

4G 기술 평가를 위한 IMT-Advanced 시뮬레이터 구현 및 검증 (Implementation and Verification of IMT-Advanced Simulator for 4G Evaluation)

김대중^{*} 정광수^{**}
(Daejung Kim) (Kwangsue Chung)

요약 본 논문은 ITU가 추진 중인 4세대 이동통신 표준(IMT-Advanced)이 향후 개정될 때에도 변경된 사항을 용이하게 반영 가능한 시뮬레이션 아키텍처를 새롭게 제시하고 이를 바탕으로 시뮬레이터를 구현하였다. 그리고 Winner+가 개발한 Matlab 기반 시뮬레이터와 비교하여 신뢰성을 검증하였다. 아울러 4세대 이동통신 표준 평가 항목에 대해 모의실험을 통하여 결과 값을 얻고 이를 IEEE와 3GPP가 자체 실시한 평가결과 값과 비교하여 본 시뮬레이터의 우수성을 입증하였다.

키워드 : 4G 이동통신, IMT-Advanced, IEEE 802.16m, 평가, 시뮬레이션, ITU-R IMT-Advanced 채널 모델

Abstract This paper proposes a novel simulator which is capable of loading different modules enabling to update the simulator easily when the 4G mobile communication technologies are revised. This simulator is not only designed based on IMT-Advanced channel model but also confirmed its reliability through mutual verification with Matlab based simulator developed by Winner+. The proposed simulator was evaluated on the basis of evaluation requirements on the IMT-Advanced. By comparing with experimental results for IEEE and 3GPP, it was also proved for the simulator to have a better performance.

Key words : 4th Generation Mobile Communication, IMT-Advanced, IEEE 802.16m, ITU-R IMT-Advanced, Channel Model, Simulation

1. 서론

2000년에 3G라 일컫는 IMT-2000 표준이 제정된 이후로 근 10년 만에 국제전기통신연합(ITU; International Telecommunication Union)은 2011년에 4세대 이동통신 국제표준인 IMT-Advanced를 제정할 예정이다[1]. ITU로부터 IMT-Advanced 표준으로 승인을 받

으려면 M.1645 ITU Report에 규정된 최소 성능 요구 조건을 만족시켜야 하며, 제안된 기술의 성능 조건 만족 여부는 각 표준개발기관 및 외부 평가기관이 수행한 시뮬레이션 결과를 바탕으로 ITU-R의 WP5D 회의에서 최종 결정한다[2]. 한국은 정보통신기술협회의 PG707 그룹이 외부평가기관으로 등록되어 있으며 이 그룹에서 후보기술들에 대한 시뮬레이션을 수행하여 결과를 WP5D에 제출할 예정이다[3]. 현재 IMT-Advanced 표준의 후보기술로는 IEEE 802.16m 기술과 LTE-Advanced 기술이 제안된 상태이다.

본 연구에서는 M.1645 ITU Report의 성능 요구조건 만족 여부를 평가하는 시뮬레이터를 구축하여 기존 시뮬레이터들과 비교 검증하고 IMT-Advanced 표준적합성 평가에 타당함 확인하였다. 제안한 시뮬레이터를 사용하여 IEEE 802.16과 3GPP 자체 후보기술의 IMT-Advanced 최소 성능 요구조건에 대한 성능 평가결과를 비교하여 본 시뮬레이터의 우수성을 입증하였다. 제안한

^{*} 정회원 : TTA 표준화본부 전파방송부 전파방송팀장
djaykim2008@gmail.com

^{**} 종신회원 : 팡운대학교 전자통신공학과 교수
kchung@kw.ac.kr

논문접수 : 2010년 7월 22일
심사완료 : 2010년 9월 2일

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 정보통신 제37권 제6호(2010.12)

시뮬레이터는 향후 기술적 진화에 대한 표준 수용과 성능개선이 용이하도록 각 기능을 모듈화하여 설계하였다.

2장에서는 관련연구로 IMT-Advanced 후보 표준을 간략히 소개하였고 기존 시뮬레이터의 특징 및 문제점을 기술하였다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 시뮬레이터의 구조를 설명하였다. 4장에서는 시뮬레이터가 동작하는 IMT-Advanced의 채널 환경에 대하여 설명하고 SINR의 누적분포함수를 바탕으로 시뮬레이터를 검증하였다. 5장에서는 예로서 모의실험 결과를 제시하였다. 마지막으로 5장에서는 결론을 맺었다.

2. 관련 연구

2.1 IMT-Advanced 표준화

IMT-Advanced란 ITU가 4세대 이동통신으로 명명한 개념으로서 초고속 이동속도의 지원(~350 km/hr), 보다 효율적인 전송 방식(~10 b/s/Hz), 넓은 대역폭(20MHz 이상) 및 유연성(Scalability)을 지원하기 위하여 IMT-2000보다 획기적으로 진화된 표준 제정을 목표로 하고 있다[4]. 아울러 서비스 요구사항으로 다양한 이동 환경에서 지속적인 서비스 즉 이동성 관리를 위한 끊김 없는 연결(Connectivity), 전화변호를 통한 사용자 확인 외에 데이터 일치성 보장 제공 등을 위한 보안(Security), 긴급/재난 발생 시 접속 우선순위 기능 제공을 위한 Prioritization, HDTV급 IP 방송 서비스 제공을 위한 Broadcast/Multicast 지원, 그리고 사용자에게 친근한 인터페이스 제공을 위한 사용 편의성을 만족하도록 명기하고 있다[5].

2.2 IEEE 802.16m 표준화

IEEE가 추진 중인 광대역 무선가입자망 기술의 개념

인 Wireless MAN(Metropolitan Area Network) 표준화는 최초 10~60 GHz 대역의 Line-of-Sight 통신환경에서의 서비스를 제공하기 위한 PHY 및 MAC 규격을 개발하였다. 그리고 도심지 등에서의 Non-Line-of-Sight 사용자 환경에서의 서비스 제공을 위하여 2~11 GHz 대역에서 세 가지 PHY 모드인 SCA, OFDM, 그리고 OFDMA방식을 추가로 개발하였다. 그 이후 IEEE 802.16d와의 역방향 호환성을 유지하면서 2~6 GHz 대역 중 허가를 필요로 하는 대역에서의 이동성을 지원하기 위한 IEEE 802.16e 규격을 개발하였다. IMT-Advanced 표준 후보중에 하나인 IEEE 802.16m은 IEEE 802.16e 규격을 개선하기 위해 2008년에 IEEE가 새롭게 시작한 표준화 프로젝트로서 MIMO(Multiple-Input Multiple-Output)와 같은 다중안테나 기술과 멀티캐리어 같은 다중 대역사용 기술을 채택하는 등 ITU가 정한 IMT-Advanced 기술 요구조건에 적합하도록 표준화가 진행되고 있다[6].

