

# 차세대 이동통신 무선 채널모델 연구동향

An Overview of Wireless Channel Model for B3G Mobile Communication

## 차세대 이동통신 특집

정현규 (H.K. Chung)

차세대무선전송연구팀 팀장

이광천 (K.C. Lee)

RF기술연구팀 팀장

## 목 차

- .....
- I. 개요
  - II. 차세대 이동통신 무선 채널모델링
  - III. 광대역 MIMO 무선 채널모델
  - IV. 차세대 무선 채널모델 이슈
  - V. 한국형 무선 채널모델 연구

차세대 이동통신 무선 채널모델이란 무선 인터페이스 구간 내에서의 신호 처리 모델로서 이동통신 시스템 개발에 필요한 알고리즘 구현 기술의 검증에 사용된다. 다중 안테나 사용의 중요성이 제기되기 이전에는 주로 전파 채널(propagation channel)에 관한 물리 현상의 분석이 무선 채널 모델의 주류를 이루었으나 전송속도의 증가 및 전송용량 증가를 위한 다중안테나 사용이 본격화되면서 안테나를 포함한 공간 채널(spatial channel)의 수학적 표현 및 전파 현상 분석이 이동통신 시스템 개발에 중요한 역할을 수행한다. 본 고에서는 개요에 이어 II장에서는 최근 WWRF에서 제시하는 B3G 시스템 개발을 위한 채널 모델 과정을 소개하고, III장에서는 대표적인 다중안테나 무선 채널모델에 관한 내용을 소개한다. 또한 IV장에서는 차세대 이동통신을 위한 채널모델링의 주요 연구 이슈와 함께 V장에서는 ETRI에서 추진중인 한국형 무선 채널모델 연구의 현황을 소개한다.

## I. 개요

차세대 이동통신 무선 채널모델이란 무선 인터페이스 구간 내에서의 신호 처리 모델로서 이동통신 시스템 개발에 필요한 알고리즘 구현 기술의 검증에 사용된다. 무선 인터페이스 구간은 (그림 1)과 같이 이동통신 시스템의 구성 요소의 포함 여부에 따라 다음의 네 종류로 크게 나눌 수 있다.

- Digital Channel
- Modulation Channel
- Radio Channel
- Propagation Channel

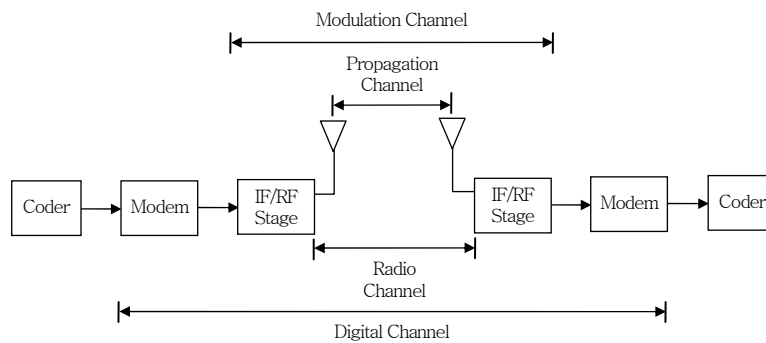
다중 안테나 사용의 중요성이 제기되기 이전에는 주로 전파 채널(propagation channel)에 관한 물리 현상의 분석이 무선 채널모델의 주류를 이루었으나, 전송속도의 증가 및 전송용량 증가를 위한 다중안테나 사용이 본격화되면서 안테나를 포함한 spatial channel(공간 채널)의 수학적 표현 및 전파 현상 분석이 이동통신 시스템 개발에 중요한 역할을 차지하게 되었다.

### ● 용 어 해 설 ●

**공간 채널(Spatial Channel):** 무선 채널 파라미터 종류 중 안테나의 위치, 간격 및 이동국의 이동방향 등 주로 공간 정보에 따라 그 특성이 변화하는 무선 채널을 말함. 공간 채널을 이루는 대표적인 파라미터로서 수신 도래각, 송신 발산각 등 수평방향의 각도에 관한 것과 다중안테나 사이의 상관 행렬을 들 수 있음

이동통신 시스템 개발에서 정확한 성능 검증을 위하여 무선 채널모델은 다음 세 가지의 정성적인 조건을 만족시켜야 한다. 우선 이동통신 환경에서의 실제적인 전파전파(wave propagation) 현상을 정확하게 묘사해야 하며, 사용자의 용도에 맞는 환경(채널 파라미터)을 제공하고, 실행시간 및 복잡도에 관한 현실적인 요구와 같은 성능검증의 객관성 만족이 그것이다.

이동통신 환경에서의 실제적인 전파전파 현상은 반사, 투과, 회절 및 분산 현상에 의하여 매우 복잡한 특성을 나타내며 분석적인 도구(수학적 모델링)를 이용하여 표현하는 데는 한계가 있다. 즉 전파전파 현상은 반송 주파수, 대역폭, 전파환경(실내외, 도시지역, 거주지역, 지형 및 건물 재질 구조 등)에 따라 다르므로 채널측정시스템(channel sounder)을 이용한 반복적인 실측 데이터를 이용하여 현상을 규명한다. 전파전파 현상을 표현하기 위하여 채널모델은 통계적인 방법(stochastic model)과 확정적인 방법(deterministic model)을 사용하는데, 전자는 주어진 전파환경에서의 반복 측정을 통하여 통계적으로 대표되는 모델 파라미터를 이용하고, 후자는 송수신에 이르는 전파환경을 수학적으로 표현하여 전파를 추적하는 ray tracing 방법을 사용한다. 통계적인 방법은 전파환경을 대표할 수 있는 파라미터의 확률함수로서 표현되며, ray tracing 방법은 특정한 전파환경을 정확히 묘사할 수 있다. 최근 제안되는 이동통신 채널모델인 SCM은 위의 두 방법을 혼합하는 geometry-based stochastic 모델로서



(그림 1) 무선 채널의 분류

두 가지의 장점을 효과적으로 이용하기도 한다.

