

이동통신 MIMO 채널 모델링 기술 동향

The Trend of Mobile Communication MIMO Channel Modeling Technology

이동통신과 방송기술 개발 현황 특집

김원섭 (W.S. Kim)	차세대이동통신방식연구팀 연구원
박재준 (J.J. Park)	차세대이동통신방식연구팀 선임연구원
이준환 (J.H. Lee)	차세대이동통신방식연구팀 선임연구원
김명돈 (M.D. Kim)	차세대이동통신방식연구팀 선임연구원
정현규 (H.K. Chung)	차세대이동통신방식연구팀 책임연구원

목 차

-
- I . 개요
 - II . MIMO 채널 모델 개발 동향
 - III . MIMO 채널 모델 국제표준화 동향
 - IV . 맺음말

이동통신 MIMO 채널 모델이란 다중안테나를 사용한 무선 인터페이스 구간 내의 신호 처리 모델로서, 무선 통신의 급격한 수요와 이동통신 서비스의 폭발적인 증가로 인해 차세대 이동통신 시스템 개발의 최적화를 위하여 MIMO 시스템 개발의 구현기술 검증에 사용된다. 차세대 이동통신 시스템의 사용 주파수 대역은 2~6GHz 대역으로 예상되며 기존 2G/3G 이동통신 대역폭 보다 큰 10~100MHz의 광대역 무선전송을 목표로 하고 있다. 본 고에서는 이동통신 MIMO 채널 모델링의 개발 및 표준화 동향에 대해서 논의한다. II장에서는 MIMO 채널 모델의 국·내외 개발 동향에 대해서 서술하며, III장에서는 MIMO 채널 모델링을 위한 국제표준화 동향에 대해서 서술한다. 마지막으로 IV장에서 결론을 맺고자 한다.

I. 개요

이동통신 MIMO 채널 모델이란 다중안테나를 사용한 무선 인터페이스 구간 내의 신호처리 모델로서, 무선 통신의 급격한 수요와 이동통신 서비스의 폭발적인 증가로 인해 차세대 이동통신 시스템 개발의 최적화를 위하여 MIMO 시스템 개발의 구현기술 검증에 사용된다. 현재의 무선 채널 모델은 800 MHz~2.5GHz 대역에서 광범위한 채널 측정을 통하여 정립된 것으로, 주로 사용되고 있는 ITU 채널 표준 모델은 제한된 주파수 영역에서 협대역 채널 특성 위주이고 특히 다중안테나 모델이 아닌 SISO 용 채널 모델을 표준으로 제시하고 있다. 이동통신 시스템의 주요 특징인 고속 전송, 주파수의 고효율성 및 다중안테나 기술의 적용을 위하여 요구되는 다중안테나 무선 채널 모델은 현재 표준이 없는 상태이며, 기존의 2G/3G 채널 모델로는 다양한 차세대 시스템 개발에 필요한 기술적 욕구를 충족하기 힘든 상태이다. 차세대 이동통신 시스템의 개발 측면에서는 개발 시스템의 스펙을 검증할 수 있는 link-level 및 system-level 시뮬레이터의 개발이 필요하며, 이것은 기존 link capacity 및 전송 효율 위주의 검증에서 MIMO, interference를 고려한 종합적인 시스템 capacity 검증을 의미하고, 검증을 위해서는 정확한 무선 채널의 모사가 필요하며 이 모사 기능은 주파수, 시간, 공간 및 편파 등 차세대 무선 전송에 응용 요소를 포함한 정확한 모델에 기초하고 있다고 볼 수 있다. 다중안테나 무선 채널 모델에 대한 국제적인 공감대는 ITU의 표준 채널 작업 이후 2003년 3GPP/3GPP2의 SCM[1] 연구를 시작으로 통신 시스템 개발자가 주축이 되어 표준 또는 공인을 위한 공동 노력이 가시화되고 있다. 본고에서는 이동통신 MIMO 채널 모델링의 기술개발 및 표준화 동향에 대해서 논의한다. II장에서는 MIMO 채널 모델의 국·내외 개발 동향에 대해서 서술하며, III장에서는 MIMO 채널 모델링을 위한 국제표준화 동향에 대해서 서술한다. 마지막으로 IV장에서 결론을 맺고자 한다.

