

WiBro 전파감쇄예측 모델에 관한 연구

A Study of Pathloss Model for WiBro

전 현 철*, 이 진 옥*, 문 성 환*

Hyun-Cheol Jeon, Jin-Ouk Lee, Sung-Hwan Moon

Abstract

WiBro(Mobile WiMAX) has gained momentum as a top candidate to deliver the dream of full mobile wireless internet. To save cost and time in WiBro network design, simulation tool has to deploy powerful and useful analysis functions. If pathloss model is more accurate, the reliability of analysis result of simulation tool will be much improved. So we emphasize on the importance of pathloss model in WiBro network design in this paper. For this, we introduce to three kinds of pathloss models(SUI, SCM, SCM-E) supposed properly models in WiBro RF (Radio Frequency) environment. Also we treat from basic theory to practical substance on the pathloss model to adopt WiBro network design/optimization. Finally, we describe about wireless network analysis tool named 'CellPLAN®' and techniques possible to improve the accuracy of pathloss model.

Keywords: WiBro(Mobile WIMAX), Pathloss model, Simulation tool, Cell planning

I. 서 론

WiBro(Wireless Broadband Internet)는 이동통신 환경에서 고품질의 인터넷 서비스를 이용하고자 하는 사용자들의 요구에서 시작되었다. 국내에서는 2002년 정보통신부가 무선가입자용(N-WLL)으로 사용하던 2.3GHz 대역의 주파수를 휴대인터넷용으로 재분배하였고, 한국전자통신연구원(ETRI)과 삼성전자가 등이 기술표준 HPI 개발에 성공한 것이 WiBro의 기반이 되었다. 2007년에는 국제전기통신연합(ITU)이 Mobile WiMAX라는 이름으로 WiBro를 3세대 이동통신의 6번째 기술표준으로 채택하였다[10]

WiMAX 표준화를 주도하는 WiMAX Forum에서는 2012년까지 전 세계적으로 210개 국가에서 538개의 사업자가 약 1억 3366만 가입자를 확보할 수 있을 것으로 예상하고 있다[1] 실제, 최근의 세계 금융 위기 속에서도 WiMAX 인프라 매출은 세계적으로 매년 증가하고 있는 실정이다. 국내에서는 SK텔레콤과 KT가 서울을 중심으로 수도권 일부 지역에서 세계 최초의 WiBro 상용서비스에 성공하였다.

기존의 Network과 마찬가지로 WiBro망을 설계하고 최적화하는 작업에는 반드시 무선망 분석/예측 도구가 필요하다. 무선망 분석/예측을 수행할 수 있는 방법은 여러 가지가 있지만 그 중 가장 대표적인 예는 시뮬레이션 툴을 활용하는 것이다. 실제 무선 환경에서 망을 설계하고 최적화하는 일에는 많은 시간과 노력이 필요하며 이를 줄이는 것이 시뮬레이션 툴의 목표이다.

무선망 분석/예측 툴에 있어서 가장 기본이 되는 것은 전파환경을 정확하게 예측할 수 있는 최적의 전파모델이며, 전파모델의 신뢰도는 모든 분석결과와 신뢰도에 직접적인 영향을 미친다. 현재 무선망 시뮬레이션 툴에서는 2G/3G 무선망 설계를 위하여 Hata-Okumura, COST231-WI 전파 모델이 널리 사용되고 있다. 그러나, WiBro는 해당 전파모델이 발표된 이후 등장한 기술이므로, 기존 전파모델을 그대로 적용할 경우 신뢰도를 확신하기 어렵다. 따라서 근래에 새롭게 제시된 SUI, SCM, SCM-E 전파모델에 대한 접근이 필요하다.

본 논문에서는 WiBro 무선망 설계에 사용되는 전파모델들에 대하여 개략적으로 살펴보고 이를 SKT의 무선망 설계 툴인 CellPLAN®을 중심으로 설명을 전개한다. 아울러 모델 보정기법 등을 통한 전파예측 모델의 최적화 방안에 대해서도 논한다. 마지막으로 SUI, SCM, SCM-E 전파모델들이 국내 WiBro망 환경 분석에 적합한지 판단할 수 있는 결과값을 제시하면서 결론을 맺는다.