채널모델이 제공하는 두번째 요소로서, 사용자 용도에 맞는 채널 파라미터는 성능 검증에 필요한 채널 특성을 표현하며 예를 들면 다음과 같다.

- 최대 또는 rms 지연확산 및 분포
- 다중경로의 수 및 분포
- Power Delay Profile(PDP)
- 다중경로별 small-scale fading 및 complex gain
- 도플러 효과
- MIMO channel matrix
- 송수신 안테나간의 공간 상관관계
- 송수신 안테나의 도래각 및 발산각(azimuth 및 elevation)
- 편파
- Shadowing 효과 및 거리에 따른 감쇄 등

위의 파라미터는 반송 주파수 대역(VHF, UHF, 마이크로웨이브, 밀리미터웨이브), 협대역/광대역 bandwidth, 다중안테나, 전파환경(실내외, urban, suburban, rural 등)에 따라 동일하지 않으므로 이동통신 시스템의 운용 환경에 따라 적합한 채널 모델이 요구된다. 또한 실행시간 및 복잡도에 관한 현실적인 요구사항은 채널모델의 정확도 및 간편한 실행환경으로 서로 trade-off 관계가 있다.

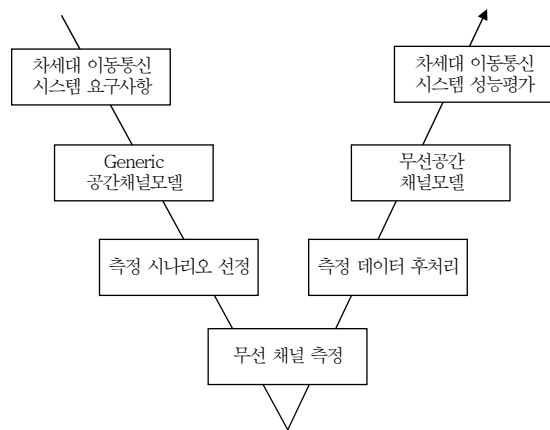
본 고에서는 개요에 이어 II장에서는 최근 WWRF에서 제시하는 B3G 시스템 개발을 위한 채널 모델 과정을 소개하고, III장에서는 대표적인 다중안테나 무선 채널 모델에 관한 내용을 소개한다. IV장에서는 차세대 이동통신을 위한 채널모델링의 주요 연구 이슈와 함께 V장에서는 ETRI에서 추진중인 한국형 무선 채널모델 연구의 현황을 소개한다.

● 용어해설 ●

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

## II. 차세대 이동통신 무선 채널모델링

차세대 이동통신 시스템 개발을 위한 무선 채널 모델링은 시스템 성능평가 목적을 위하여 (그림 2)와 같이 다음 일곱 단계로 나누어 생각할 수 있다[1].



(그림 2) 차세대 이동통신 무선 채널모델링 단계별 프로세스

### 1. 시스템 요구사항

현재 목표로 하는 차세대 이동통신 시스템의 성능은 이동 환경에서 100Mbps 및 핫스팟 지역에서 1Gbps의 전송속도 제공이며, 이와 함께 차세대 이동통신 후보 무선전송 기술은 링크 및 시스템 레벨 시뮬레이션을 통하여 시스템 용량(Erlang/MHz/km<sup>2</sup>)에 관한 성능평가가 필요하다. 성능 평가를 위한 무선 채널모델의 주요 요구사항은 다중안테나 채널모델, 간섭(interference) 모델, 링크 및 시스템 레벨 성능 결과의 상호 매핑 및 이동 단말기 사용 형태의 현실적인 반영 등이 있다.

### 2. Generic 공간 채널모델

Generic 채널 모델은 예상되는 시스템 요구사항의 성능 평가를 위해 제공되는 표준 모델로서 현재 시점에서는 COST259 및 generic WINNER 모델 등이 거론되고 있다.

### 3. 측정 시나리오 선정

필드 측정을 통하여 통계적으로 정확한 파라미터를 사용한 generic 채널 모델은 다양한 전파 환경에서 객관성을 유지할 수 있다. 따라서 객관성을 확보하기 위하여 채널 측정 계획은 중요하며 다음 사항을 고려한다.

- 사용자 및 네트워크 deploy를 고려한 전파환경 선정 및 측정 지역의 수
- 송수신 안테나 형상
- 이동성 시나리오

### 4. 무선채널 측정

필드 측정은 채널측정시스템을 이용하며, 차세대 이동통신 시스템의 다차원의 무선채널 파라미터 특성을 규정하기 위한 주요 측정관련 요소를 요약하면 <표 1>과 같다.

<표 1> 무선채널 측정 요소

파라미터	값
반송 주파수	2~6GHz
대역폭	10~100MHz
샘플링	I & Q(진폭 및 위상)
측정데이터 저장	실시간 고속 다중채널 저장구조
안테나 구성	빔포밍, Diversity, MIMO 및 Hybrid
송수신 안테나 수	8~32개
이동성	최대 250km/h
지연시간 분해능	최대 10ns
최대지연시간	1~100μs
Dynamic Range	10~50dB
Post-Processing	특정 파라미터 추정을 위한 Tool 사용
기타	GPS 위치 제어

### 5. 측정데이터 후처리

후처리(post-processing) 기능은 측정데이터로부터 다양한 무선채널 파라미터를 추정하는 기술로서 다차원 detection 및 고해상의 estimation 알고

리즘을 이용한다. Unitary ESPRIT, SAGE 및 Ri-MAX 등은 주로 사용되는 후처리 기술의 알고리즘으로, 추정 파라미터는 다중 경로, 지연시간, 경로별 전력 및 도래각(2차원 및 3차원) 등이 있다.