II. MIMO 채널 모델 개발 동향

1. 국내 동향

채널 모델 연구는 IT 기술연구에 수반되는 기초 연구이며, 이동통신 연구의 국가적 인프라에 해당하는 중요한 자원이다. 채널 특성에 관한 국내의 연구 수준은 초보적인 단계로서 그 주된 이유는 직접적인 경제적 효과를 창출할 수 없는 기반 기술연구의 요인, 채널 측정에 소요되는 장비의 고가격, 통계적 데이터를 위한 측정기술 미비, 측정데이터의 post-processing 알고리즘 부재, 사용 주파수 허가 문제 등으로 집약된다. 대학의 경우 주로 WLAN 응용을 분석하기 위한 indoor 환경 또는 캠퍼스에서의 측정이 주류를 이루고 있으며, 주요 연구내용을 요약하면 다음과 같다.

- 실내 환경 무선 MIMO 채널 측정
- 측정 결과 모델링 기법 개발 및 모델링 수행
- 5.2~5.8GHz 대역에서의 안테나간 상관특성 규명 및 차세대 이동통신에의 활용 방안 연구
- IEEE 802.11 b/g 시스템과 휴대인터넷(WiBro) 주파수 대역 연구
- 간섭 분석을 위한 차세대 이동통신 시스템 레벨 시뮬레이터 연구

이동전화 사업자의 경우 셀 설계 등 사업의 수익성과 직접적인 연관성이 있으므로 커버리지 측정을 위하여 경로손실 위주로 측정 수행을 하고 있으며, 또한 일부 사업자의 경우 지상파 디지털 방송 서비스 제공을 위한 주파수 이용 방안 연구를 수행하고 있다. 차세대 이동통신 기술로서 다중안테나의 사용은 MIMO 공간 채널 모델의 필요성을 증가시키고 있으며 개발 시스템의 검증 기구로서 그 필요성에 대한 공감대가 형성되고 있다. 한국전자통신연구원 방송통신융합연구부에서는 MIMO 채널 모델 개발을 위하여 ‘차세대 이동통신용 무선 공간채널 특성연구’ 과제를 정보통신부 정책지정 과제(2005년~2008년)로 수행하고 있으며 주요 목표는 다음과 같다.

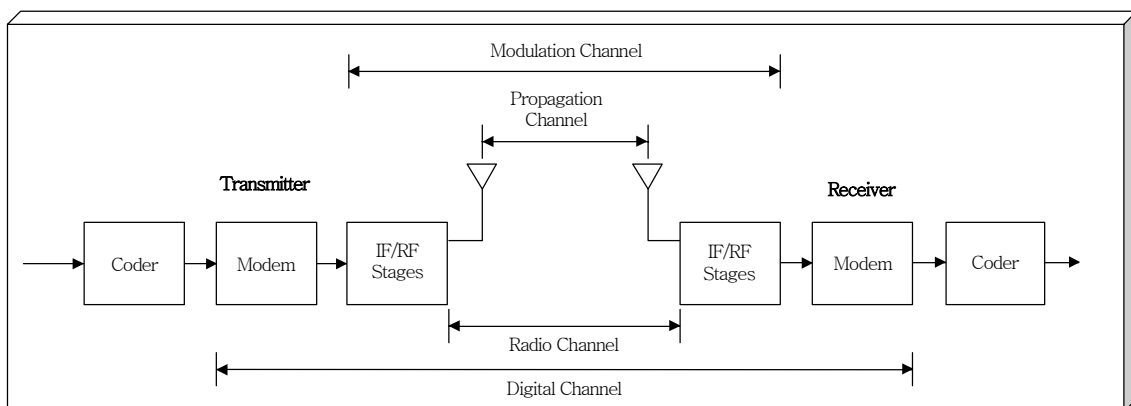
- 광대역 MIMO 채널 측정시스템 개발
- 한국지형 채널측정 수행
- 무선채널측정 데이터베이스 구축
- 한국형 무선공간 채널 모델 개발

본격적인 MIMO 채널 모델 연구라 할 수 있는 본 연구는, 한국전자통신연구원 방송통신융합연구부문에서 개발한 광대역 MIMO 채널 사운더인 BECS [2]를 활용하여 한국의 대표적인 전파환경을 측정하고 통계적인 대표성을 갖는 채널 파라미터를 제시할 예정이다.

