

차세대 이동통신용 무선공간 채널모델 연구

박재준 | 정현규
한국전자통신연구원

요약

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 본격화 되면서 안테나를 포함한 공간 채널(spatial channel)의 수학적 표현 및 전파 현상 분석이 이동통신 시스템 개발에 중요한 역할을 수행한다. 본 고에서는 최근 WINNER 등에서 제시하는 B3G (Beyond 3G) 시스템 개발을 위한 채널 모델링 과정과 대표적인 다중안테나 무선공간 채널모델 연구의 현황을 소개하며, 또한 차세대 이동통신을 위한 채널 모델링의 주요 연구 이슈를 소개한다.

1. 서론

무선 통신에 대한 급격한 수요증대와 이동통신 서비스 가입자의 폭발적인 증가는 차세대 이동통신 시스템 개발의 최적화를 요구하고 있다. 경쟁력 있는 차세대 무선 전송기술의 개발과 효율적인 주파수 사용 연구는 정확한 무선 채널 특성의 파악을 기초로 하고 있다. 현재의 무선 채널 모델은 800 MHz ~ 2.5 GHz 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 (Single Input Single Output) 용 채널 모델을 표준으로 제시하고 있다. 차세대 이동통신 시스템의 주요 특징인 고속 전송, 주파수의 고 효율성 및 다중안테나 기술의 적용을 위하여 요구되는 다중안테나 무선공간 채널 모델은 현재 표준이 진행중인 상태이며, 기존의 2G/3G 채널 모델로는 다양한 차세대 시스템 개발에 필요한 기술적 욕구를 충족하기 힘든 상태이다. 차세대 이동통신 시스템의 개발 측면에서는 개발 시스템의 성능 검증이 필수이며, 검증을 위해서는 정확한 무선공간 채널의 모사가 필요하다. 이 모사 기능은 주파수, 시간, 공간 및 편파 등 차세대 무선 전송의 응용 요소를 포함한 정확한 모델에 기초하여야 한다.

차세대 이동통신 시스템 개발을 위한 무선공간 채널모델 연구는 사용 주파수 대역 측면에서의 주파수 연구와 통신 시스템 설계측면에서 무선 공간 채널 파라미터 연구로 분류할 수 있다. 차세대 이동통신 서비스를 제공하는 주파수 대역 연구에는 후보 주파수 대역에서의 전파 특성을 고려하여 Global Harmonization을 위해 공용 주파수 대역을 선정하기 위한 국제적인 노력이 진행 중이며 WRC 2007에서 본격적인 논의가 시작될 전망이다. 통신 시스템 설계측면에서 무선 공간 채널 파라미터 연구는 (그림 1)과 같이 기존의 Propagation Channel 연구에서 다중 안테나를 포함한 Radio Channel로 발전하고 있으며 무선 전송기술의 성능 평가를 위하여 Digital Channel을 포함하는 종합적인 통신 채널 연구가 진행 중이다.

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.

이동통신 시스템 개발에서 정확한 성능 검증을 위하여 무선공간 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, 실행 시간 및 복잡도에 관한 현실적인 요구와 같은 성능 검증의 객관성 만족이 그것이다.