2.3 ITU-R M.2135 Report

ITU-R의 M.2135 Report는 제안된 IMT-Advanced 후보기술을 평가하기 위해 그 절차와 기술적, 스펙트럼적 그리고 서비스 적 요소에 대한 평가 방법과 시나리오 채널 모델을 정의한 ITU Report이다[7]. M.2135 Report에는 표 1과 같이 셀 스펙트럼 효율(CSE; Cell spectral efficiency) 등 평가항목과 시뮬레이션(Simulation), 분석(Analysis), 검사(Inspection)와 같은 평가 방법을 기술하고 있다. 이를 참조하여 등록된 평가기관에서 후보 기술을 평가한다.

2.4 시스템 레벨 시뮬레이션의 문제점 및 개선점

시스템 레벨의 시뮬레이션의 결과는 자체적으로 정확

표 1 M.2135 Report내 IMT-Advanced 후보기술 평가 항목

Characteristic for evaluation	Method	Evaluation methodology / configurations	Related section of Reports ITU-R M.2134 and ITU-R M.2133
Cell spectral efficiency	Simulation (system level)	§ 7.1.1, Tables 8-2, 8-4 and 8-5	Report ITU-R M.2134, § 4.1
Peak spectral efficiency	Analytical	§ 7.3.1, Table 8-3	Report ITU-R M.2134, § 4.2
Bandwidth	Inspection	§ 7.4.1	Report ITU-R M.2134, § 4.3
Cell edge user spectral efficiency	Simulation (system level)	§ 7.1.2, Tables, 8-2, 8-4 and 8-5	Report ITU-R M.2134, § 4.4
Control plane latency	Analytical	§ 7.3.2, Table 8-2	Report ITU-R M.2134, § 4.5.1
User plane latency	Analytical	§ 7.3.3, Table 8-2	Report ITU-R M.2134, § 4.5.2
Mobility	Simulation (system and link level)	§ 7.2, Tables 8-2 and 8-7	Report ITU-R M.2134, § 4.6
Intra- and inter-frequency handover interruption time	Analytical	§ 7.3.4, Table 8-2	Report ITU-R M.2134, § 4.7
Inter-system handover	Inspection	§ 7.4.3	Report ITU-R M.2134, § 4.7
VoIP capacity	Simulation (system level)	§ 7.1.3, Tables 8-2, 8-4 and 8-6	Report ITU-R M.2134, § 4.8
Deployment possible in at least one of the identified IMT bands	Inspection	§ 7.4.2	Report ITU-R M.2133, § 2.2
Channel bandwidth scalability	Inspection	§ 7.4.1	Report ITU-R M.2134, § 4.3
Support for a wide range of services	Inspection	§ 7.4.4	Report ITU-R M.2133, § 2.1

성을 검증하기는 어렵다. 따라서 검증된 시뮬레이션의 결과를 이용하여 비교 검증한다. 제안하는 시뮬레이터의 채널 모델과 비교 평가하는 시뮬레이터의 채널 모델의 랜덤 변수 값만 같게 하여 동일한 출력 값을 확인한다면 같은 동작을 수행하는 시뮬레이터를 검증할 수 있다. 이를 통해 이용하여 제안한 시뮬레이터의 신뢰성을 검증하고 IMT-Advanced 기술에 대한 공정하고, 정확한 평가를 수행한다.

대표적인 시뮬레이터인 Winner+의 시뮬레이터는 ITU 표준에 근거하여 신뢰성 있게 구현되어 있다. Winner+의 시뮬레이터는 매스웍스사에서 개발한 수치 해석 및 프로그래밍 환경을 제공하는 공학용 소프트웨어인 Matlab을 이용하여 M.2135의 채널모델을 구현되어 있다. 하지만 Matlab 특성상 컴퓨터 시뮬레이션 수행 시간이 길고 복잡하다는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서 제안한 시뮬레이터는 4가지 모듈로 구성되어 있으며 향후 IMT-Advanced 국제표준 채택과정에서 포함될 수 있는 다양한 요소기술을 수용하여 시뮬레이션하기 좋은 구조를 가지고 있다. 또한, C++로 구현하여 상대적으로 빠른 시뮬레이션을 할 수 있다.

3. 제안하는 IMT-Advanced 시뮬레이터 개념 및 구조

3.1 제안하는 IMT-Advanced 시뮬레이터의 개념

IEEE 802.16m 및 LTE-Advanced와 같은 기술에서는 기존의 HSDPA, CDMA2000과 같은 3G 시스템과는 다른 무선 접속방식인 OFDMA 기반의 전송방식을 사용한다. 또한 송·수신 단에서 전송속도를 향상시키기 위해 안테나 개수만큼 전송속도가 향상되는 다중안테나를 이용하는 MIMO(Multiple-Input Multiple-Output) 기술을 사용한다. 그리고 20MHz 이상의 광 대역 요구

를 충족시키기 위해 주파수 영역에서 물리적으로 비연속적인 여러 개의 밴드를 묶어 논리적으로 큰 대역의 밴드를 사용하는 것과 같은 효과를 내는 스펙트럼 집합(Spectrum Aggregation) 기술 등을 사용한다. 그러나 안테나 간 간섭이나 무선 환경 제약 등에 따라 성능향상 효과가 줄어들고 구현 복잡도가 증가된다.

따라서 이러한 기술의 사용에 따른 시스템에 대한 복잡성이 증가하게 됨으로 증가된 채널과 주위환경에 따라 시스템 성능에 어떤 영향을 미치는지 확인할 수 있는 시뮬레이터가 필요하다. 그리고 기존에 개발되고 사용된 시뮬레이터들은 정해진 파라메타와 채널 모델에 한정되어 새로운 요소기술의 변경 및 추가 시 시뮬레이터를 업그레이드하기에 불편한 구조를 가지고 있다. 이러한 단점을 개선하기 위하여 본고에서 3.2항을 통해 제안하는 시뮬레이터는 요소별로 모듈화 하여 향후에 지속적으로 진화될 IMT-Advanced 표준에 적용 가능하게 설계하였다. 그리고 시스템 복잡성 증가에 따른 시스템 성능 영향 요소를 확인하기 용이하게 설계하였다.

3.2 제안하는 IMT-Advanced 시뮬레이터의 구조 및 모듈별 역할

제안한 IMT-Advanced 시뮬레이터의 대략적 구조는 그림 1과 같이 크게 4가지 모듈로 구분하여 구현하였다.