II. 본 론

1. 무선망 분석/예측 툴

무선망의 전파환경을 분석하기 위한 툴은 활용처, 분류 기준 등에 의해 다양하게 나뉘어진다. 예를 들면 분석하는 Radio link의 개수에 따라 Link level/System level simulator로 구분할 수 있으며, 분석 기법의 다이내믹함 여부에 따라 Static/Dynamic simulator로 구분되어 질 수 있다.

단순한 하나의 Radio link의 성능을 평가하는 시스템이 Link level simulator이며, 특정 망에서 다수의 Radio link를 생성시키고 분석 시 Link level simulator의 예측 결과를 참고표(Look-up table)로 삼아 시스템 용량 등의 결과

접수일자 : 2009년 8월 14일

최종완료 : 2009년 8월 14일

*SK 텔레콤 Access N/W본부 Access망 기술팀

교신저자, E-mail : hejeon@sktelecom.com

를 도출하는 시스템이 System level simulator이다.[7] 하나의 Radio link의 성능을 평가하는 Link level 시뮬레이션에서는 Frame/Bit Error Rate(FER/BER) vs. Signal to Interference Ratio(SIR) 혹은 목표FER/BER별 이를 달성하기 위해 필요한 Energy 관계 등의 결과를 도출해낼 수 있다. 이에 반해 다수의 Link를 생성해 이들을 서로 유기적으로 동작시키고 정해진 규칙에 따라 이동통신 가입자를 분포시켜 Traffic load 등의 영향을 분석함으로써 시스템의 용량 등을 파악할 수 있는 것이 System level 시뮬레이션이다. 하지만 이러한 구분은 어디까지나 편의를 위한 것으로 명확한 구분을 하기에는 모호한 점이 많다. 현재 국내의 이동통신 서비스 업체가 개발한 전파환경 분석 시뮬레이션 툴은 이 두 가지 기법이 혼용된 것이 대부분이다. [2] 분석 내용의 다이나믹함 즉 시간 개념 유무 및 가입자 이동성 여부에 따라라도 시뮬레이션 툴을 분류할 수 있다. Static simulator는 주로 어떤 순간(Snap-shot)의 무선망 분석결과를 통계 처리해 무선망의 전반적인 상황을 파악하는데 활용한다. 관심 지역의 최번시 상황을 가정해 그에 대한 분석을 행하고 그 결과를 바탕으로 무선망 설계/최적화를 수행한다. 이는 최번시 상황이 대부분의 무선망에서는 최대 용량이 소요되는 순간 즉 시스템 측면에서 최악의 상황이므로 이를 견뎌낼 수 있도록 망 설계를 하기 때문이다. 이에 반해 Dynamic simulator는 시가변(Time variable) 개념과 가입자 이동성이 가미되고 이로 인해 시간추이에 따른 무선망 상태(예를 들면 가입자 이동에 따른 섹터 Throughput 예측) 파악에 효과적이다. 과거의 단순한 음성 위주의 CDMA 시스템에서는 Static simulator로 충분한 무선망 설계/최적화 작업이 가능했으나 패킷 서비스가 제공되는 현재의 데이터 망에서는 Static simulator와 Dynamic simulator를 병행한 작업이 신뢰도 측면에서 유리하다.[2]

2. 전파예측 모델

무선망 설계/최적화의 가장 기본은 전파전파의 특성을 연구하는 것이다. 전파예측 모델의 정확도가 무선망 분석/예측 툴의 신뢰도를 좌우하기 때문이다.[3] SKT의 무선망 분석/예측 툴인 CellPLAN@에서는 2G/3G 망설계를 위하여 현재 Hata-Okumura, COST-231WI 모델을 활용하고 있으며, 다양성 확보를 위해 SUI, SCM, SCM-E 전파모델을 추가로 구현하였다.