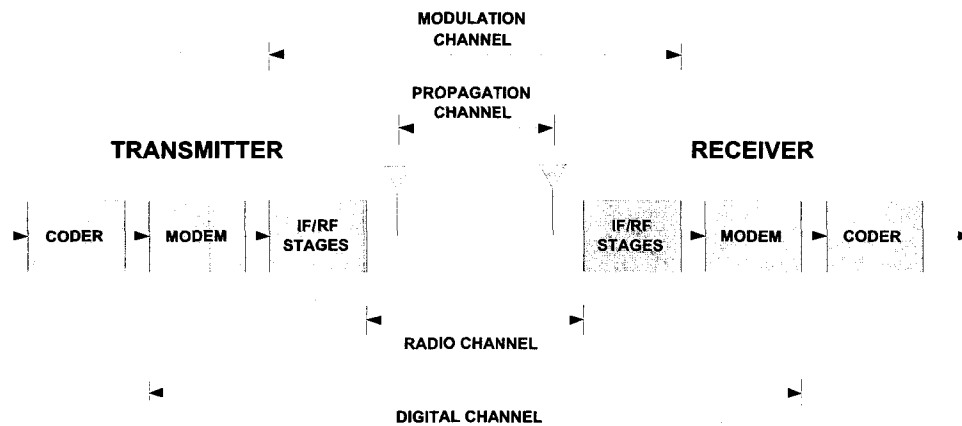
이동통신 환경에서의 실제적인 전파전파 현상은 반사, 투과, 회절 및 분산 현상에 의하여 매우 복잡한 특성을 나타내며 분석적인 도구(수학적 모델링)를 이용하여 표현하는 데는 한계가 있다. 즉 전파전파 현상은 반송 주파수, 대역폭, 전파환경(실내외, 도시지역, 거주지역, 지형 및 건물 재질 구조 등)에 따라 다르므로 채널 측정 시스템(channel sounder)을 이용한 반복적인 실측 데이터를 이용하여 현상을 규명한다. 전파전파 현상을 표현하기 위하여 채널모델은 통계적인 방법(stochastic model)과 확정적인 방법(deterministic model)을 사용하는데, 전자는 주어진 전파환경에서의 반복 측정을 통하여 통계적으로 대표되는 모델 파

라미터를 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 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.

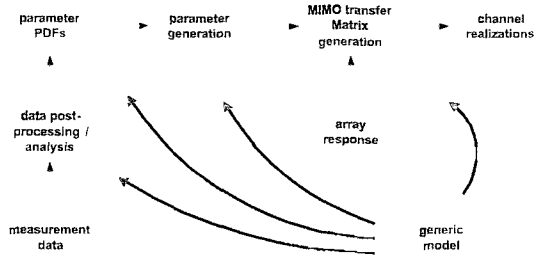
- 최대 또는 rms 지연확산 및 분포
- 다중경로의 수 및 분포
- Power Delay Profile(PDP)
- 다중경로별 small-scale fading 및 complex gain
- 도플러 효과
- MIMO channel matrix
- 송수신 안테나간의 공간 상관관계
- 송수신 안테나의 도래각 및 발산각(azimuth 및 elevation)
- 편파
- Shadowing 효과 및 거리에 따른 감쇄 등