2. 국제 동향

차세대 이동통신 시스템 개발을 위한 무선 채널 특성 연구는 사용 주파수 대역 측면에서의 주파수 연구와 통신 시스템 설계측면에서 무선 채널 파라미터 연구로 분류할 수 있다. 차세대 이동통신 서비스를 제공하는 주파수 대역 연구는 WRC-2007에서 본격적인 논의가 시작되었으며, 후보 주파수 대역에서의 전파 특성을 고려하여 global harmonization을 위해 공용 주파수 대역을 선정하기 위한 국제적인 노력이 진행 중이다. 통신시스템 설계측면에서 무선 채널 파라미터 연구는 (그림 1)과 같이 기존의 propagation channel 연구에서 다중안테나를 포함한 radio channel로 발전하고 있으며 무선 전송기술의 성능 평가를 위하여 digital channel을 포함하

는 종합적인 통신 채널 연구가 진행 중이다. 기존의 전파 채널 연구는 커버리지 계산을 위한 전파 감쇄 모델 개발을 중심으로, 주로 유럽에서 측정 기반의 전파 모델을 ITU에서 채택함에 따라 전 세계적으로 사용하고 있다. 무선 채널 모델은 협대역과 광대역으로 분류되며 협대역 모델은 CW 전파 송신에 대해 전파 환경에서의 전력전달 특성을 분석한 모델이며, 광대역 모델은 통신 시스템의 ISI 환경을 제시하기 위한 다중 경로의 통계적 분석 모델이다. 협대역 모델로는 1968년 Okumura가 지형적 특성을 고려한 100~1920MHz 대역에서의 전파특성 연구를 발표한 이래, 1980년 Hata에 의해 측정 데이터를 이용하여 수식화한 경로 손실 모델이 있으나 1~20km의 셀 반경에 대한 제한적인 사용으로 반경 1km 이내의 마이크로 셀에의 적용 불가능한 단점이 있다. PCS에의 확장 적용을 위하여 EURO(European Cooperative for Scientific and Technical research)에서는 2GHz까지 확장 가능한 COST-231 모델을 제시한 바 있다. 또한 ITU-R M.1225의 Walfisch-Ikegami 모델은 도시 환경에서의 회절 현상을 고려한 마이크로 셀 환경의 전파 감쇄 모델로 사용되고 있다. 광대역 모델은 무선 전송의 대역폭에 반비례하는 time-resolution의 배수로 표현되는 무선 채널의 impulse response를 FIR 필터로 구현하는 방식으로 주로 다중경로를 서로 독립이라 가정하고 시간에 따라 일정한 통계적 특성을 갖는 WSSUS 채널