2.1. Hata-Okumura 모델

Okumura 모델은 실측에 의한 그래프를 활용해서 전파 모델링을 수행하는데 이 방법은 다소 불편하다. Hata는 Okumura 모델의 단점을 개선하여, 수학적으로 간략화시킨 모델을 발표하였고, 이것을 Hata-Okumura 모델이라 총칭하기도 한다[8]. 이 모델은 도심(Urban), 교외(Sub-urban), 개방(Open) 지역 등 3가지 전파환경을 고려하며, 150~1500MHz 범위의 주파수 대역 분석에 유효하다. 그래서 Hata-Okumura 모델은 2G 셀룰러 이동통신의 기지국 커버리지를 예측하는데 적합하다. Hata-Okumura 모델 수식은 식(1)과 같다.

$$\text{Pathloss} = 69.55 + 26.16\log(f) - 13.82\log(h_t) + (44.9 - 6.55\log(h_t))\log(d) - A(f) \text{ [dB]} \text{ (1)}$$

$$A(f) = \begin{cases} 3.2(\log(11.7554h_t))^2 - 4.97 & \text{for Large city, } f \geq 300\text{Mhz} \\ 8.29(\log(1.54h_t))^2 - 1.1 & \text{for Large city, } f < 300\text{Mhz} \\ (1.1\log(f) - 0.7)h_t - (1.56\log(f) - 0.8) & \text{for Medium/Small City} \\ 2(\log(f/28))^2 + 5.4 & \text{for Sub - urban} \\ 4.78\log(f)^2 + 18.33\log(f) + 40.94 & \text{for Open} \end{cases}$$

여기서 f: 주파수, d: 거리,
ht: 기지국높이, hr: 수신측높이

2.2. COST231-WI 모델

COST231-WI(Walfisch-Ikegami) 모델은 아파트촌이나 빌딩숲 같은 건물 밀집지역에서 전파예측 정확도를 높이기 위하여 ETSI(European Telecommunication Standards Institute)에서 개발하였다.[9] 복잡한 건물 환경을 모델링하기 위하여 건물 높이, 간격, 방향 등을 고려하기 때문에 수식적으로 다소 복잡하다. 그러나 2GHz 대역에서 최소 20m이상의 거리를 분석할 수 있으므로 대도시 마이크로 셀 예측에 적합하다. 기본 수식은 다음 식(2)와 같다.

$$\text{Pathloss} = (20\log(d) + 20\log(f) + 32.44) + (-16.9 - 10\log(w) + 10\log(f) + 20\log(h_{\text{root}} - h_t) + L(\phi)) + L_{\text{hsh}} + k_a + k_d * \log(d) + k_f * \log(f) - 9\log(b) \text{ [dB]} \text{ (2)}$$

$$L_{\text{hsh}} = \begin{cases} -18\log(1 + d/h_b) & ht > hr \\ 0 & ht < hr \end{cases}$$

$$k_f = \begin{cases} -4 + 0.7\left(\frac{f}{925} - 1\right) & \text{for medium - sized cities and suburban} \\ -4 + 1.5\left(\frac{f}{925} - 1\right) & \text{for metropolitan} \end{cases}$$

$$k_a = \begin{cases} 54 & ht > hr \\ 54 - 0.8 \times d/h_b & ht \leq ht, d \geq 0.5 \text{ km} \\ 54 - 1.6 \times d/h_b \times d & ht \leq ht, d < 0.5 \text{ km} \end{cases}$$

$$k_d = \begin{cases} 18 & ht > hr \\ 18 - 15 \frac{d/h_b}{hr} & ht \leq hr \end{cases}$$

$$L(\phi) = \begin{cases} -10 + 0.354\phi & \text{for } 0 \leq \phi < 35^\circ \\ 2.5 + 0.075(\phi - 35) & \text{for } 35 \leq \phi < 55^\circ \\ 4.0 - 0.114(\phi - 55) & \text{for } 55 \leq \phi < 90^\circ \\ 0(\text{default}) & \end{cases}$$