위의 파라미터는 반송 주파수 대역(VHF, UHF, 마이크로웨이브, 밀리미터웨이브), 협대역/ 광대역bandwidth, 다중



(그림 1) 무선 채널의 분류

II. 차세대 이동통신 무선공간 채널모델링



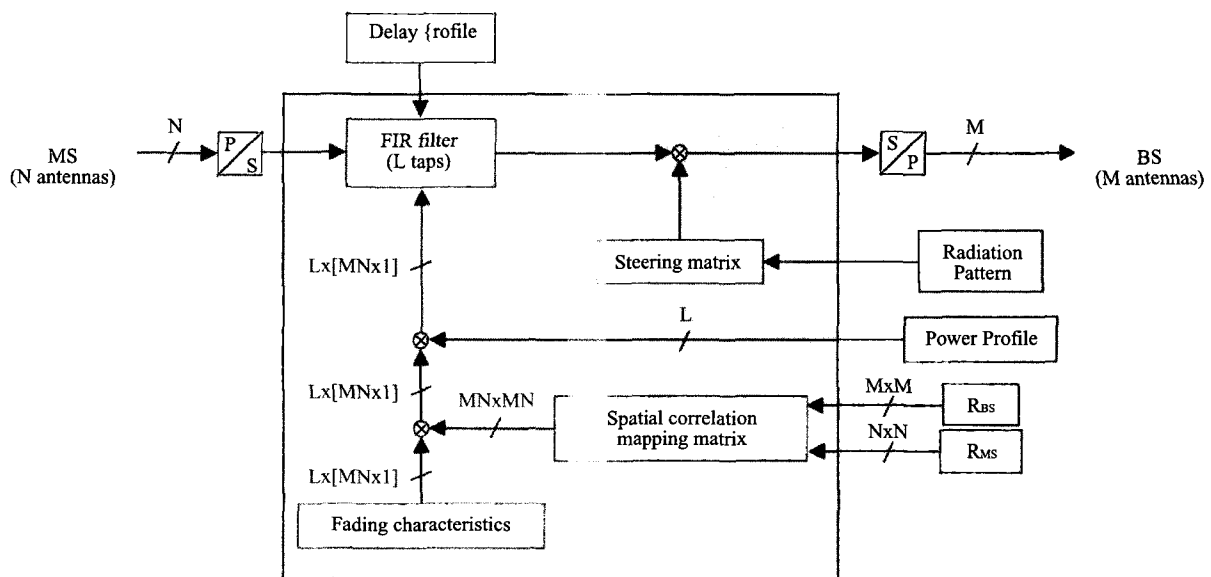
(그림 2) 유럽 IST WINNER 프로젝트의 무선채널 모델링 과정

안테나, 전파환경 (살내외, urban, suburban, rural 등)에 따라 동일하지 않으므로 이동통신 시스템의 운용 환경에 따라 적합한 채널 모델이 요구된다[1]. 또한 실행시간 및 복잡도에 관한 현실적인 요구사항은 채널 모델의 정확도 및 간편한 실행환경으로 서로 trade-off 관계가 있다[2].

본 고에서는 개요에 이어 II장에서는 최근 WINNER에서 제시하는 B3G 시스템 개발을 위한 채널 모델링 과정을 소개하고, III장에서는 대표적인 다중안테나 무선 채널 모델에 관한 내용을 소개한다. IV장에서는 차세대 이동통신을 위한 채널모델링의 주요 연구이슈와 함께 결론을 V장에서 기술한다.

차세대 이동통신 시스템의 성능 목표는 이동환경에서 100 Mbps 및 hot-spot 지역에서 1 Gbps의 전송속도 제공이며, 후보 무선전송기술의 링크 및 시스템 레벨 시뮬레이션을 위하여 광대역 무선공간 채널모델의 필요성이 다양한 표준 기구에서 제기되고 있다. 공통사항으로는 2-6 GHz 주파수 대역에서의 100 MHz 대역폭을 지원하는 표준 모델의 정립이며 2003년 3GPP/3GPP2의 SCM(Spatial Channel Model) 발표[3] 이후 유럽 WINNER 프로젝트에서 본격적으로 다루기 시작하였다[4][5].

WINNER에서 추구하는 채널 모델링 과정은 (그림 2)와 같이 광대역 및 MIMO 특성을 지원하기 위하여 plane wave(ray 또는 path)를 가정한 확정적인 generic 모델을 기초로 한다. 여기서 generic 모델이란 SCM에서 정의한 채널 계수(matrix) 생성 모델로서 20개의 정현파(sinusoidal plane wave)의 합으로서 하나의 독립적인 페이딩 채널을 생성한다. 각각의 plane wave는 확률적으로(stochastic) 생성된 파라미터(예를 들어, 진폭, 위상, 발산각, 도래각, 편파 등)와 안테나 조정 vector를 사용하여 공간 정보를 표현한



(그림 3) METRA 채널모델의 채널행렬 생성 흐름도

다. Generic 모델을 이용하여 궁극적으로 MIMO 채널계수를 생성하기 위해서는 generic 모델에 사용하는 파라미터가 필요하며, 이것을 확률적으로 발생시키기 위한 PDF (Probability Density Function) 는 통계적인 대표성을 갖는 전파 환경별로 반복된 실내의 측정을 통하여 얻는다. 이때 사용되는 후처리 S/W는 superresolution과 같은 신호처리 기법을 이용한다. 국가별 전파 환경별 실측 데이터가 필요한 이유는 동일한 generic model 을 사용하더라도 물리환경을 대표하는 확률 파라미터가 다른 경우, 채널계수가 상당한 차이를 보일 수 있기 때문이다. 따라서 궁극적으로 channel realization을 제공하는 채널모델의 개발은 표준화된 generic 모델의 이용을 가정할 때 지형, 지물 및 전파환경의 특성을 반영하는 실측 데이터를 기반으로 특성 파라미터를 규정하고 이를 표준화에 반영하는 것이라 할 수 있다.