### 6. 무선 공간 채널모델

기존의 TDL 모델은 차세대 이동통신 시스템의 광대역 특성으로 많은 수의 tap이 필요함에 따라 채널 모사에 현실적인 한계가 있다. Generic 모델의 선택과 dimension의 결정은 채널 시뮬레이션에 사용되는 시간 및 정확성에 중요한 영향을 주며, 현재 고려되는 SCM 계열의 채널 모델은 geometry-based stochastic 모델로서 광대역 채널모델에 적합하다. 이 단계에서는 generic 채널 모델과 측정 데이터로부터 얻은 통계적 파라미터를 이용하여 시스템 성능 평가를 위한 무선 공간(벡터) 채널모델을 완성한다.

### 7. 시스템 성능평가

시스템의 성능평가는 통계적으로 객관화된 전파 환경을 채널모델이 제공함으로써 가능하다. 이것은 서로 다른 시나리오를 수용하기 위하여 채널모델 내에서의 구조와 사용 파라미터 변경을 통하여 이루어지며, 다음의 세 종류로 분류된다.

#### • 링크레벨 성능평가

다양한 전파환경에서 무선통신 링크의 성능 측정이 목적이며 주로 BER 또는 FER을 사용한다.

#### • 네트워크레벨 성능평가

Blocking rate, call loss rate 등 네트워크 계층의 성능평가에 사용한다.

#### • 시스템레벨 성능평가

사용자 및 기지국 분포에 따라 SINR에 의존적인 BER 특성과 outage 확률 등 주로 간섭이 시스템에 주는 영향을 중심으로 사용한다.

### Ⅲ. 광대역 MIMO 무선 채널모델

본 장에서는 기존의 ITU 채널 모델 이후 광대역(wideband) 다중안테나를 이용하는 이동통신 시스템 성능 검증에 주로 사용되는 무선 채널모델에 관한 주요 내용을 기술한다.

#### 1. METRA

METRA[2] 채널모델은 2001년 종료된 유럽의 IST METRA 프로젝트 “WP2 Channel Characterization”의 결과물로서, MIMO 환경에서의 무선 채널에 관한 확률 모델(stochastic model)이다.

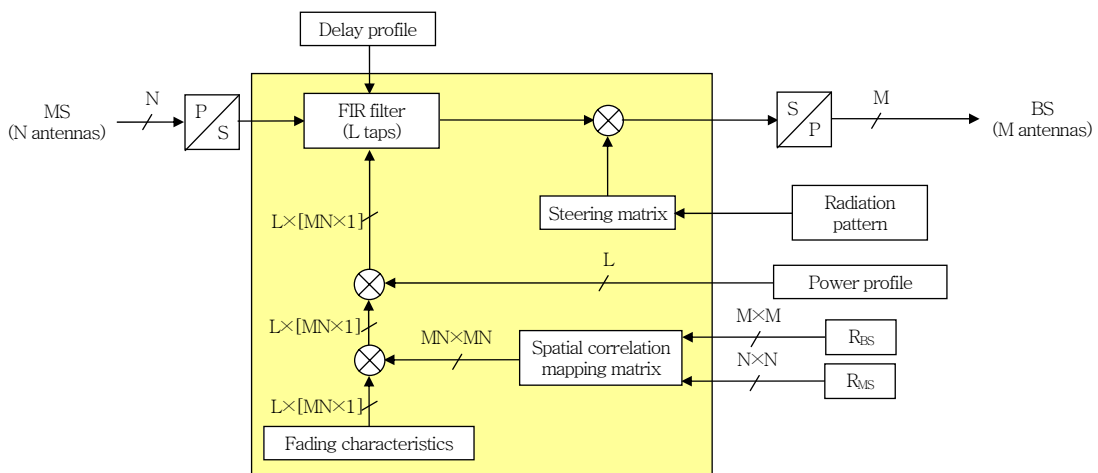
(그림 3)은  $N \times M$  MIMO 시스템에서 요구되는 채널 행렬을 생성하기 위하여 METRA 모델 내에서 이루어지는 과정을 도시하였다. 채널의 sampling rate가 결정되면 METRA는 정해진 시간 간격에 따라  $N$ 개의 송신 입력을 받아  $M$ 개의 수신 출력을 생성하는 채널 행렬을 생성한다. 여기에서 안테나는 선형배열 안테나를 가정하며 행렬 생성을 위하여 다음 5종류의 외부 입력이 필요하다.

- 송신 안테나 element 사이의 상관 행렬(RBS)
- 수신 안테나 element 사이의 상관 행렬(RMS)
- 다중경로의 전력분포(power profile)

- 다중경로의 지연분포(delay profile)
- 다중안테나 패턴

확률 모델로서 METRA는 다수의 독립적인 rayleigh fading을 발생시킨 다음 FIR 필터의 각 tap에 입력시킴으로써 TDL 방식의 광대역 채널을 발생시킨다. 독립적인 rayleigh fading은 Complex Gaussian Random 생성기를 이용하여 원하는 도플러를 필터링하며, 다중 경로를 모사하는 각 tap의 rayleigh fading은 상호 독립적인(uncorrelated) 특성을 가진다. 생성된 fading 신호는 송수신 안테나의 상관행렬을 이용하여 안테나 element 간의 상관도를 유지하는데 이를 위하여 서로 독립적인 두 Gaussian Random 변수와 상관 행렬을 이용한 신호처리(수학적 연산)가 필요하다. 다중 경로의 전력은 외부 변수로 지정되고 TDL의 출력은 안테나 패턴이 고려된 steering vector에 따라 수신 안테나별로 채널 데이터가 생성된다.