첫째, UE(User Equipment)는 각 사용자를 의미하며 각 사용자는 각자 채널을 가지고 있으며 그 채널이 변화 하면서 기지국과 통신한다. 기지국이 보내준 데이터를 받으며 보내준 데이터의 성공 여부를 통해 Throughput을 계산한다. 이렇게 시간이 가면서 모인 Throughput이 그 사용자의 전체 Throughput이 된다. 하향 링크에서는 사용자가 자신이 측정된 채널을 보고 MCS(Modulation Coding Scheme) type을 보고한다. 둘째, RRM(Radio Resource Management)은 기지국을 의미

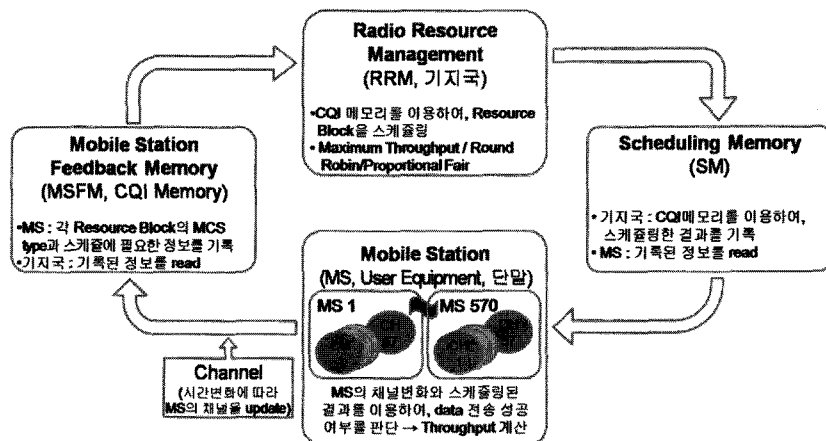


그림 1 시뮬레이터의 구조도

하는데 기지국은 사용자가 보고한 채널 환경을 바탕으로 자원블록을 사용자에게 분배하게 된다. 셋째, MSFM (Mobile Station Feedback Memory)는 사용자(UE)가 자신이 측정된 채널 상황을 CQI Memory에 기록하고 기지국은 기록된 정보를 읽는 중간 역할을 수행한다. 마지막으로 Scheduling Memory는 기지국이 분배한 Resource block 상황을 Schedule Map에 기록한다. 사용자는 기록된 내용을 보고 UE에 얼마나의 자원을 할당할 것인지 여부를 판단한다. 본 시뮬레이터의 개념은 4가지 요소로 모듈 블록화 개념을 적용하여 지속적으로 발전, 개정될 것으로 예상되는 4세대 이동통신 표준규격에 적용을 용이하게 하는데 목적을 두고 있다.

프로그램 메인함수는 그림 2와 같다. SimulationConfiguration()에서 시뮬레이션을 실행하기 위한 조건들을 지정해준다. 시뮬레이션 Run Time 설정, Sector와 UE의 숫자, 스케줄링 방법, 그리고 CQI의 Time History 길이 등의 초기 값을 지정해준다. StandardInitialization()에서 시뮬레이션을 실행하기 위해 필요한 BLER curve, MCS type 역시, TBS table을 지정한다. 이 함수는 표준의 상세한 스펙을 가지고 있고, LTE-Advanced 등의 다른 표준의 스펙을 이 함수에 저장하여, 다른 표준을 구현 할 수 있도록 한다. InitializeSystem()에서는 시뮬레이션에 필요한 Sector, UE, Schedule map, CQI map을 생성하고, 각 생성된 유닛을 연결한다.

Main Module중 SimulationConfiguration에서 지정된 시간만큼 시뮬레이션을 하며 UE마다 위치와 채널의 형태를 정하고 Geometry를 구한다. 구한 Geometry를

바탕으로 사용자가 속해있는 Sector를 지정하게 되는데 시간이 지나면서 UE는 자신의 채널을 측정한다. 측정된 채널을 바탕으로 MCS Type과 HARQ에 필요한 정보 (데이터 전송의 성공 여부, 할당된 자원의 개수)를 Scheduling CQI Memory에 저장하고 Sector는 CQI Memory에 저장된 결과를 보고 무선 자원을 할당한다. 제한된 무선 자원을 사용자에게 할당하는 방법은 Simulation-Configuration()에서 결정하고 주어진 Scheduling 방법에 따라 Schedule된 결과를 Schedule DL memory에 저장한다. UE는 Schedule Map을 이용하여 자신이 선택되었는지를 확인한다. 할당된 자원이 있는 경우, 자신의 새롭게 갱신된 채널에 맞추어 데이터 수신에 성공 여부를 판단한다. 데이터 수신에 성공하였을 경우 해당되는 Throughput을 증가시키고 실패할 경우 HARQ를 통해 재전송을 요청한다. 다음으로 PerDropStatistics에서 일정 시간동안 지속된 시뮬레이션을 마치고 나온 최종 결과를 정리하여 출력(Screen 출력 및 File 출력)한다.

4. IMT-Advanced 채널 모델 분석 및 검증

4.1 IMT-Advanced 채널 모델

ITU-R은 M.2135를 통해 IMT-Advanced 채널 모델에 대해 기술하고 있다. IMT-Advanced 채널 모델은 Indoor Hotspot, Urban Micro, Urban Macro, Rural Macro, Suburban Macro와 같은 5개의 시나리오에 따라 기지국 및 사용자들이 배치된 후 각 사용자와 기지국 사이의 채널을 모델링한다[8]. IMT-Advanced 채널은 채널임펄스응답(ChIR; Channel Impulse Response)의

<pre> int main(int argc,char *argv[]) { SimulationConfiguration(argc, argv); // 초기값 지정 StandardInitialization(); // Specification 정보 InitializeSystem(); // 필요한 memory 및 user, sector 생성 Size_Channel_Parameters(); // Channel parameter size 결정 for(drop_idx = 0; drop_idx < num_drops; drop_idx++) { InitializeADrop(); // 사용자가 속해있는 Sector를 지정 for (t = 0 ; t < run_times ; t++) { for(int ue_idx = 0; ue_idx < num_ues; ue_idx ++) { for(int adj_sec_idx = 0; adj_sec_idx < num_compute_coef; adj_sec_idx++) { for(int u = 0; u < num_received_antenna; u++) { for(int s = 0; s < num_transmit_antenna; s++) { ChannelSampleGeneration(ue_idx, u, s, adj_sec_idx); } } } } // 안테나의 개수와 초기값 지정에 따라 페이딩 채널 생성 for(int idx = 0 ; idx < NUM_SECTORS ; idx ++) { </pre>	<pre> if (scheduler_type == 0) { sector[idx].Scheduling_RR(); } if (scheduler_type == 1) { sector[idx].Scheduling_PF(); } if (scheduler_type == 2) { sector[idx].Scheduling_MAX_CQI(); } } // 초기값 지정에 따라 스케줄러 선택 for(int idx = 0; idx < num_ues ; idx++) { ue[idx].Update_Geometry(); } // 다중 경로 페이딩을 고려하지 않은채 SINR 계산 for(int idx = 0; idx < num_ues ; idx++) { ue[idx].Update_Channel(); } // Geometry 와 다중경로 페이딩을 고려하여 SINR을 계산하고 MCS Type을 결정 if (t%8 < 5) { for(int idx = 0; idx < num_ues ; idx++) { ue[idx].Receive_DL(); } // 데이터를 전송 for(int idx = 0; idx < num_ues ; idx++) { ue[idx].Update_Sounding_Signal(); } // 사용자가 MCS Type을 기지국에 보고한다 } PerDropStatistics(drop_idx); } } } </pre>
---	--