III. 광대역 MIMO 무선공간 채널모델

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

3.1. METRA

METRA[6] 채널모델은 2001년 종료된 유럽의 IST METRA 프로젝트 “WP2 Channel Character-ization” 의 결과물로서, MIMO 환경에서의 무선채널에 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 N개의 송신 입력을 받아 M개의 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 fading 을 발생시킨 다음 FIR 필터의 각 tap에 입력시킴으로써 TDL(Tapped Delay Line) 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 이용하거나 이론식을 이용하는데 이론식을 이용하는 경우는 시뮬레이션을 수행 하려는 전파환경의 도래각 (direction of arrival), 방위각 전력분포(PAS) 및 rms (root mean square) 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

<표 1> 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 dBp (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

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.

3.2. 802.11 TGn 모델

IEEE 802.11의 High Throughput Task Group (TGn)에서 2004년 발표한 채널모델로서(7) 2GHz 및 5GHz 대역의 실내용 WLAN(Wireless LAN) 시스템 개발에 사용한다. 이 모델은 SISO 및 MIMO 채널의 협대역 path loss 및 광대역 특성을 규정하며, 실내 전파환경을 6 종류로 구분하여 Model A-F를 제공한다. 주요 특징을 요약하면 다음과 같다.

- MIMO 구현 관점: 상관행렬을 이용한 안테나간의 상관 정도 구현
- 광대역 구현 관점: COST259 모델을 근거한 Cluster 개념의 도입

METRA 채널모델과 같이 안테나 상호간의 페이딩은 주어진 상관행렬에 따라 확률적으로 생성되며, 광대역 특성을

나타내는 다중 경로의 시간지연은 복수의 cluster를 통하여 구현된다. 이 때 cluster란 전파환경에서 어느 정도 동질성을 갖는 다중경로 그룹이라 할 수 있으며 이것은 다중경로를 발생시키는 산란체가 동일한 도래각 및 angular spread 값을 제공한다고 가정한다.

실내 환경에서 각 세부 모델별로 break point 거리 d_{BP} 가 정의되며 이 거리 내에서는 자유 공간의 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 1)과 같이 정의된다.

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

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

TGn 모델의 광대역 무선채널 구현의 특징은 cluster 개념을 도입한 것으로 각 cluster는 서로 다른 지연을 갖는 다중 경로로 구성되며 한 cluster의 공간정보 - 예를 들면 도래각, 발산각 및 angular spread - 는 해당 cluster에서 공통이다. 여기서 또 다른 하나의 특징은 특정 지연시간에 서로 다른 공

〈표 2〉 3GPP SCM 채널모델 환경 파라미터

Channel Scenario	Suburban Macro	Urban Macro	Urban Micro
Number of paths (M)	6	6	6
Number of sub-paths (M) per-path	20	20	20
Mean AS at BS	$E(\sigma_{AS})=5^\circ$	$E(\sigma_{AS})=8^\circ, 15^\circ$	NLOS : $E(\sigma_{AS})=19^\circ$
AS at BS as a lognormal RV $\sigma_{AS} = 10 \cdot (\epsilon_{AS} \cdot x + \mu_{AS}), x \sim \eta(0,1)$	$\mu_{AS} = 0.69$ $\epsilon_{AS} = 0.13$	$8^\circ \mu_{AS} = 0.810$ $\epsilon_{AS} = 0.34$ $15^\circ \mu_{AS} = 1.18$ $\epsilon_{AS} = 0.210$	N/A
$r_{AS} = \sigma_{AoD} / \sigma_{AS}$	1.2	1.3	N/A
Per-path AS at BS (Fixed)	2 deg	2 deg	5 deg (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°	35°	35°
MS Per-path AoA Distribution	$\eta(0, \sigma_{AoA}^2)$ (Pri)	$\eta(0, \sigma_{AoA}^2)$ (Pri)	$\eta(0, \sigma_{AoA}^2)$ (Pri)
Delay spread as a lognormal RV $\sigma_{DS} = 10 \cdot (\epsilon_{DS} \cdot x + \mu_{DS}), x \sim \eta(0,1)$	$\mu_{DS} = -6.80$ $\epsilon_{DS} = 0.288$	$\mu_{DS} = -6.18$ $\epsilon_{DS} = 0.18$	N/A
Mean total RMS Delay Spread	$E(\sigma_{DS}) = 0.17$ ms	$E(\sigma_{DS}) = 0.65$ ms	$E(\sigma_{DS}) = 0.251$ ms (output)
$r_{DS} = \sigma_{DS} / \sigma_{DS}$	1.4	1.7	N/A
Distribution for path delays			$U(0, 1.2\mu s)$
Lognormal shadowing standard deviation, σ_{SP}	8dB	8dB	NLOS : 10dBLOS: 4dB
Pathloss 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 : $30.18 + 26 \cdot \log_{10}(d)$

간정보를 갖는 다중 경로가 복수로 존재한다는 점이다 (path over-lapping). 이것은 측정 데이터를 통한 경험적인 결과에 근거하며 cluster 개념은 이러한 물리현상을 잘 설명한다.