METRA 모델의 핵심은 외부에서 지정되는 송수신 안테나의 상관행렬의 사용이다. 즉 무선 공간의 전파특성을 물리적으로 고찰한 결과가 아니라, 주어진 안테나 상관 정도에 따라 독립적인 다중 경로를 발생시킨 채널특성을 모사하여 MIMO 시스템 시뮬레이션을 위한 비교적 간편한 무선 채널을 제공한다. 안테나 상호의 상관정도는 측정 데이터를 이용



(그림 3) METRA 채널 모델의 채널행렬 생성 흐름도

하거나 이론식을 이용하는데 이론식을 이용하는 경우는 시뮬레이션을 수행하려는 전파환경의 도래각 (direction of arrival), 방위각 전력분포(PAS) 및 rms angular spread 값을 이용하여 상관값을 계산한다.

METRA 모델의 장점은 MIMO의 성능분석에 있어서 중요한 파라미터인 안테나 상관 정도를 직접 제어할 수 있는 환경을 제공하는 데 있다. 그러나 이 장점은 다른 측면에서는 단점으로 작용하기도 한다. 그 이유는 전파환경에서 도래각과 rms angular spread 값에 따라 별도의 상관 행렬을 필요로 하기 때문에 통계적인 객관성을 갖는 채널 환경을 대표하는 데 문제가 있다. 즉 특정 상관 행렬을 통하여 전파환경을 대표하는 데 객관성 확보가 어렵다. 또한 이 같은 상관행렬은 송수신 안테나 구성에 따라 큰 차이를 보이는 단점이 있다.

## 2. 802.11 TGn 모델

IEEE 802.11의 High Throughput Task Group (TGn)에서 2004년 발표한 채널모델[3]로서 2 GHz 및 5GHz 대역의 실내용 WLAN 시스템 개발에 사용한다. 이 모델은 SISO 및 MIMO 채널의 협대역 path loss 및 광대역 특성을 규정하며, 실내 전

파환경을 6종류로 구분하여 model A-F를 제공한다. 주요 특징을 요약하면 다음과 같다.

- MIMO 구현 관점: 상관 행렬을 이용한 안테나간의 상관 정도 구현
- 광대역 구현 관점: COST259 모델을 근거한 클러스터 개념의 도입

METRA 채널 모델과 같이 안테나 상호간의 페이딩은 주어진 상관 행렬에 따라 확률적으로 생성되며, 광대역 특성을 나타내는 다중 경로의 시간 지연은 복수의 클러스터를 통하여 구현된다. 이 때 클러스터란 전파환경에서 어느 정도 동질성을 갖는 다중 경로 그룹이라 할 수 있으며 이것은 다중 경로를 발생시키는 산란체가 동일한 도래각 및 angular spread 값을 제공한다고 가정한다.

### 가. Path Loss 모델

실내 환경에서 각 세부 모델별로 break point 거리  $d_{BP}$ 가 정의되며 이 거리 내에서는 자유공간의 path loss를 가정한다. Break point 거리의 의미는 two-ray 모델에서 반사파가 직접파에 간섭을 일으키는 최소 거리로서 1st fresnel zone을 만족하는 거리이며 송수신기의 높이와 반송 주파수에 따라 영향을 받는다. Path loss 외에 실내에서 발생하는 shadow 페이딩은  $d_{BP}$ 에 따라 <표 2>와 같이 정의된다.

$$L(d) = L_{FS}(d), \quad d \leq d_{BP}$$

$$L(d) = L_{FS}(d_{BP}) + 35 \log_{10}(d/d_{BP}), \quad d > d_{BP}$$

### ● 용어해설 ●

방위각 전력분포(PAS: Power Azimuth Spectrum): 송신 충격파에 따라 수신되는 전력분포로서 다양한 방향에서 입사되는 충격파 echo들의 수신 도래각 대비 수신 전력의 프로파일을 일컫음

<표 2> TGn Path Loss 모델 파라미터

New Model	$d_{BP}$ (m)	Slope before $d_{BP}$	Slope after $d_{BP}$	Shadow fading std. dev. (dB) before $d_{BP}$ (LOS)	Shadow fading std. dev. (dB) after $d_{BP}$ (NLOS)
A(optional)	5	2	3.5	3	4
B	5	2	3.5	3	4
C	5	2	3.5	3	5
D	10	2	3.5	3	5
E	20	2	3.5	3	6
F	30	2	3.5	3	6



나. MIMO 채널 행렬

TGn 모델에서 MIMO 채널 행렬의 특징은 실내 환경을 고려하여 LOS 영향과 NLOS 환경을 동시에 고려하는 점이다.

식 (1)과 같이 Ricean Factor K를 이용하여 전체 전력 P는 LOS 행렬  $H_F$ 와 NLOS 행렬  $H_v$ 로 구성된다. LOS 행렬  $H_F$ 에서  $\phi$ 는 LOS 방향을 나타내며 NLOS 행렬  $H_v$ 의 행렬 요소 X는 (2) 또는 (3)과 같이 상관행렬을 이용하여 구한다.