그림 2 프로그램의 메인함수

형태로 모델링된다. 채널 모델 검증을 위한 Performance Metric은 Average Output, 5%-tile UE Throughput, VoIP Capacity, Mobility Performance로 규정한다. 또한 사용자는 10MHz 대역폭에 섹터 당 10명을 가정한다.

4.2 IMT-Advanced 채널 모델의 구현

4.2.1 ChIR 구현의 개요

IMT-Advanced 채널 모델은 그림 3과 같은 다양한 시나리오에 따라 네트워크의 레이아웃이 결정된다. Indoor Hotspot 시나리오는 그림 4와 같이 직사각형의 공간에 두 개의 기지국이 존재하는 형태이다. 플로어의 높이는 6m이며 15m×15m크기의 방이 16개 존재하며 두 개의 기지국은 각각 홀의 30m와 90m에 위치한 형태이다.

Urban Macro, Urban Micro, Rural Macro, Sub-urban Macro와 같은 Outdoor 시나리오는 그림 5와 같

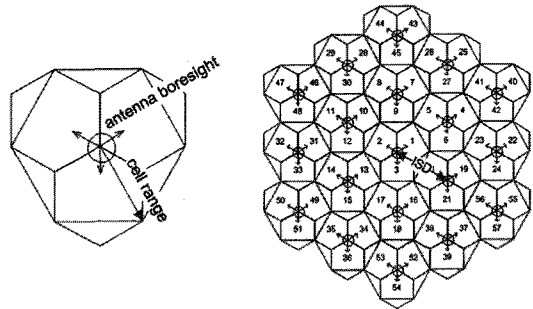


그림 5 Outdoor 시나리오의 네트워크 레이아웃

이 육각 격자에 따라 일정 크기로 19개의 위치에 각 3개의 안테나가 Sectoring되어 배치되며 총 57개의 섹터로 나뉘고 셀 당 10명의 사용자가 배치된다. Indoor Hotspot을 제외한 모든 시나리오는 기지국이 Wrap Around되어 배치된다. 네트워크 레이아웃이 정해지면 ChIR을 구하기 위해 그림 6과 같은 ChIR 생성 과정을 거친다. LS(Large Scale) 파라미터와 SS(Small Scale) 파라미터들은 랜덤하게 생성되는 변수들이다. 시나리오 종류를 선택하고 LS 파라미터, SS 파라미터들이 결정되면 ChIR을 계산할 수 있다.

4.2.2 LS & SS 채널 이득

LS 채널 이득은 Path-Loss, Shadow Fading, 그리고 안테나 이득으로 이루어져있다. SS 채널 이득은 무작위로 생성된 Multi-Path 파라미터들에 의해 계산된다. 각 값은 ITU-R M.2135 Table A1-2[9]를 참조하였다. 그림 7, 8과 같은 Path-Loss와 Shadow Fading은 SS 파라미터들에 의해 영향을 받지 않는 값이며, 위치에 따라 변하지 않는 Static Gain으로 나타낼 수 있다. Multi-Path 파라미터들은 UE들이 배치될 때 랜덤 생성되며 Multi-Path 파라미터들에 의해 SS 채널

Test environment	Base coverage urban	Microcellular	Indoor	High speed
Deployment scenario	Urban macro-cell scenario	Urban micro-cell scenario	Indoor hotspot scenario	Rural macro-cell scenario
Channel model	Urban macro (LOS,NLOS)	Urban micro (LOS, NLOS, Outdoor-to-indoor)	Indoor hotspot (LOS,NLOS)	Rural macro (LOS,NLOS)

그림 3 시나리오의 종류

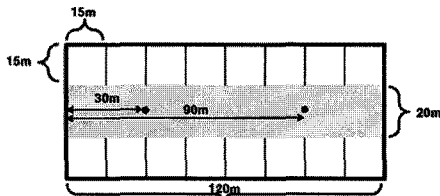


그림 4 Indoor Hotspot 시나리오의 네트워크 레이아웃

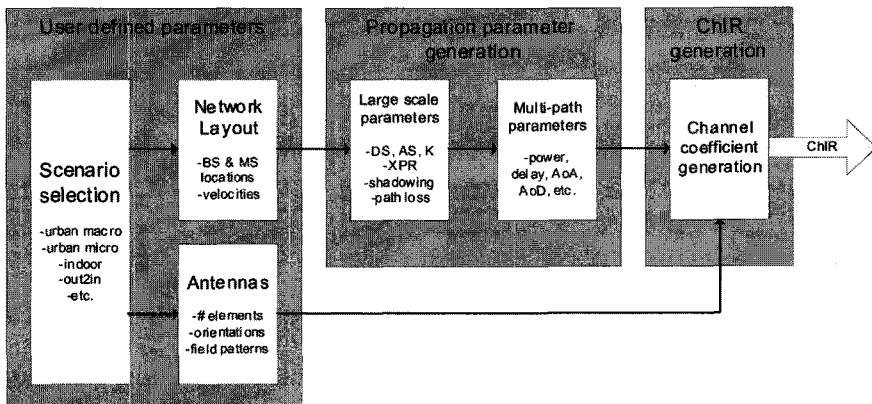


그림 6 채널임펄스응답(ChIR) Generation Process

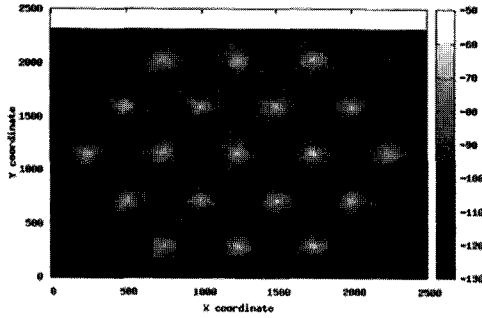


그림 7 Urban Macro 시나리오의 Static gain

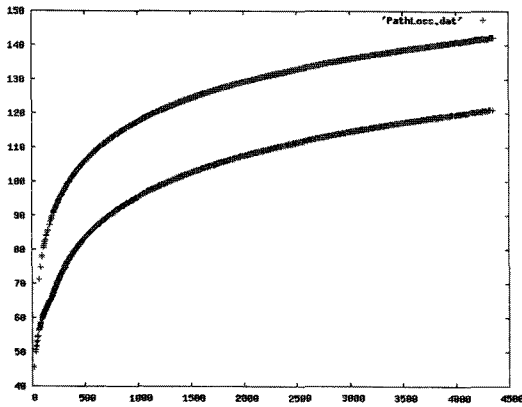


그림 8 Rural Macro 시나리오의 Path-loss

이득과 안테나 이득이 결정된다. SS 채널 이득과 안테나 이득으로 채널 계수를 구할 수 있고 최종 채널 이득은 Static Gain과 채널 계수의 곱으로 결정된다. 채널 계수 생성 절차는 그림 9와 같다.

