학학사)
2010년~현재 LG전자 연구원
<주관심분야 : MIMO, 통신 시스템, 안테나>



김 인 경(정회원)
1983년 서울대학교 전자공학과 (공학학사)
1985년 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
1992년 University of Southern California EE-Systems Ph.D.

1992년~2005년 Hughes Network Systems, System Architect/Technical Director
2006년~현재 LG전자 4G/LTE 총괄 상무
<주관심분야: 통신 시스템, 신호처리, 안테나>