$$H = \sqrt{P} \left( \sqrt{\frac{K}{K+1}} H_F + \sqrt{\frac{1}{K+1}} H_v \right)$$

$$= \sqrt{P} \left( \sqrt{\frac{K}{K+1}} \begin{bmatrix} e^{j\phi_{11}} & e^{j\phi_{12}} & e^{j\phi_{13}} & e^{j\phi_{14}} \\ e^{j\phi_{21}} & e^{j\phi_{22}} & e^{j\phi_{23}} & e^{j\phi_{24}} \\ e^{j\phi_{31}} & e^{j\phi_{32}} & e^{j\phi_{33}} & e^{j\phi_{34}} \\ e^{j\phi_{41}} & e^{j\phi_{42}} & e^{j\phi_{43}} & e^{j\phi_{44}} \end{bmatrix} + \sqrt{\frac{K}{K+1}} \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{13} & X_{14} \\ X_{21} & X_{22} & X_{23} & X_{24} \\ X_{31} & X_{32} & X_{33} & X_{34} \\ X_{41} & X_{42} & X_{43} & X_{44} \end{bmatrix} \right) \quad (1)$$

$$[X] = [R_{rx}]^{1/2} [H_{iid}] ([R_{tx}]^{1/2})^T \quad (2)$$

$$[X] = \{[R_{tx}] \otimes [R_{rx}]\}^{1/2} [H_{iid}] \quad (3)$$

이때  $R_{tx}$ ,  $R_{rx}$ 는 송신 및 수신 안테나의 상관행렬이며  $H_{iid}$ 는 평균값이 0이고 분산이 1인 독립적인 Gaussian 분포를 갖는 random 변수이다. 또한 안

테나 상호간의 상관값은 METRA의 경우와 같이 도래각과 방위각 전력 분포(PAS)에 따라 (4)와 같이 주어진다.

$$\rho = R_{xx}(D) + jR_{xy}(D)$$

$$R_{xx}(D) = \int_{-\pi}^{\pi} \cos(D \sin \phi) PAS(\phi) d\phi \quad (4)$$

$$R_{xy}(D) = \int_{-\pi}^{\pi} \sin(D \sin \phi) PAS(\phi) d\phi$$

다. 광대역 채널 구현

TGn 모델의 광대역 무선 채널 구현의 특징은 클러스터 개념을 도입한 것으로 각 클러스터는 서로 다른 지연을 갖는 다중경로로 구성되며 한 클러스터의 공간정보—예를 들면 도래각, 발산각 및 angular spread—is 해당 클러스터에서 공통이다. <표 3>은 그 예로써 TGn model B 광대역 채널 파라미터를 나타낸 것으로, model B에서는 두 개의 서로 다른 공간 정보를 갖는 클러스터로 구성되며 각 클러스터는 정의된 지연시간과 전력을 갖는 다중 경로로 구성된다. 여기서 또 다른 하나의 특징은 특정 지연 시간에 서로 다른 공간정보를 갖는 다중 경로가 복수로 존재한다는 점이다(path overlapping). 이것은 측정 데이터를 통한 경험적인 결과에 근거하며 클러스터 개념은 이러한 물리 현상을 잘 설명할 수 있다.

<표 3> TGn Model B 광대역 채널 파라미터

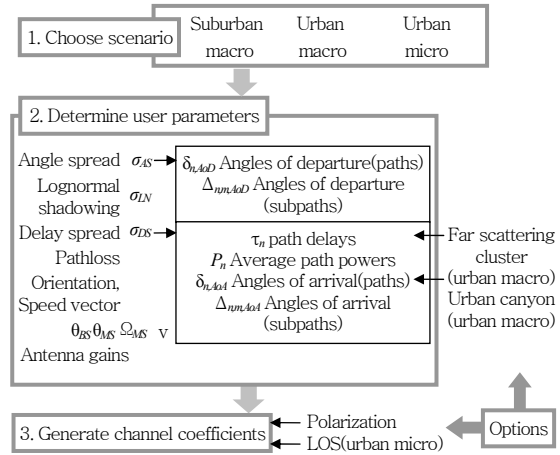
	Tap index	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Excess delay(ns)	0	10	20	30	40	50	60	70	80
Cluster 1	Power(dB)	0	-5.4	-10.8	-16.2	-21.7				
	AoA(°)	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3				
	AS_receiver(°)	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4				
	AoD(°)	225.1	225.1	225.1	225.1	225.1				
	AS_transmitter(°)	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4				
Cluster 2	Power(dB)			-3.2	-6.3	-9.4	-12.5	-15.6	-18.7	-21.8
	AoA(°)			118.4	118.4	118.4	118.4	118.4	118.4	118.4
	AS_receiver(°)			25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2
	AoD(°)			106.5	106.5	106.5	106.5	106.5	106.5	106.5
	AS_transmitter(°)			25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4

### 3. 3GPP SCM 모델

SCM 모델[4]은 2003년 3GPP/3GPP2 ad-hoc 회의에서 개발한 채널 모델로서 2GHz 이하 5MHz 대역폭을 갖는 MIMO 시스템 성능 평가를 그 목적으로 한다. 앞에서 기술한 METRA 및 TGn 모델이 확률적인 모형(stochastic modeling)을 이용한다면 SCM 모델은 전파 ray의 물리적 현상을 이용한 확정적인 방법과, 여기에 사용된 채널 파라미터(전력, 수신 도래각, 지연 확산, 도래각 확산 등)를 확률적(stochastic)으로 생성시켜 결합하는 소위 geometry (또는 ray)-based stochastic 채널 모델이라 할 수 있다. 이 구조는 METRA 및 TGn과 같은 상관관계를 이용하는 모델의 단점인 통계적 객관성을 제공한다.