여기서 f: 주파수, d: 거리, w: 도로폭, b: 건물간격
ht: 기지국높이, hr: 수신측높이, hroof: 건물높이

2.3. SUI 모델

SUI(Stanford University Interim) 전파모델은 IEEE 802.16 워킹 그룹에 의해 제안된 모델로서 북미 지역에서 실측을 통해 도출된 Erceg 모델에 기반을 두고 있다. 주로 고정 광대역 무선통신 시스템의 전파환경을 모델링하기 위하여 활용되고 있으나 1.9GHz 이상 마이크로 셀 환경도 지원하므로 WiMAX 에서도 활용 가능하며 식(3)과 같이 정의된다.[5]

이 모델은 Type A, B, C 세가지 전파환경을 예측할 수

있으나 기준거리 $d_0=100m$ 이내에서는 분석 결과가 부정확하므로 이런 경우에는 식(4)와 같은 별도의 Pathloss 모델을 사용한다.

$$Pathloss = 20\log(4\pi d_0/\lambda) + 10(a - bh_c + c/h_c)\log(d/d_0) + S \quad [dB] \quad (3)$$

$$Pathloss = 20\log(4\pi d_0/\lambda) + S \quad \text{For } d \leq d_0 \quad [dB] \quad (4)$$

여기서 λ : 파장, d : 거리, h_c : 기지국 높이,

S : Log-normal shadowing standard deviation

전파환경에 따른 식(3), (4)의 a, b, c, S 는 다음과 같다.

Type A: Hilly/heavy tree density

$a=4.6, b=0.0075, c=12.6, S=8.2$

Type B: Moderate tree density

$a=4, b=0.0065, c=17.1, S=9.4$

Type C: Flat/Light tree density

$a=3.6, b=0.005, c=20, S=10.6$

2.4. SCM 모델

SCM(Spatial Channel Model) 모델[4]은 2003년 3GPP/3GPP2 Ad-hoc 회의에서 제안된 채널 모델로서 2GHz 이하 주파수 대역에서 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 시스템의 성능 분석을 그 목적으로 한다. 이 모델은 도심 환경에서 발생할 수 있는 세 종류의 전파환경 (Urban Micro, Urban Macro, Sub-urban Macro)를 지원한다. 식 (5)처럼 비교적 간단한 Pathloss 모델이 제시되었으며, 대도시에서는 LOS(Line Of Sight)를 고려할 수 있는 장점이 있다.

$$Pathloss = A \log(d) + B + S \quad [dB] \quad (5)$$

식(5)의 A, B, S 는 전파환경에 따라 다음과 같다.

Urban Micro : $A=38, B=34.53, S=10$

Urban Micro(LOS) : $A=26, B=30.18, S=4$

Urban Macro : $A=35, B=34.5, S=8$

Sub-urban Macro : $A=35, B=31.5, S=8$

2.5. SCM-E 모델

유럽의 WINNER project에서는 광대역/고주파수 대역을 사용하는 무선통신 시스템의 전파환경을 모델링 할 수 있는 전파모델에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위하여 기존의 SCM을 기본으로 최대100MHz 대역폭을 수용하고 5GHz 대역까지 사용 가능한 SCM-E(Spatial Channel Model-Enhanced) 모델을 2005년 발표하였다.[5] 이 모델은 SCM과 유사한 세 종류의 전파환경(Urban Micro, Urban Macro, Sub-urban Macro)를 지원한다. 모든 전파환경에서 LOS 분석이 가능하다는 점이 SCM 모델과의 차이이다. 그러므로 모델 수식은 식(5)와 동일하지만 전파 환경에 따라 A, B, S 가 다음처럼 변한다.

Urban Micro : $A=40.5, B=31.81, S=10$

Urban Macro : $A=38, B=11.14, S=10$

Sub-urban Macro : $A=38, B=7.17, S=10$

LOS(존재시) : $A=26, B=30.18, S=4$

3. 전파모델 보정

이동통신 환경에서의 실제적인 전파전파 현상은 반사, 투과, 회절 및 분산 현상 등에 의하여 매우 복잡한 특성을 가지므로 분석적인 수식(수학적 모델링)만을 활용해 주어진 지역의 전파환경을 정확하게 묘사하기는 쉽지 않다. 이런 이유로 전파모델 파라미터를 주어진 환경에 맞춰 변화를 주는 전파모델 보정방법이 중요하다. CellPLAN®을 활용해 전파모델을 보정하는 과정은 다음과 같다.