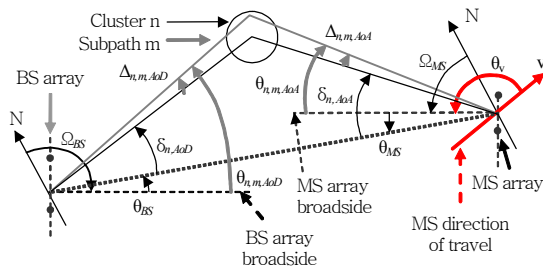


(그림 1) 무선 채널의 분류

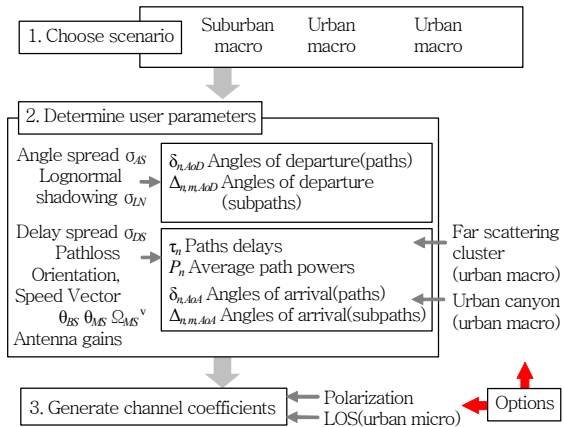
을 가정한다. GSM, ETSI, JTC 및 ITU-R M.1225 등 광대역 무선 채널 모델은 위의 가정을 공통적으로 수용하고 다중경로의 수와 도플러 형태 및 각 다중경로의 전력 비율을 서로 다르게 규정하여 전파 환경에 따라 고정 값을 사용하는 모델이다. 일상적으로 무선 채널 모델로 지칭될 경우 협대역의 전파 경로 손실에 관한 예측 모델과 다중 경로의 광대역 분석 모델을 의미한다. 또한 현재까지의 채널 모델 수요는 셀 설계 등 커버리지 계산을 위한 응용에 주로 사용되었다. 차세대 이동통신 시스템에서 요구되는 고속 대용량의 무선 전송기술을 위한 지속적인 기술 개발은 기존의 전파 감쇄 및 다중경로 모델의 범주를 벗어나 더욱 발전된 공간 채널 모델을 요구하고 있으며, 현재 이동통신 MIMO 채널 모델로서 SCM, SCME[3] 및 WINNER 채널 모델[4],[5] 등이 있다.

가. SCM 모델

(그림 2)는 2003년 3GPP/3GPP2에서 결정된 공간 채널 모델인 SCM에서 사용된 무선 공간 채널의 각도 파라미터들을 표시하고 있다[1]. 기존의 경로 손실과 다중경로의 지연시간 보다는 안테나 상호간의 공간 파라미터의 상호 연관성이 큰 비중을 차지하며, 채널을 발생시키는 프레임워크를 표준화하였고 사용될 파라미터 값은 잠정적으로 5MHz 대역폭의 2GHz 중심 주파수를 기준으로 표준화한 형태이다. SCM 모델의 다중경로를 생성하는 cluster는 geometry에 따라 결정되며 하나의 채널 ensemble에 사용되는 파라미터는 임의로 선택된다.



(그림 2) SCM의 송/수신단 각도 파라미터



(그림 3) SCM의 채널행렬 생성과정

SCM의 채널 행렬 생성과정은 (그림 3)과 같이 세 종류의 전파환경 중 시나리오의 선택과 단말기의 거리 및 안테나를 기준으로 하는 각도를 선택하면서 시작된다. 수신 이동국의 위치와 시나리오가 정해지면 시나리오에 따른 채널 모델 파라미터를 이용한다[1].

나. SCME 모델

무선전송 기술의 발달은 전송용량의 증대를 위하여 다중안테나의 사용과 더 넓은 대역폭을 선호하게 된다. SCM의 대역폭은 5MHz로 매우 제한적이므로 광대역의 무선 전송 기술검증에 사용하기 위하여 대역폭 확장이 필요하며, 이것은 다중 경로 수의 증가와 분해능에 직접적인 영향을 준다. 유럽의 WINNER 프로젝트에서는 이를 위하여 기존의 SCM을 이용하여 최대 100MHz 대역폭을 수용하고 5GHz의 중심 주파수까지 사용 가능한 SCME 모델을 개발하여 2005년에 발표하였다. 이 모델은 B3G 시스템 개발을 위한 잠정 모델로서 Interim B3G 채널 모델이라 불리기도 한다. SCME 모델의 주요 특징은 다음과 같다.

- 2GHz 및 5GHz 대역 사용
- 실내용 모델로 802.11 TGn 모델 사용
- 실외용 모델로 SCM 모델 확장
- 5~100MHz의 가변 대역폭 사용
- 모델 내에 Time-evolution 기능 사용

- 모든 시나리오에 LOS 환경 고려
- TDL 모델 제공

SCME의 5GHz 대역에서의 path-loss는 2GHz 대역에서 제시된 값에서 8dB 감쇠를 고려하며, 대역폭이 확장되면서 주파수 선택도의 변화를 세밀히 표현하기 위하여 midpath를 정의하여 하나의 다중 경로를 구성하는 20개의 subpath를 <표 1>과 같이 3종류 또는 4종류로 분류하여 사용하였다[3].