SCM의 채널 행렬 생성과정은 (그림 4)와 같이 세 종류의 전파환경 중 시나리오의 선택과 단말기의 거리 및 안테나를 기준으로 하는 각도를 선택하면서

시작된다. 따라서 이 모델의 성능평가는 시스템 레벨 시뮬레이션에 국한되며 선택되는 시나리오에 따라 생성되는 채널 파라미터 값이 다르다. 수신 이동



(그림 4) 3GPP SCM의 채널 행렬 생성 과정

〈표 4〉 3GPP SCM 채널모델 파라미터

Channel Scenario	Suburban Macro	Urban Macro	Urban Micro
Number of paths( $N$ )	6	6	6
Number of sub-paths( $M$ ) per-path	20	20	20
Mean AS at BS AS at BS as a lognormal RV $\sigma_{AS}=10^{(\epsilon_{AS}\chi + \mu_{AS})}$ , $\chi \sim \eta(0,1)$	$E(\sigma_{AS}) = 5^\circ$ $\mu_{AS} = 0.69$ $\epsilon_{AS} = 0.13$	$E(\sigma_{AS}) = 8^\circ, 15^\circ$ $8^\circ \mu_{AS} = 0.810$ $\epsilon_{AS} = 0.34$ $15^\circ \mu_{AS} = 1.18$ $\epsilon_{AS} = 0.210$	NLOS: $E(\sigma_{AS}) = 19^\circ$ N/A
$r_{AS} = \sigma_{AoD} / \sigma_{AS}$	1.2	1.3	N/A
Per-path AS at BS(Fixed)	2deg	2deg	5deg(LOS and NLOS)
BS per-path AoD Distribution standard distribution	$\eta(0, \sigma_{AoD}^2)$ where $\sigma_{AoD} = r_{AS} \sigma_{AS}$	$\eta(0, \sigma_{AoD}^2)$ where $\sigma_{AoD} = r_{AS} \sigma_{AS}$	$U(-40deg, 40deg)$
Mean AS at MS	$E(\sigma_{AS,MS}) = 68^\circ$	$E(\sigma_{AS,MS}) = 68^\circ$	$E(\sigma_{AS,MS}) = 68^\circ$
Per-path AS at MS(fixed)	$35^\circ$	$35^\circ$	$35^\circ$
MS Per-path AoA Distribution	$\eta(0, \sigma_{AoA}^2(\text{Pr}))$	$\eta(0, \sigma_{AoA}^2(\text{Pr}))$	$\eta(0, \sigma_{AoA}^2(\text{Pr}))$
Delay spread as a lognormal RV $\sigma_{DS}=10^{(\epsilon_{DS}\chi + \mu_{DS})}$ , $\chi \sim \eta(0,1)$	$\mu_{DS} = -6.80$ $\epsilon_{DS} = 0.288$	$\mu_{DS} = -6.18$ $\epsilon_{DS} = 0.18$	N/A
Mean total RMS Delay Spread	$E(\sigma_{DS}) = 0.17\mu s$	$E(\sigma_{DS}) = 0.65\mu s$	$E(\sigma_{DS}) = 0.251\mu s(\text{output})$
$r_{DS} = \sigma_{delays} / \sigma_{DS}$	1.4	1.7	N/A
Distribution for path delays			$U(0, 1.2\mu s)$
Lognormal shadowing standard deviation, $\sigma_{SF}$	8dB	8dB	NLOS: 10dB LOS: 4dB
Path loss model(dB), $d$ is in meters	$31.5 + 35\log_{10}(d)$	$34.5 + 35\log_{10}(d)$	NLOS: $34.53 + 38\log_{10}(d)$ LOS: $30.18 + 26\log_{10}(d)$



〈표 5〉 WINNER SCME의 Path Loss 모델

Scenario		Suburban Macro	Urban Macro	Urban Micro
SCM path loss(dB), d is in m	NLOS	31.5+ 35.0log <sub>10</sub> (d)	34.5+ 35.0log <sub>10</sub> (d)	34.53+ 38.0log <sub>10</sub> (d)
	LOS	-	-	30.18+ 26.0log <sub>10</sub> (d)
SCM shad. std. dev.(dB)	NLOS	8	8	10
	LOS	-	-	4
Alternative short-range path loss(dB)	NLOS	7.17+ 38.0log <sub>10</sub> (d)	11.14+ 38.0log <sub>10</sub> (d)	31.81+ 40.5log <sub>10</sub> (d)
	LOS	30.18+ 26.0log <sub>10</sub> (d)	30.18+ 26.0log <sub>10</sub> (d)	30.18+ 26.0log <sub>10</sub> (d)
Alt. shad. std. Dev.(dB)	NLOS	10	10	10
	LOS	4	4	4
5 vs. 2GHz path loss	(N)LOS	+ 8dB	+ 8dB	+ 8dB

국의 위치와 시나리오가 정해지면 <표 4>에서 주어진 시나리오에 따른 채널모델 파라미터를 이용하여 송수신 각도 확산  $\sigma_{AS}$ , shadowing 분산  $\sigma_{LN}$  및 지연 확산값  $\sigma_{DS}$ 이 정해진다. 이 값을 이용하여 채널 계수 계산에 필요한 정보—예를 들어, 도래각  $\theta_{AoA}$ , 발산 각  $\theta_{AoD}$ , 다중경로 지연  $\tau$ , 다중경로 전력  $P_n$  등—가 결정된다.

예를 들어 suburban macro 전파환경이 선택되었을 때 <표 5>의 채널 파라미터를 참고하여 S×U MIMO에서 n번째 다중경로 채널 계수  $h_{s,u,n}$ 은 (5)와 같이 표현된다.

$$h_{s,u,n}(t) = \sqrt{P_n/M} \left( \sum_{m=1}^M \sqrt{G_{BS}(\theta_{n,m,AoD})} \exp(jkd_s \sin(\theta_{n,m,AoD})) \times \sqrt{G_{MS}(\theta_{n,m,AoA})} \exp(j[kd_u \sin(\theta_{n,m,AoA}) + \Phi_{n,m}]) \right) \times \exp(jk\|v\| \cos(\theta_{m,n,AoA} - \theta_v)t) \quad (5)$$