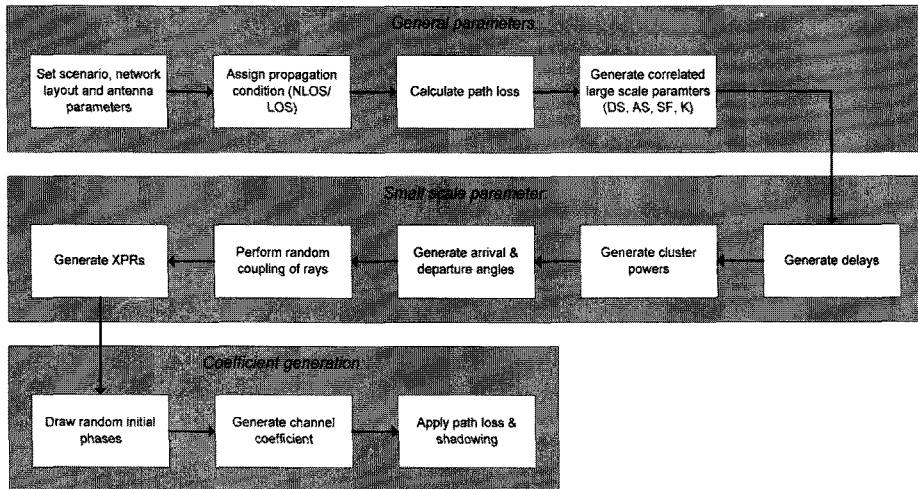


그림 9 채널 계수 생성 절차

4.3 구현된 IMT-Advanced 채널 모델의 검증

4.3.1 구현된 IMT-Advanced 채널 모델의 개요

구현된 IMT-Advanced 채널 모델을 검증하기 위해 Winner+의 Matlab 기반 채널 시뮬레이터[10]와 비교 및 검증하였다. IMT-Advanced 채널 모델은 다수의 변수에 의해 랜덤 생성되므로 비교가 쉽지 않기 때문에 Configuration에 의해 제공되는 입력 값, 랜덤 생성되는 변수, 그리고 항상 같은 입력 값에 대해 같은 출력 값을 내보내는 함수로 나누어 블록 다이어그램을 그리고 분석 하였다. 두 채널 모델의 랜덤 생성되는 변수들을 동일하게 할 경우 정확히 같은 출력 값을 보이고 변수들의 PDF가 같다면 두 채널 모델은 같은 동작을 하는 채널 모델임이 검증이 된다.

4.3.2 ChiR 생성의 개요

채널 모델의 최종 출력 형태는 ChiR이며, 그 과정은 크게 LS 채널 파라미터 생성, SS 채널 파라미터 생성, ChiR 생성으로 나눌 수 있다. 그림 10은 ChiR 생성의 개요를 나타낸다.

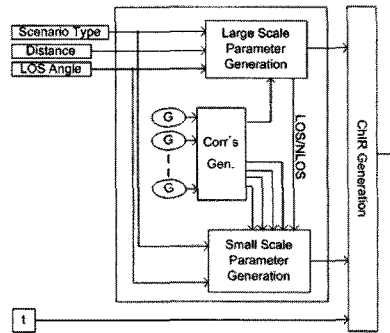


그림 10 ChiR의 개요

4.3.3 LS 채널 파라미터 생성

LS 채널 파라미터 생성 모듈은 그림 11의 다이어그램으로 나타낼 수 있다. LS-1 모듈은 Path-Loss를 생성하는 모듈이며, LS-2 모듈은 Shadow Fading을 결정하는 모듈이다. 또한 LS-3 모듈은 Static Gain을 생성하는 모듈이다. 각각의 모듈에 관한 식은 M.2135 Table A1-2를 참조하였다.

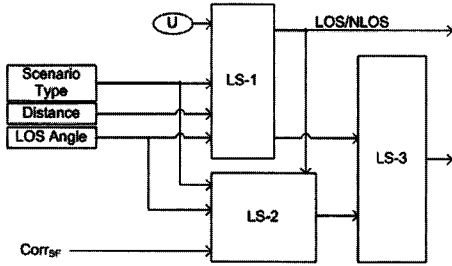


그림 11 LS 파라미터 생성 다이어그램

4.3.4 SS 채널 파라미터 생성

그림 12는 SS 채널 파라미터 생성 모듈을 다이어그램으로 나타낸 것이다. SS-1 모듈은 다중 경로의 지연을 생성한다. 지연은 Exponential Distribution으로 불규칙적으로 일어나게 되므로 식 (1)에 의거하여 계산하고 식 (2)를 통해 지연 값을 구한다. SS-2는 LOS가 존재할 때에 지연을 보정해주는 모듈이다. SS-3 모듈은 Multi-Path의 정규화된 파워를 생성한다. 즉, Single

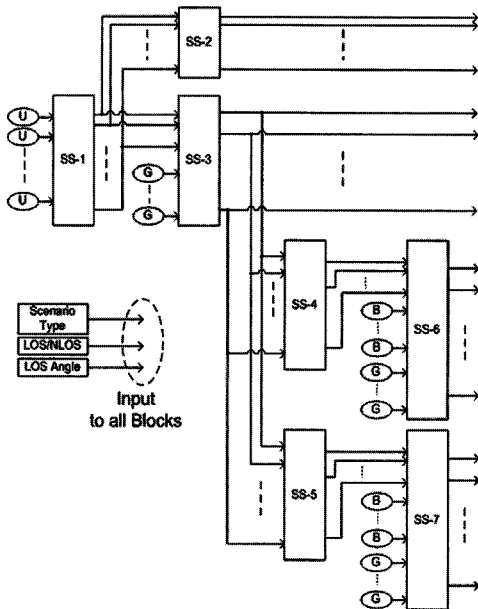


그림 12 SS 파라미터 생성 다이어그램

Slope Exponential Power Delay Profile로 가정하고 SS-1에서의 지수분포 지연과 함께 식 (3), (4)에 의거하여 파워를 생성하고 식 (5)에 의거하여 파워의 평균 값을 구한다. SS-4, SS-5, SS-6, SS-7 모듈은 각도 분포를 결정하는 모듈이다. 각각의 모듈에 관한 식은 ITU-R M.2135 Table A1-2를 참조하였다.