(1) 대표기지국 선정

- 대상 섹터와 적당한 전파모델 선택

(2) 실측과 예측 데이터 획득

- Pathloss(혹은 Rx)값을 실제 측정과 시뮬레이션을 통해 획득

(3) 전파모델 보정

- 실/예측값을 비교하고 필요 시 전파모델 보정(선형, 비선형 보정 기법이 있음) 수행

(4) 적합성 검증

- 보정된 전파모델로 시뮬레이션 시행 후 실측값과 비교하여 적합성 판단

전파모델 보정을 위해 실측 pathloss값을 활용할 수 있다면 가장 정확한 결과를 얻을 수 있지만 이런 경우 pathloss 측정을 위해 별도의 전용 송수신 장비를 설치해야 하는 번거로움이 발생한다. 이를 대신할 수 있는 방법이 망 운용 중에 자연스럽게 수집되어진 Rx 데이터를 활용해 전파모델 보정을 수행하는 것이다.

4. 신규 전파모델 분석

이번 절에서는 CellPLAN® 을 활용해 3개의 신규 전파모델이 국내 WiBro망 환경 분석에 얼마나 적합한지 검증해보고자 한다. 이를 위해 다음 표 1과 같은 조건으로 신규 전파모델을 기존 전파모델들과 비교/검증하였다. Rx 측정은 도심, 준도심 환경을 대표할 수 있는 샘플 기지국 중심으로 촘촘하게 수행되었다.

표 1. 분석 환경

	내용
비교/검증 대상 전파모델	Hata-Okumura, COST231-WI, SUI, SCM, SCM-E
회절 모델	Deygout
전파보정 기법	비선형 유전자 알고리즘
실측 샘플 지역	도심: 강남지역 모 기지국 특정 섹터 준도심: 전북지역 모 기지국 특정 섹터
판단 기준	STD(Standard Deviation)

4.1. 도심 지역에서의 적합성

도심 지역은 고층 건물들이 밀집되어 있어 신호감쇄가 크다. 샘플 지역은 강남구 대치동에 소재한 영동역 기지국 주변으로 고층아파트와 건물들이 좁은 도로를 사이에 두고 밀집된 전형적인 도심 환경(그림 1)이다.



그림 1. 서울 영동역 기지국

샘플 기지국에서의 Rx 실측값과 보정되지 않은 전파모델을 활용해 계산한 Rx 예측값을 비교 분석한 결과를 표 2에 정리하였다.

표 2. Rx 실/예측 결과 비교(전파모델 보정 전)

전파모델	거리별 Rx 실/예측	STD
Hata		21.9
COST		28.3
SUI		23.8
SCM		21.8
SCM-E		21.9

여기서 M: 실측데이터, P: 예측데이터, 가로축 점선: 평균값

표 2의 결과에서 알 수 있듯이 전파모델 보정을 하지 않을 경우 실측값 대비 예측값의 오차범위가 통상적인

표 3. Rx 실/예측 결과 비교(전파모델 보정 후)

전파모델	거리별 Rx 실/예측	STD
Hata		7.9
COST		10.6
SUI		8.1
SCM		7.7
SCM-E		7.6

±8dB를 벗어나 국내 WiBro 도심 환경에서 활용하기 곤란하다.

보정 후 모델별 실/예측값 비교 분석 결과는 표 3에 나열하였다.

보정된 전파모델의 경우 표준편차가 허용 오차범위 안에 들어오기 때문에 WiBro망 분석에 활용 가능하다. 또한 추가된 3개의 모델 중 SCM, SCM-E 모델들은 근소하게나마 기존모델 대비 앞선 표준편차 결과를 제공하여 WiBro 망 설계 시 예측 정확도를 향상시켜 줄 수 있다.