다. WINNER I 모델

WINNER 프로젝트는 100MHz의 대역폭을 수용하고, 2GHz에서 6GHz의 중심 주파수를 가지는 B3G 시스템에 집중해 왔다. 특히 WINNER Work

Package 5(WP5)는 multi-dimensional 무선채널 모델링을 목표로 해왔다. WINNER WP5는 SCM 모델은 대역폭이 5MHz로서 B3G 시스템을 시뮬레이션 하기에 부적합하여 SCME 모델을 만들었다. 그러나 SCME 모델 역시 advanced simulation에 충분하지 않아 WINNER I 채널 모델을 개발하게 되었으며, 주요 특징은 다음과 같다.

- 실측데이터를 기반으로 한 채널 모델
- SCME 모델 확장
- 2GHz 및 5GHz 대역 사용
- 6개의 시나리오를 뒷받침하는 Generic 채널 모델 제공
- 7개의 시나리오를 뒷받침하는 CDL 모델 제공

<표 1> SCME의 Subpath 할당

Midpath	3 midpath configuration			4 midpath configuration		
	Power	Subpaths	AS_i/AS_n	Power	Subpaths	AS_i/AS_n
1	10/20	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 19, 20	0.9865	6/20	1, 2, 3, 4, 19, 20	1.2471
2	6/20	9, 10, 11, 12, 17, 18	1.0056	6/20	5, 6, 7, 8, 17, 18	0.9145
3	4/20	13, 14, 15, 16	1.0247	4/20	9, 10, 15, 16	0.8891
4	-	-	-	4/20	11, 12, 13, 14	0.7887

<표 2> WINNER I의 Generic 채널 모델을 위한 시나리오

Scenario	Definition	LOS/NLOS	Mob.	AP ht	UE ht	Distance range
A1	Indoor small office/residential	LOS/NLOS	0~5km/h	2m	1m	3~100m
B1	Typical urban micro-cell	LOS/NLOS	0~70km/h	Below RT, e.g. 10m	1.5m	20~400m
B3	Indoor	LOS	0~5km/h			
C1	Suburban	LOS/NLOS	0~70km/h			35m~3km
C2	Typical urban macro-cell	LOS/NLOS	0~70km/h	Above RT, e.g. 32m	1.5m	35m~3km
D1	Rural macro-cell	LOS/NLOS	0~200km/h	Above RT, e.g. 45m	1.5m	35m~10km

<표 3> ZDSC 및 Ray의 개수

Scenarios	A1		B1		B3		C1		C2	D1		
	LOS	NLOS	LOS	NLOS	LOS	NLOS	LOS	NLOS	NLOS	LOS	NLOS	
Number of ZDSC	16	11	8	16	15	24	15	14	20	11	10	
Rays per ZDSC							10					
$AS\phi(\text{deg})$	5	5	3	10	4.7	5.5	5	2	2	1.5	1.5	
$AS\theta(\text{deg})$	5	5	18	22	5.4	12.5	5	10	15	3	3	

Generic 채널 모델을 위한 WINNER I 채널 모델의 시나리오는 indoor small office(A1), urban micro-cell(B1), indoor hotspot(B3), suburban macro-cell(C1), urban macro-cell(C2) 그리고 rural macro-cell(D1)이며 시나리오의 특징은 <표 2>와 같다. 또한 Generic 채널 모델에서는 <표 3>과 같이 ZDSC 개념을 도입하여 각 시나리오마다 그 수를 다르게 배정하였고, 각 ZDSC의 ray는 10개로 고정하여 10개의 ray가 같은 지연 및 파워를 갖지만 각도는 임의의 값을 갖도록 설정하였다[4].