3.3. 3GPP SCM 모델

SCM 모델[3]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 이동국의 위치와 시나리오가 정해지면 <표 2>에서 주어진 시나리오에 따른 채널모델 파라미터를 이용하여 송수신 각도 확산 σ_{AS} , shadowing 분산 σ_{SF} 및 지연 확산값 σ_{DS} 이 정해진다. 이 값을 이용하여 채널 계수 계산에 필요한 정보 -예를 들어, 도래각 θ_{AoA} , 발산각 θ_{AoD} , 다중경로 지연 τ , 다중경로 전력 P_n 등 -가 결정된다.

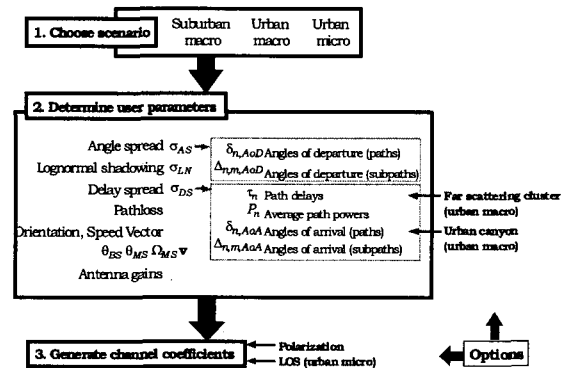
예를 들어 suburban macro 전파환경이 선택 되었을 때 <표 2>의 채널 파라미터를 참고하여 $U \times S$ MIMO에서 n 번째 다중경로 채널 계수 $h_{u,s,n}$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$h_{u,s,n}(t) = \sqrt{\frac{P_n \sigma_{SF}}{M}} \sum_{m=1}^M \begin{pmatrix} \sqrt{G_{BS}(\theta_{n,m,AoS})} \exp(jk d_s \sin(\theta_{n,m,AoS}) + \Phi_{n,m}) \times \\ \sqrt{G_{MS}(\theta_{n,m,AoS})} \exp(jk d_u \sin(\theta_{n,m,AoA}) \times \\ \exp(jk \|v\| \cos(\theta_{n,m,AoA} - \theta_v)) t \end{pmatrix}$$

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 확정적

이라는 표현은 상기 식을 이용하여 rayleigh 페이딩을 구현하는 데 있어서 모든 파라미터가 확정적이라는 사실에 있다. 즉 상기 식은 한번의 무선 채널 모사 환경을 나타낼 뿐(snapshot 이라고도 함) 또 다른 ensemble을 표현하는 경우는 채널 파라미터의 값이 변하게 된다. 하지만 서로 다르게 생성되는 채널 계수는 평균적인 관점에서 볼 때 <표 2>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° 임을 나타내므로 각 snapshot 마다 매우 다양한 도래각이 생성됨을 알 수 있다.

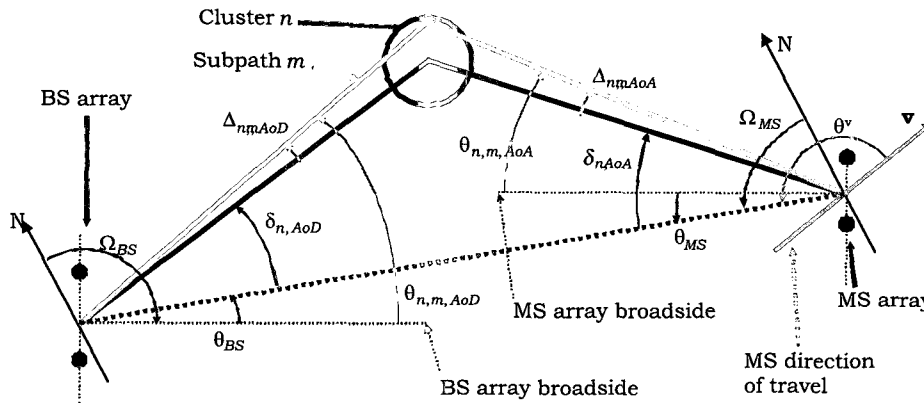
SCM은 ray-based 채널모델이므로 METRA와는 달리 안테나 형상에 영향을 받지 않는 특징이 있다.