$$\tau_n' = -r_r \sigma_r \ln(X_n) \tag{1}$$

$$\tau_n = \text{sort}(\tau_n' - \min(\tau_n')) \tag{2}$$

$$P_n' = \exp\left(-\tau_n \frac{r_r - 1}{r_r \sigma_r}\right) \cdot 10^{\frac{-Z_n}{10}} \tag{3}$$

$$Z_n \sim N(0, \sigma^2) \tag{4}$$

$$P_n = \frac{P_n'}{\sum_{n=1}^N P_n'} \tag{5}$$

4.3.5 ChIR 생성

ChIR 생성 모듈은 최종 ChIR을 구하는 모듈이다. ChIR 생성 모듈의 입력 값은 LS 채널 파라미터 생성 모듈과 SS 채널 파라미터 생성 모듈에서 나온 출력 값을 취한다. 그림 13에서와 같이 G-1 모듈은 SS 파라미터들과 안테나 이득으로 채널 계수를 계산하는 모듈이며, G-2 모듈에서 Static Gain과 곱해지고, Multi-Path 지연에 의한 임펄스 응답의 형태로 최종 출력 값이 나온다.

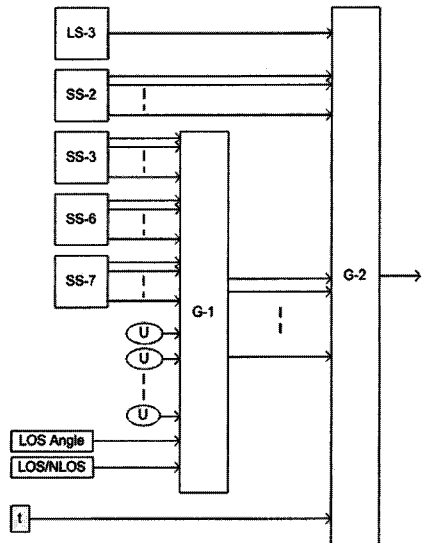


그림 13 ChIR 생성 다이어그램

4.4 검증결과

LS 채널 모델과 SS 채널 모델이 랜덤하게 생성하는 변수들의 값을 동일하게 설정하여 Winner+ Matlab 기

반의 채널 시뮬레이터와의 비교 검증을 하였다. 그림 14는 LOS에서의 SS-2로부터 얻어진 클러스터 지연의 확률밀도 값을 나타낸다. SS-2는 LOS가 존재할 때 지연을 보정해주는 블록이다. 지연은 지수분포 형태로 불규칙적으로 일어나게 되므로 식 (1)과 식 (2)를 이용하여 정규화된 지연 값을 계산한다. 그림 14에서 선으로 표현된 값은 본 논문에서 개발한 시뮬레이터의 실험값이며 점으로 표현된 값은 Winner+ Matlab 기반의 채널 시뮬레이터의 실험값이다.

그림 15는 NLOS에서의 SS-3로부터 얻어진 정규화된 파워의 확률밀도 값을 나타낸다. SS-3은 다중 경로의 정규화된 파워를 생성하는 블록이다. Single Slope Exponential Power Delay Profile로 가정하고 SS-1에서의 지수분포 지연과 함께 식 (3)과 식 (4)를 이용하여 파워를 결정하고 식 (5)를 바탕으로 파워 평균값을 계산한다. 실험 결과를 통해, 두 시뮬레이터는 클러스터 지연의 확률밀도 값과 정규화된 파워의 확률밀도 값이 동일한 값을 가지는 것을 확인하였다.

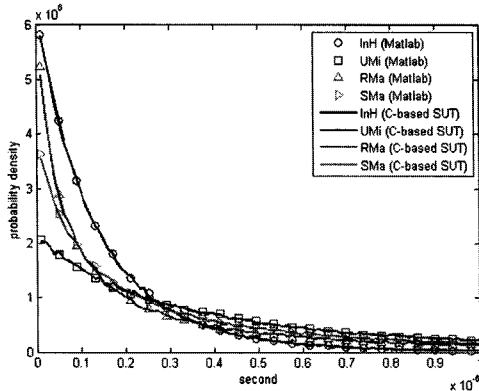


그림 14 LOS에서의 SS-2로부터 얻어진 클러스터 지연의 확률밀도 값

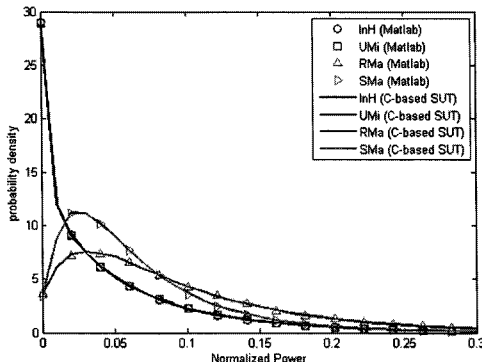


그림 15 NLOS에서의 SS-3로부터 얻어진 정규화된 파워의 확률 밀도 값

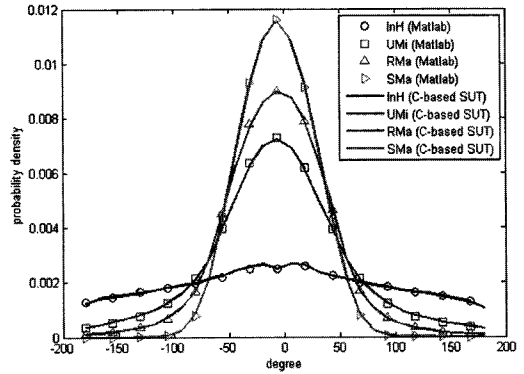


그림 16 LOS에서의 SS-6로부터 얻어진 Arrival Angle의 확률밀도 값

그림 16은 LOS에서의 SS-6로부터 얻어진 Arrival Angle의 확률밀도 값을 나타낸다. 모든 클러스터의 PAS (Power Angular Spectrum)은 실내의 핫스팟에서 라플라시안으로 모델링된 것을 제외하고는 Wrapped 가우시안으로 모델링되어 있다. AoA(Arrival Angle)은 식 (6)과 식 (7)을 이용하여 계산한다.