라. WINNER II 모델

WINNER II Project Work Package 1(WP1)는 WINNER I 채널 모델링 작업을 이어 받아 모델의 특징, 주파수 범위 및 시나리오 수의 확장을 위해서

노력해 왔다. 그리하여 2007년 WINNER II 채널 모델을 개발하였으며, 주요 특징은 아래와 같다.

- WINNER I 모델 확장
- 한 cluster 당 20개의 ray 사용
- 2GHz 및 6GHz 대역 사용
- 10개의 시나리오를 뒷받침하는 Generic 채널 모델 제공
- 18개의 시나리오를 뒷받침하는 CDL 모델 제공
- 일부 시나리오에 Elevation 각도 추가

Generic 채널 모델을 위한 WINNER II 채널 모델의 시나리오는 <표 4>와 같다. 또한 <표 5>와 같이 Generic 채널 모델에서는 100MHz의 광대역폭을 지원하고 주파수 상관을 억제하기 위해 intra-cluster delay spread 개념을 도입하여 파워가 가장 큰 두 개의 cluster를 3개의 ZDSC로 나누어 사용한다[5].

<표 4> WINNER II의 Generic 채널 모델을 위한 시나리오

Scenario	Definition	LOS/NLOS	Mob. km/h
A1	Indoor office/residential	LOS/NLOS	0~5
A2	Indoor to outdoor	NLOS	0~5
B1	Typical urban micro-cell	LOS/NLOS	0~70
B2	Bad urban micro-cell	NLOS	0~70
B3	Large indoor hall	LOS/NLOS	0~5
B4	Outdoor to indoor micro-cell	NLOS	0~5
B5a	LOS stat. feeder, rooftop to rooftop	LOS	0
B5c	LOS stat. feeder, below-rooftop to street-level	LOS	0
B5f	Feeder link BS → FRS, approximately RT to RT level	LOS/OLOS/NLOS	0
C1	Suburban	LOS/NLOS	0~120
C2	Typical urban macro-cell	LOS/NLOS	0~120
C3	Bad urban macro-cell	NLOS	0~70
C4	Outdoor to indoor macro-cell	NLOS	0~5
D1	Rural macro-cell	LOS/NLOS	0~200
D2a	Moving networks: BS-MRS, rural	LOS	0~350

<표 5> WINNER II의 Sub-cluster 할당

Sub-cluster #	Mapping to rays	Power	Delay offset
1	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 19, 20	10/20	0ns
2	9, 10, 11, 12, 17, 18	6/20	5ns
3	13, 14, 15, 16	4/20	10ns

Ⅲ. MIMO 채널 모델 국제표준화 동향

주파수 대역의 전파 특성을 연구하는 표준화 기관은 ITU-R SG3로서 차세대 이동통신 후보주파수 대역을 포함한 300MHz~100GHz 대역 채널의 감쇄특성과 다중경로 특성의 권고안을 채택한 상태이고, 4개 Working Party는 매년 한 차례의 합동회의를 개최하고 있다. 차세대 주파수 대역의 채널 특성에 대한 기고는 2004년 10월 중국 회의부터 시작되었고, 현재 유럽의 WINNER 프로젝트 등에서 활발히 이루어지고 있다. 2007년 10월에 열린 WRC-2007은 공식의제로 채택된 차세대 이동통신 주파수 대역 및 대역폭을 450MHz에서 3600MHz에 이르는 주파수로 배정하였다. 2008년 1월 ITU-R WP5D에서 IMT-Advanced를 위한 채널 모델의 표준을 채택하기 위한 회의에서 한국을 비롯한 일본, 중국, 핀란드 등 26여 개국이 참가하였다. 한국은 한국에서 측정된 환경을 바탕으로 얻은 채널 파라미터를 이 회의의 채널 모델 분야에 기고하며 WINNER 모델을 지지하였다. 회의 결과 시나리오 별로 고정된 파라미터를 사용하는 WINNER 채널 모델을 사용하는 것으로 합의하였으며, 향후 표준 시뮬레이션 환경의 수정이 필요한 경우 일본의 formulation을 이용하여 파라미터 값을 정할 수 있는 extension module을 선택적으로 수용하기로 결정하였다. 또한 2008년 6월에는 WP5D 2차 회의가 열릴 예정이며, 이 회의에서 채널 파라미터 값의 조정 및 채널 모델의 단순화 이슈 등을 다룰 예정이다.