(그림 4) 3GPP SCM의 채널 행렬 생성 과정

3.4. SCME 모델

무선 전송기술의 발달은 전송 용량 증대를 위하여 다중안테나의 사용과 더 넓은 대역폭의 사용을 선호한다. 5 MHz 대역폭으로 제한적인 3GPP SCM 모델을 현재 진행중인 10, 20, 40 MHz 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 100 MHz 대역폭을 수용하고 5 GHz 대역까지 사용 가능한 SCME 모델[4]을 2005년 발표하였다. 이 모델은 B3G 시스템 개발을 위한 잠정 모델로서 Interim B3G 채널 모델이라 불리기도 한다.



(그림 5) 3GPP SCM의 angle parameters

기존 SCM 모델과 비교할 때 주요 변경부분은 다음과 같다.

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

1) Path Loss 모델

실외 환경에서 5 km 이내의 SCM의 path loss 모델은 Suburban 과 Urban Macro 환경에서는 COST-Hata 모델을 사용하였고, Urban Micro 환경에서는 COST-WI(Walfisch-Ikegami) 모델을 사용한다. 여기서 특이한 사항은 SCME의 5 GHz 대역에서 path loss는 2GHz 대역에서 제시된 path loss 모델에서 일률적으로 8dB의 감쇄를 고려한 점이다.

2) 대역폭 확장

채널 모델에서 대역폭이란 다중경로의 분해능을 의미한다. 예를 들어 100 MHz 채널 모델은 다중 경로 지연시간이 1/100 MHz=10 nsec 이상인 경우, 두 경로를 구분하여 처리한다는 의미로서 5 MHz와 100 MHz 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 midpath를 정의하여 하나의 다중경로를 구성하는 20개의 subpath를 <표 3>과 같이 3종류 또는 4종류로 그룹핑하여 서로 다른 지연 시간을 부여한다. 이것은 100 MHz 대역폭 채널 모델을 위한 제안으로 현재 3GPP/ 3GPP2에서는 복잡도와 성능(BLER 및 capacity) 측면에서 지속적인 검토가 이루어지고 있다.

3) 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 변화

<표 3> SCME Midpath Power-Delay 파라미터

Scenario	Suburban Macro, Urban Macro		Urban Micro		
No. mid-paths per path	3		4		
Mid-path power & delay relative to paths	1	10/20	0 ns	6/20	0 ns
	2	6/20	7 ns	6/20	5.8 ns
	3	4/20	26.5 ns	4/20	13.5 ns
	4	-	-	4/20	27.6 ns

가 미미하여 동적 특성이 전체 채널 계수에 주는 영향은 크지 않다.

3.5. WINNER 모델

유럽에서는 차세대 이동통신 시스템 개발을 위하여 EU 회원국간 공동 협력을 취하고 있으며 연구개발을 포함한 시험 시스템 개발, 상용화 계획 등이 FP6 (Framework Program 6) 의 IST (Information Science and Technology) 프로젝트인 WWI(World Wireless Initiative)에서 진행되고 있다. WWI의 3개 프로젝트 중 무선전송 시스템 개발은 2004년부터 시작된 WINNER Project에서 담당하며 Channel Model은 Elektrobit이 의장으로 활동하는 WP5 분과에서 수행 중이다. 유럽의 WINNER WP5 Channel Model 분과는 차세대 이동통신 시스템의 개발 및 검증에 사용될 Generic Channel Model 을 개발 중에 있으며 2005년 말에 Phase I 모델[5]이 나왔으며 Phase II 모델은 2007년 말에 나올 예정이다. 현재는 Phase II interim 모델[8]이 나온 상태이다.