$$\varphi_n' = \frac{2\sigma_{AoA}\sqrt{-\ln(P_n/\max(P_n))}}{C} \quad (6)$$

$$\varphi_n' = -\frac{\sigma_\varphi \ln(P_n/\max(P_n))}{C} \quad (7)$$

P_n 은 입력 파라미터이고, σ_{AoA} 는 AoA의 표준편차 값이다. C는 클러스터의 총 개수와 관련된 스케일링 인자 값이다. LoS에서의 C는 Ricean K-factor에 독립적인 값이므로 식 (8)의 값을 가진다. 이에 반해, 실내의 핫스팟에서의 C는 식 (9)를 이용하여 계산한다. 또한, LoS에서의 AoA는 식 (10)을 이용하여 계산한다. X_n 은 (1, -1) 범위의 값을 랜덤하게 가진다.

$$C^{LoS} = C \cdot (1.1035 - 0.028K - 0.002K^2 + 0.0001K^3) \quad (8)$$

$$C^{LoS} = C \cdot (0.9275 + 0.0439K - 0.0071K^2 + 0.0002K^3) \quad (9)$$

$$\varphi_n = (X_n \varphi_n' + Y_n) - (X_1 \varphi_1' + Y_1 - \varphi_{LoS}) \quad (10)$$

그림 17은 LOS에서의 SS-7으로부터 얻어진 Departure Angle의 확률밀도 값을 나타낸다. 본 논문에서 개발한 시뮬레이터의 Arrival Angle에 관한 확률밀도 값과 Departure Angle에 관한 확률밀도 값이 동일한 값을 가지는 것을 확인하였으며, 채널 모델들이 랜덤하게 생성하는 변수들의 PDF가 같다면 LS 채널 모델과 SS 채널 모델은 동일하게 동작하는 채널 모델임을 확인할 수 있다.

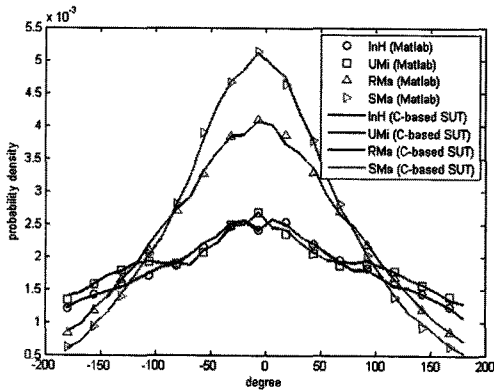


그림 17 LOS에서의 SS-7으로부터 얻어진 Departure Angle의 확률밀도 값

5. 시스템 레벨의 시뮬레이터 모의실험 결과

IMT-Advanced 후보기술에 관한 셀 스펙트럼 효율(CSE; Cell Spectral Efficiency), 셀 경계지역 스펙트럼 효율(CEUSE; Cell Edge User Spectral Efficiency), 그리고 이동환경에서의 스펙트럼 효율을 실험하였다. 성능평가를 위해, M.2135에 따라 개발한 시스템 레벨 시뮬레이터(SLS)로부터 얻어진 모의실험결과를 IMT-Advanced 후보기술의 자체 평가결과와 비교하였다.

모의실험은 4.2절에서 기술한 4가지 실험환경에 대하여 실시하였다. 실내의 핫스팟 시나리오에서는 두 개의 기지국이 있다고 가정한다. 그 외의 시나리오에서는 그림 4와 같이 일정한 크기의 육각 격자 19개에 기지국이 일정한 거리를 두고 배치되어 있다고 가정한다. 이 때, 3개의 안테나가 하나의 섹터로 구분되어 총 57개의 섹터를 형성한다. 실내의 핫스팟에서는 60명, 그 외의 시나리오에서는 570명의 사용자가 있다고 가정한다. IMT-Advanced 성능평가와 관련하여 가장 많이 사용할 것으로 예상되는 20MHz의 대역폭(FDD인 경우, 상향/하향 각각 10MHz)에 대해서 모의실험을 실시하였다.

네트워크상에 랜덤하게 위치한 사용자의 경우, 랜덤한 이동속도를 가지게 되지만 모의실험이 진행되는 동안 사용자는 이동하지 않는다고 가정한다. 사용자의 이동으로 인한 핸드오버는 SLS를 통한 모의실험에서는 고려하지 않는다. CSE는 주어진 무선자원(주파수와 시간)을 셀룰러 네트워크상에서 얼마나 효율적으로 사용할 수 있는지를 나타내는 무선통신에서는 가장 중요한 평가지표라고 할 수 있다. 하지만, CSE는 무선자원을 할당하는 스케줄러 방식에 따라 많이 달라질 수가 있다. 이러한 형평성의 문제를 고려하기 위하여 CEUSE도 함께 성능평가 지표로 활용하였다. 이에 따라, 채널환경이 좋은 사용자들에게 무선자원을 독립적으로 사용할 수 있

게 하는 스케줄러를 사용할 경우, CSE를 높일 수 있지만 CEUSE는 현저하게 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 모의실험에 사용되는 스케줄러는 IMT-Advanced 기술에서 정의하고 있지는 않지만, 3GPP와 IEEE 802.16의 자체평가에서는 PF(Proportional-Fair) 스케줄러가 주파수별로 사용되고 있다. 그리고 CSE와 CEUSE를 측정하는 모의실험에서는 패킷 스위칭에서 필요한 제어 채널들의 오버헤드도 고려하였다. 또한, 이동환경 모의실험(Mobility Test)에서는 ITU에서 정의한 보행자 속도(3km/h), 저속 이동 속도(30km/h) 및 고속 이동 속도(120km/h, 350km/h)에 대한 모의실험을 실시하였다.

본 논문에서 개발한 IMT-Advanced 시뮬레이터로부터 얻은 모의실험 결과는 KU로 나타내며, 3GPP와 IEEE는 2009년 10월, ITU에 제출된 자체 성능평가 결과를 나타낸다. ITU-R은 M.2134에 정의되어 있는 최소 성능 요구 사항을 나타낸다. 그림 18과 그림 19는 FDD에서 하향과 상향의 LTE 모의실험 결과를 나타낸다. 그림 20과 그림 21은 TDD에서 하향과 상향의 IEEE 802.16m 모의실험 결과를 나타낸다. 마지막으로 그림 22와 그림 23은 IEEE 802.16와 3GPP LTE의 이동환경에서 스펙트럼 효율을 나타낸다. 모의실험 결과를 통해, 본 논문에서 개발한 시뮬레이터는 3GPP와 IEEE의 자체 성능평가 결과와 비슷한 결과를 보이며, 최소 성능 요구사항을 상회하는 결과를 확인할 수 있다. 실험 결과에서 CSE와 “이동환경에서 스펙트럼 효율”의 측정단위는