이 때 생성되는 다중경로의 수(n)는 6이며 각각의 다중경로는 20개(M)의 정현파의 합으로 페이딩을 구현하고,  $G_{BS}$  및  $G_{MS}$ 는 각각 송수신 안테나 이득이다. SCM 모델이 확정적이라는 표현은 (5)를 이용하여 rayleigh 페이딩을 구현하는 데 있어서 모든 파라미터가 확정적이라는 사실에 있다. 즉 (5)는 한번의 무선 채널 모사 환경을 나타낼 뿐 (snapshot이라고도 함) 또 다른 ensemble을 표현하는 경우는 채널 파라미터의 값이 변하게 된다. 하지만 서로 다르게 생성되는 채널 계수는 평균적인 관점에서 볼

〈표 6〉 채널 Snapshot 예제

채널 Snapshot	다중경로별 도래각						Angular Spread
	1	2	3	4	5	6	
1	$\alpha_{11}$	$\alpha_{12}$	$\alpha_{13}$	$\alpha_{14}$	$\alpha_{15}$	$\alpha_{16}$	$\sigma_{AS1}$
2	$\alpha_{21}$	$\alpha_{22}$	$\alpha_{23}$	$\alpha_{24}$	$\alpha_{25}$	$\alpha_{26}$	$\sigma_{AS2}$
...	...	...	...	...	...	...	...
N	$\alpha_{N1}$	$\alpha_{N2}$	$\alpha_{N3}$	$\alpha_{N4}$	$\alpha_{N5}$	$\alpha_{N6}$	$\sigma_{ASN}$

$E[\sigma_{AS}] = 68^\circ$

때 <표 4>의 조건을 만족시킨다. 간단한 예로써 suburban macro 셀 환경에서  $E(\sigma_{AS, MS}) = 68^\circ$ 의 조건은 이동국 수신 환경에서 6개의 다중경로 도래각의 composite angular spread 값이  $68^\circ$ 임을 나타내므로 <표 6>의 예와 같이 각 snapshot 마다 매우 다양한 도래각이 생성됨을 알 수 있다.

SCM은 ray-based 채널모델이므로 METRA와는 달리 안테나 형상에 영향을 받지 않는 특징이 있다.

#### 4. WINNER SCME 모델

무선 전송기술의 발달은 전송 용량 증대를 위하여 다중안테나의 사용과 더 넓은 대역폭의 사용을 선호한다. 5MHz 대역폭으로 제한적인 3GPP SCM 모델을 현재 진행중인 10, 20, 40MHz 대역폭을 지향하는 무선 전송 기술검증에 사용하기 위해서는 대역폭의 확장이 필요하며, 이것은 다중 경로 수의 증가와 분해능에 직접적인 영향을 준다. 유럽의 WINNER project에서는 이를 위하여 기존의

SCM을 이용하여 최대 100MHz 대역폭을 수용하고 5GHz 대역까지 사용 가능한 SCME 모델[5]을 2005년 발표하였다. 이 모델은 B3G 시스템 개발을 위한 잠정 모델로서 Interim B3G 채널 모델이라 불리기도 한다.

기존 SCM 모델과 비교할 때 주요 변경부분은 다음과 같다.

- 2GHz 및 5GHz 대역 사용
- 실내용 모델로 802.11 TGn 모델을 사용
- 실외용 모델은 3GPP SCM을 기초로 확장한 형태
- 대역폭은 5~100MHz(B3G 목표)
- 모델 내에 time-evolution 기능을 추가
- 모든 시나리오에 LOS를 고려
- 링크레벨 시뮬레이션을 위한 TDL 모델을 제시

#### 가. Path Loss 모델

실외 환경에서 5km 이내의 path loss 모델은 제시된 <표 7> 또는 COST-WI(Walfisch-Ikegami) 모델을 사용한다. 여기서 특이한 사항은 5GHz 대역에서 path loss는 2GHz 대역에서 제시된 path loss 모델에서 일률적으로 8dB의 감쇄를 고려한 점이다.

#### 나. 대역폭 확장

채널 모델에서 대역폭이란 다중경로의 분해능을 의미한다. 예를 들어 100MHz 채널 모델은 다중 경로 지연시간이  $1/100\text{MHz}=10\text{nsec}$  이상인 경우, 두 경로를 구분하여 처리한다는 의미로서 5MHz와 100MHz 채널 모델을 비교할 때, 단순히 분해능뿐만 아니라, 다중경로의 수와 주파수 선택도에 많은

영향을 준다. 3GPP SCM에서는 6개의 다중경로가 정의되는데 각각의 path는 동일한 지연시간을 갖는 20개의 subpath로 구성된다. 그러나 SCME에서는 대역폭이 확장되면서 주파수 선택도의 변화를 세밀히 표현하기 위하여 'midpath'를 정의하여 하나의 다중경로를 구성하는 20개의 subpath를 <표 7>과 같이 3종류 또는 4종류로 그룹핑하여 서로 다른 지연 시간을 부여한다.

이것은 100MHz 대역폭 채널 모델을 위한 제안으로 현재 3GPP/3GPP2에서는 복잡도와 성능(BLER 및 capacity) 측면에서 지속적인 검토가 이루어지고 있다.

#### 다. Time Evolution

3GPP SCM 모델에서 생성되는 하나의 무선 채널 ensemble(snapshot 또는 drop이라고도 함)에서는 quasi-static 채널을 가정한다. 즉 ensemble 내에서는 채널을 생성시키는 파라미터가 고정되어 이 구간 내에서 채널 파라미터의 시간 변화를 허용하지 않는다. SCME의 새로운 특징 중의 하나는 동적인 채널 변화를 수용한 것으로 속도에 따라 다중경로를 표현하는 요소인 지연과 공간정보(도래각)가 이동국의 움직임에 따라 변화하도록 규정한다. 기지국과 이동국의 거리가 먼 경우 상대적으로 이 요소에 관한 시간 변화가 미미하여 동적 특성이 전체 채널 계수에 주는 영향은 크지 않다.