SCME 가 3GPP LTE의 요구에 의한 WINNER 채널모델의 초기 version이라면 WINNER Phase I 모델은 다음의 주요 특징을 포함한 보다 진보된 채널모델 이라 할 수 있다.

- indoor 및 outdoor 환경에 대한 Generic 채널모델 규정
- 세분화된 일곱가지의 전파환경(indoor hotspot, feeder link의 포함)
- LOS/NLOS 모델의 분리
- 안테나 독립적인 sum-of-rays-based stochastic 채널모델
- Link Level 성능비교를 위한 CDL(Cluster Delay Line) 모델 제시
- Time evolution과 multi-user/multi-base 제공
- 측정데이터를 기초로 한 채널모델
- Delay spread, angular spread, shadowing, large scale 파라미터들 간의 cross-correlation 등과 같은 다양한 채널 파라미터

WINNER Phase I 채널모델에 추가된 Phase II 채널모델의 특징은 다음과 같다.

- 2~6 GHz에 대하여 일반화된 채널모델
- 더욱 많은 전파환경(outdoor-to-indoor, indoor-to-outdoor, bad urban, moving networks feeder link)과 측

정데이터

- 하나 또는 두개의 주된 cluster에 대한 intra cluster delay spread 적용
- Large scale (LS) 파라미터들에 대한 auto-correlation 제공
- Delay, AoA/AoD에 대한 drifting 제공
- Drop 간에 smooth transition과 birth-death process 적용

<표 4> SCM, SCME 및 WINNER 채널모델의 기능 비교

Feature	SCM	SCME	WINNER I	WINNER II
Bandwidth > 100 MHz	No	Yes	Yes	Yes
Indoor scenarios	No	No	Yes	Yes
Outdoor-to-indoor and indoor-to-outdoor scenarios	No	No	No	Yes
AoA, AoD elevation	No	No	Yes	Yes
Intra-cluster delay spread	No	Yes	No	Yes
TDL model based on the generic model	No	Yes	Yes*	Yes
Cross-correlation between Large Scale Parameters	No	No	Yes	Yes
Time evolution of model parameters	No	Yes**	No	Yes

* TDL model is based on the same measurements as generic model, but analyzed separately.
** Continuous time evolution.

<표 5> SCM, SCME 및 WINNER 채널모델의 차이점 비교

Parameter	Unit	SCM	SCME	WINNER I	WINNER II
Max. bandwidth	MHz	5	100*	100**	100**
Frequency range	GHz	2	2~6	2~6	2~6
No. of scenarios		3	3	7	12
No. of clusters		6	6	4~24	4~20
No. of mid-paths per cluster		1	3~4	1	1~3
No. of sub-paths per cluster		20	20	10	20
No. of taps		6	18~24	4~24	4~24
BS angle spread	°	5~19	4.7~18.2	3.0~38.0	2.5~53.7
MS angle spread	°	68	62.2~67.8	9.5~53.0	11.7~52.5
Delay spread	Ns	170~650	231~841	1.6~313.0	16~630
Shadow fading standard deviation	dB	4~10	4~10	1.4~8.0	2~8

* artificial extension from 5 MHz bandwidth
** based on 100 MHz measurements

<표 4, 5>에서는 SCM, SCME 및 WINNER 채널모델의 차이점과 기능을 비교하였으며 website[9]에서는 위의 세 종류 무선채널 모델에 대한 matlab 구현 source 를 제공한다.

IV. 차세대 무선공간 채널모델 이슈

지속적인 채널모델 연구는 불규칙한 무선 채널의 극복을 넘어 물리적인 현상을 역으로 이용하는(예: diversity) 연구

결과를 제공한다. 현재 차세대 이동통신 시스템을 위한 무선공간 채널모델 연구에 관한 주요 open issue를 살펴 보면 다음과 같다.

1. 전파특성에 관한 이슈

- 새로운 주파수 대역 3-6 GHz의 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 ... 100 MHz)
- 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

후보 주파수 대역에 관한 채널 특성연구가 세계적으로 시작 단계에 있다는 점이다. 즉 path loss 모델을 포함한 기존의 채널 특성 연구는 주로 2 GHz 이하 대역에 해당하며, 3GHz 이상 대역의 특성 연구를 위해서는 다양한 측정 캠페인을 통한 새로운 채널모델링 시도가 필요하다.