		InH	UMi	UMa	RMa
CSE	KU	4.73	2.86	2.42	2.85
	3GPP	5.5	2.9	2.4	3.2
	ITU-R	3	2.6	2.2	1.1
CEUSE	KU	0.22	0.11	0.088	0.11
	3GPP	0.22	0.087	0.066	0.090
	ITU-R	0.1	0.075	0.06	0.04

그림 18 하향 LTE 모의실험 결과(FDD)

		InH	UMi	UMa	RMa
CSE	KU	2.91	1.61	1.53	1.58
	3GPP	3.3	1.9	1.5	1.8
	ITU-R	2.25	1.8	1.4	0.7
CEUSE	KU	0.257	0.063	0.065	0.069
	3GPP	0.24	0.073	0.062	0.082
	ITU-R	0.07	0.05	0.03	0.015

그림 19 상향 LTE-Advanced 모의실험 결과(FDD)

		InH	UMi	UMa	RMa
CSE	KU	6.5	4.5	2.6	4.28
	IEEE	6.93	3.22	2.41	3.23
	ITU-R	3	2.6	2.2	1.1
CEUSE	KU	0.51	0.173	0.078	0.08
	IEEE	0.26	0.092	0.069	0.093
	ITU-R	0.1	0.075	0.06	0.04

그림 20 하향 IEEE 802.16m 모의실험 결과(TDD)

		InH	UMi	UMa	RMa
CSE	KU	5.68	2.9	2.89	2.83
	IEEE	5.99	2.58	2.57	2.66
	ITU-R	2.25	1.8	1.4	0.7
CEUSE	KU	0.41	0.126	0.13	0.115
	IEEE	0.426	0.111	0.109	0.119
	ITU-R	0.07	0.05	0.03	0.015

그림 21 상향 IEEE 802.16m 모의실험 결과(TDD)

		InH (3Km/h)	Umi (30Km/h)	Uma (120Km/h)	Rma (350Km/h)
TDD	KU (LOS)	3.84	1.81	1.67	1.71
	IEEE (LOS)	3.755	1.81	1.715	1.695
	KU (NLOS)	3.54	1.51	1.29	1.41
	IEEE (NLOS)	3.41	1.495	1.295	1.23
FDD	KU(LOS)	3.96	1.74	1.62	1.64
	IEEE (LOS)	3.86	1.72	1.63	1.605
	KU(NLOS)	3.61	1.52	1.31	1.41
	IEEE self (NLOS)	3.56	1.505	1.34	1.27
ITU-R Requirement		1.0	0.75	0.55	0.25

그림 22 IEEE 802.16의 이동환경에서 스펙트럼효율

		InH (3Km/h)	Umi (30Km/h)	Uma (120Km/h)	Rma (350Km/h)
KU(NLOS)		2.47	1.17	1.05	1.13
3GPP's self (NLOS)		2.56	1.21	1.08	1.22
KU(LOS)		3.07	1.35	1.26	1.42
3GPP's self (LOS)		3.15	1.42	1.36	1.45
ITU-R Requirement		1.0	0.75	0.55	0.25

그림 23 3GPP LTE의 이동환경에서 스펙트럼 효율

bps/Hz이고, CEUSE의 측정단위는 bps/Hz/User이다.

6. 결론

현재 예상되는 IMT-Advanced 국제표준으로는 3.5G 기술로 인정되고 있는 LTE와 802.16e(Mobile WiMAX)가 진화된 형태의 3GPP에서 진행 중인 LTE-Advanced와 IEEE에서 진행 중인 IEEE 802.16m이 있다. LTE와 802.16e 기술은 많은 부분에서 동일하므로, 하나의 기술에 기반을 두어 시뮬레이터를 개발하여 두 기술을 평가하는데 사용할 수 있다. 본 연구는 ITU-R에서 승인된 평가 문서에 정의되어 있는 시뮬레이션 환경에서 DL/UL 시스템 레벨의 시뮬레이터를 4개의 모듈 형태로 구축하였고 Matlab 기반의 Winner+ 시뮬레이터와 비교 검증을 통해 신뢰성을 확인하였다. 또한, 본 논문에서 제안된 모듈 형태의 시뮬레이터는 향후 변경이 용이하므로 IMT-Advanced와 같은 표준규격의 평가에 적합한 시뮬레이터가 될 것이다. 5장에서 살펴본바와 같이 지금까지 알려진 외부 평가그룹의 모의 실험결과와 본 논문에서 개발한 시뮬레이터의 성능평가 모두 ITU-R에서 정의한 최소성능 기준을 상회하기 때문에, 두 기술 모두 IMT-Advanced 기술로 인정받을 수 있을 것이다.

향후의 연구 주제로 2011년에 완료될 IEEE 802.16m과 LTE-Advanced 기술에 관하여 개정될 표준화에도 본 논문에서 구현한 시뮬레이터를 적용하기 위한 확장 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] ITU-R Working Party 5D, "Submission and evaluation process and consensus building," IMT-ADV/2-E Document, Aug. 2008.
- [2] ITU-R, "Evaluation criteria and submission templates for the development of IMT-Advanced," M.2133 Report, Nov. 2008.
- [3] ITU-R IMT-Advanced submission and evaluation process, <http://www.itu.int/ITU-R/index.asp?category=study-groups&rlink=rsg5-imt-advanced&lang=en>
- [4] ITU-R Working Party 8F, "Status report for SI improved network controlled mobility between LTE and 3GPP2/mobile WiMAX radio technologies," 8F/TEMP/536-E Document, Aug. 2007.
- [5] ITU-R Working Party 8F, "Status report for WI MBSFN downlink optimized broadcast 3.84Mcps TDD," 8F/TEMP/537-E Document, Aug. 2007.
- [6] Telecommunication Technology Association, "ICT Standardization Roadmap," Ver.2009, Dec. 2009. (in Korean)
- [7] ITU-R, "Guideline for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced," M.2135 Report, Nov. 2008.
- [8] ITU-R IMT-Advanced Channel Models, <http://www.itu.int/oth/R0A06000021/en>

- [9] ITU-R, "Guidelines for evaluation of radio transmission technologies for IMT-Advanced," M.2135 Report, Jan. 2007.
- [10] ITU-R WP 5D, "Software implementation of IMT.EVAL channel model," 5D/313 Report, Oct. 2008.



김 대 중

1993년 2월 전남대학교 공과대학 재료공학과 학사. 2004년 9월 경희대학교 정보통신공학과 석사. 1993년 11월~2001년 5월 한국전파진흥원(舊 無線管理團) 연구개발팀 연구원. 2001년 5월~현재 한국정보통신기술협회 표준화본부 전파방송부장. 2007년 2월~현재 광주대학교 전자통신공학과 박사과정. 관심분야는 이동통신, 무선인터넷, 전파통신, 방송, 국제표준화

정 광 수

정보과학회논문지 : 정보통신
제 37 권 제 1 호 참조