## IV. 차세대 무선 채널모델 이슈

지속적인 채널 연구는 불규칙한 무선 채널의 극

<표 7> WINNER SCME Subpath 할당 및 방위각 분포

Mid-path	3 Mid-path Configuration			4 Mid-path Configuration		
	Pwr	Subpaths	$AS_i / AS_n$	Pwr	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

복을 넘어 물리적인 현상을 역으로 이용하는(예: diversity) 연구 결과를 제공한다. 현재 차세대 이동통신 시스템을 위한 채널모델 연구에 관한 주요 open issue를 살펴보면 다음과 같다.

#### 1) 전파특성에 관한 이슈

- 새로운 주파수 대역 3~6GHz의 전파 특성 연구
- Diffuse 산란 및 클러스터 현상에 관한 규명
- 동적인 채널 모델 연구
- Small scale 페이딩 및 large scale 페이딩의 상관관계 규명

#### 2) 이동통신 시스템 파라미터에 관한 이슈

- 대역폭 변화에 따른 채널모델 변화 (Scalable 대역폭: 10 ... 100MHz)
- Multi-band operation
- 다중안테나 구성에 따른 필요 파라미터 연구

#### 3) 채널 측정 및 모델링에 관한 이슈

- 안테나 구성에 독립적인 측정 및 채널모델링
- Multi-hop 또는 ad-hoc의 경우 전체 링크를 표현할 수 있는 등가 채널모델 연구
- 다차원 채널모델(시간, 공간, 주파수 영역)
- MIMO 무선 채널의 reciprocity

## V. 한국형 무선 채널모델 연구

채널모델 연구는 선진 IT 기술연구에 수반되는 기초 연구이자 이동통신 연구의 국가적 인프라에 해당하는 중요한 자원으로 인식된다. 그러나 차세대 이동통신 분야를 위한 채널모델 연구는 몇 가지 확실한 환경적인 요소가 있다. 우선 주파수 대역 측면에서 차세대 이동통신 시스템의 특징은 IMT-2000 및 PCS 경우와는 달리 적용 주파수 대역이 미리 선정되지 않은 점이다. 이는 WRC-07에서 결정 예정이며 현재 ITU-R WP8F에서 국가 간의 global roaming을 위한 차세대 이동통신 후보 주파수 대역

의 논의가 활발히 이루어지고 있다. 또 다른 특징은 논의되는 3~6GHz 범위의 후보 주파수 대역에 관한 채널 특성연구가 세계적으로 시작 단계에 있다는 점이다. 즉 path loss 모델을 포함한 기존의 채널 특성 연구는 주로 2GHz 이하 대역에 해당하며, 3GHz 이상 대역의 특성 연구를 위해서는 다양한 측정 캠페인을 통한 새로운 채널모델링 시도가 필요하다.

이를 위하여 이동통신연구단에서는 차세대 이동통신 시스템 개발과 병행하여 ‘차세대 이동통신 무선 공간 채널 연구과제’를 정보통신부 정책지정 과제(2005-2008)로 수행하고 있으며 주요 목표는 다음과 같다.

- 광대역 다중안테나 채널 측정 시스템 개발 (최대 100MHz 대역폭, MIMO 수용)
- 한국 지형특성을 기초로 필드 측정 수행
- 무선 채널 측정 데이터베이스 구축
- 한국형 무선공간 채널모델 개발

독립 과제로서 본격적인 채널모델 연구의 시도라 할 수 있는 본 연구는, 개발중인 ETRI 광대역 MIMO channel sounder(ETRI BECS)를 활용하여 한국의 대표적 전파 환경을 대상으로 통계적인 대표성을 갖는 SCM 파라미터를 제시할 예정이다. 한국 지형을 고려한 채널 모델의 사용은 외국에 의존 채널모델을 대신하여 향후 차세대 이동통신 시스템 개발을 위해 제시될 예정이며, 필드 측정 DB를 통하여 무선 전송 기술에 대한 보다 구체적인 성능 평가 환경을 제공할 것으로 기대된다.

## 약어 정리

B3G	Beyond 3G
BECS	Band Exploration and Channel Sounding System
BER	Bit Error Rate
ESPRIT	Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariance Technique
FER	Frame Error Rate
FIR	Finite Impulse Response

LOS	Line of Sight
METRA	Multi-Element Transmit and Receive Antennas
MIMO	Multiple Input Multiple Output
NLOS	Non LOS
PAS	Power Azimuth Spectrum
SAGE	Space Alternating Generalized Expectation Maximization
SCM	Spatial Channel Model
SCME	SCM Extended
TDL	Tap Delayed Line
UHF	Ultra High Frequency
VHF	Very High Frequency
WINNER	Wireless World Initiative New Radio
WLAN	Wireless LAN
WRC	World Radio communication Conference

## 참 고 문 헌

- [1] Tommi Jämsä et al., "Multi-Dimensional Radio Channel Measurement and Modeling for Future Mobile and Short-Range Wireless Systems," 15th WWRWF WG4 & WG5 White Paper, Dec. 2005.
- [2] IST-METRA project(<http://www.ist-metra.org>)
- [3] V. Erceg, L. Schumacher, P. Kyritsi, A. Molisch, and D.S. Baum et al., "TGn Channel Models," IEEE 802.11-03/940r2, Jan. 2004.
- [4] 3GPP, "Spatial Channel Model for MIMO Simulations, TR 25.996 V6.1.0, Sep. 2003. [Online]. Available: <http://www.3gpp.org/>
- [5] D.S. Baum, J. Salo, G. Del Galdo, M. Milo-jevic, P. Kyösti, and J. Hansen, "An Interim Channel Model for Beyond-3G Systems," in *Proc. IEEE Vehicular Technology Conf. 2005 Spring*, Stockholm, May 2005.