광대역 다중안테나 무선채널 모델은 SCM, SCME 및 WINNER Phase I & II 모델을 중심으로 차세대 표준모델의 연구가 시작되고 있다. 차세대 이동통신 시스템 성능평가에 필요한 광대역 및 MIMO를 수용하는 무선공간 채널 표준모델 정립은 Generic Model의 정의와 여기에 사용되는 통계적 파라미터 선정의 큰 두 축으로 생각할 수 있다. 전자는 SCM을 기반으로 하는 Ray-based geometric model의 사용이 표준 모델로서 자리매김하고 있으며, 후자의 경우는 후보 주파수 대역 및 전파환경별 측정을 통하여 파라미터값을 제시하고 있다. (WINNER phase I model의 경우 7 종류의 측정 campaign을 통하여 파라미터 값을 제시함) 전자가 표준 모델로서 공통적으로 수용해야 한다면, 후자는 우리 나라 지형과 전파환경을 고려한 측정 campaign을 통하여 한국형 채널 파라미터를 제공할 수 있다. 따라서 무선채널 모델 연구는 측정 데이터를 기반으로 통계적인 대표성을 갖도록 지속적인 반복측정이 필요하며, 서구 도시의 전파환경을 반영한 종래의 채널모델로부터 인구 밀도가 높은 아시아 지역의 도시환경을 반영하는 채널 특성 연구가 필요하다.

V. 결 론

무선공간 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 불확실한 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 대역의 논의가 활발히 이루어지고 있다. 또 다른 특징은 논의되는 3-6GHz 범위의

참 고 문 헌

- [1] Tommi Jamsa et al., "Multi-Dimensional Radio Channel Measurement and Modeling for Future Mobile and Short-Range Wireless Systems," 15th WWRP WG4 & WG5 White Paper, Dec. 2005.
- [2] 3GPP TR 25.814 V1.2.2 (2006-03), "3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Physical Layer Aspects for Evolved UTRA (Release 7)."
- [3] 3GPP, "Spatial Channel Model for MIMO Simulations," TR 25.996 V6.1.0, Sep. 2003. [Online]. Available:

<http://www.3gpp.org/>

- [4] D.S. Baum, J. Salo, G. Del Galdo, M. Milojevic, P. Kyostti, and J. Hansen, "An Interim Channel Model for Beyond-3G Systems," in Proc. IEEE Vehicular Technology Conference 2005 Spring, Stockholm, May 2005.
- [5] D. S. Baum, H. El-Sallabi, et al., "Final report on link level and system level channel models," WINNER Deliverable D5.4, Oct. 2005, <https://www.ist-winner.org/>
- [6] IST-METRA project(<http://www.ist-metra.org>)
- [7] V. Erceg, L. Schumacher, P. Kyritsi, A. Molisch, and D.S. Baum et al., "TGN Channel Models," IEEE 802.11-03/940r2, Jan. 2004.
- [8] Pekka Kyosti, Juha Meinila, et al., "WINNER II interim channel models," WINNER Deliverable D1.1.1, Nov. 2006, <https://www.ist-winner.org/>
- [9] <https://www.ist-winner.org/implementations.html>



박재준

1997년 중앙대학교 제어계측학과 학사
 1999년 중앙대학교 제어계측학과 석사
 1999년 ~ 현재 한국전자통신연구원 선임연구원
 관심분야: 디지털 이동통신, 다중안테나 신호처리 알고리즘, 무선공간채널모델링



정현규

1981년 ~ 1985년 서울대학교 전기공학과 학사
 1986년 ~ 1988년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
 1996년 ~ 2000년 Polytechnic Univ. Electrical Engineering 박사
 1988년 ~ 1993년 한국통신 연구개발단 전임연구원
 1993년 ~ 1998년 SK 텔레콤 중앙연구원 책임연구원
 2001년 Lucent Technologies, Whippany, NJ Member of Technical Staff
 2001년 ~ 현재 한국전자통신연구원 이동통신연구단 차세대무선 전송연구팀장, 책임연구원
 관심분야: 이동통신, 무선전송방식, 전파전파, 무선채널모델링