Ⅳ. 맺음말

현재의 무선 채널 모델은 800MHz~2.5GHz 대역에서 광범위한 채널 측정을 통하여 정립된 것으로, 주로 사용되고 있는 ITU 채널 표준 모델은 제한된 주파수 영역에서 협대역 채널 특성 위주이고 특히 다중안테나 모델이 아닌 SISO용 채널 모델을 표

준으로 제시하고 있다. 고속 전송, 주파수의 고효율성 및 다중안테나 기술의 적용을 위하여 요구되는 다중안테나 무선 채널 모델은 현재 표준이 없는 상태이며, 기존의 2G/3G 채널 모델로는 다양한 차세대 시스템 개발에 필요한 기술적 욕구를 충족하기 힘든 상태이다. 차세대 이동통신 채널 모델에 관한 본격적인 연구는 현재 유럽의 WINNER 프로젝트에서 이루어지고 있다. 국내에서는 한국전자통신연구원 방송통신융합연구부에서 ‘차세대 이동통신용 무선 공간채널 특성연구’ 과제를 수행하여 광대역 MIMO Channel Sounder(ETRI BECS)를 개발하였고, 한국지형을 기초로 필드측정을 수행중에 있으며, 측정데이터를 바탕으로 통계적 대표성을 갖는 채널 파라미터를 제시하여 IMT-Advanced를 위한 채널모델의 표준에 반영할 예정이다. 한국 지형을 고려한 한국형 채널 모델은 외국 환경에 맞춰져 있는 채널 모델을 대신하여 사용될 것이며, 필드 측정 데이터를 통하여 무선 전송 기술에 대한 보다 구체적인 성능 평가 환경을 제공할 것으로 기대된다.

● 용어해설 ●

DS(Delay Spread): 송신 충격파에 따라 시간지연을 갖는 다수의 충격파 echo 합으로 표현되는 전력 지연 프로파일에서 수신 전력을 이용한 지연시간의 rms 값을 의미함.

AS(Angular Spread): 송신 충격파에 따라 수신되는 전력지연 프로파일에서 다양한 방향의 도래각의 rms 값을 의미함.

약어 정리

3GPP	3rd Generation Partnership Project
3GPP2	3rd Generation Partnership Project 2
BECS	Band Exploration and Channel Sounder
FIR	Finite Impulse Response
ISI	Inter Symbol Interference
IST	Information Science and Technology
ITU-R	International Telecommunication Union - Radio communication
MIMO	Multiple Input Multiple Output

SCM	Spatial Channel Model
SCME	Spatial Channel Model Extended
SG3	Study Group 3
WINNER	Wireless World Initiative New Radio
WP5	Working Party 5
WRC	World Radio communication Conferences
WSSUS	Wide Sense Stationary Un-correlated Scattering
ZDSC	Zero Delay Spread Cluster

참 고 문 헌

- [1] 3GPP, "Spatial Channel Model for MIMO Simulation," TR 25.996 V6.1.0, Sep. 2003, [Online]. Available: <http://www.3gpp.org/>
- [2] H.K. Chung, N. Vloeberghs, H.K. Kwon, S.J. Lee, and K.C. Lee, "MIMO Channel Sounder Implementation and Effects of Sounder Impairment on Statistics of Multipath Delay Spread," *IEEE VTC'05*, Vol.1, Sep. 2005, pp.349-353.
- [3] D.S. Baum, J. Salo, G. Del Galdo, M. Milojevic, P. kyosti, and J. Hansen, "An Interim Channel Model for Beyond-3G Systems," *IEEE VTC'05*, Stockholm, Sweden, May 2005.
- [4] WINNER I WP5: "Final Report on Link Level and System Level Channel Models," Deliverable D5.4, 2005. 11. 18.
- [5] WINNER II WP1: "WINNER II Channel Models," Deliverable D1.1.2, 2007. 9. 30.