4.2. 준도심 지역에서의 적합성 검토

준도심 지역은 일반적으로 저층의 건물이나 장애물 등이 산개된 특성을 갖는다. 선택된 원광대 기지국은 준도심 환경과 유사하며 일부 지역은 Open area 특성도 갖는다. 기지국의 위치와 실측 지점은 그림2에 도시하였다.

선택된 기지국을 중심으로 전파모델 보정 전/후의 결과 비교는 표 4에 나열하였다. 전파모델 보정 전 표준편차는 대도심 환경에 비해 낮아졌으나 표준편차는 여전히 허용 오차범위를 벗어나므로 그대로 활용하기는 어렵다. 전파모델 보정후의 표준편차는 모두 개선되어 준도심에서도 전파모델 보정은 유용함을 알 수 있다.



그림 2. 전북 원광대 기지국

표 4. Rx 실/예측 결과 비교(전파모델 보정 전, 후)

전파모델	전파모델 보정 전 STD	전파 모델 보정 후 STD
Hata	9.8	7.4
COST	17.6	7.5
SUI	10.9	7.8
SCM	10.0	7.4
SCM-E	10.5	6.9

III. 결 론

본 논문에서는 SUI/SCM/SCM-E 전파모델이 국내 WiBro 무선망 설계/최적화에 활용 가능한 것인지 판단하기 위한 기술적 고려 사항 및 요소 등을 서술하였다. 이를 위해 우선 전파예측이 무선망 설계/최적화에서 얼마나 중요한가에 대하여 강조하고 이를 무선망 분석/예측 툴의 신뢰도와 연관지어 설명하였다. 또한 기존의 대표적인 전파모델과 신규 전파모델을 비교/분석함으로써 신규 전파모델의 활용 가능성을 타진해 보았다. 전파모델 검증에 위한 실측 데이터 수집은 서울과 전북 지역에서 수행하였다.

본 문헌을 통하여 국내에서의 활용 가능성이 검증된 3개의 전파모델들은 WiBro 무선망 설계/최적화를 효율적으로 수행하는데 밑거름이 될 것이다. 또한 이는 현재 CellPLAN® 에 채용되어 있는 전파모델 보정기법의 우수함을 입증하는 것으로 향후 구현될 기타 전파모델의 보정에서도 활용 가능하다. 이러한 고도의 보정기법과 이를 적용해 신뢰도가 향상된 전파모델들은 경제적/효과적 무선망 설계/최적화 수행에 기여할 것으로 기대된다. 본 논문에 제시된 기술적 접근 방법은 국내의 WiBro망 설계뿐만 아니라 해외의 WiMAX망 구축 사업에서도 활용될 수 있으며, 향후 LTE를 비롯한 여타 B3G(Beyond 3G) 통신망 설계 시에도 유용할 것으로 전망된다.

[참고 문헌]

- [1] WiMAX Forum® "WiMAXTM Technology Forecast(2007-2012)", Jul 2008.
- [2] 전현철, "설계툴을 활용한 무선망 최적화/엔지니어링 작업 프로세스," 2004년 한국정보통신설비학회 하계학술대회, pp. 169-172,
- [3] 전현철 외 6인, "무선망 분석 설계툴의 신뢰도 향상 기법," 2005년 한국정보통신설비학회 하계학술대회, pp. 431-435,
- [4] 3GPP, "Spatial Channel Model for MIMO Simulations, TR 25.996 V8.0.0", Jan 2009.
- [5] J. G. Andrews, A. Ghosh, R. Muhamed, *Fundamentals of WiMAX*, Prentice Hall, New York, 2007.
- [6] Lin Ma and Zhigang Rong, "Capacity Simulations and Analysis for cdma2000 Packet Data Services," *IEEE VTC 2000*, pp.1620- 1626, 2000.
- [7] 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.
- [8] M. Hata, "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 29, pp. 317-325, Sep 1981
- [9] COST Action 231, "Digital mobile radio towards future generation systems, final report," *tech. rep. European Communities*, EUR 18957, 1999.
- [10] 전현철, "WiBro Wave2 Cell Plan Tool 구현," 2008년 한국정보통신설비학회 하계학술대회 논문지, Aug 2008.