

ITU-R P.526을 지원하는 SEAMCAT 기반 전파 간섭 평가 도구 개발

임창헌*, 권종만*, 김용훈**, 이양원***

Development of a SEAMCAT Based Interference Evaluation Tool with ITU-R P.526

Chang Heon Lim*, Jong Man Kwon*, Yong Hoon Kim**, Yang Won Lee***

요약

SEAMCAT(Spectrum Engineering Advanced Monte Carlo Analysis Tool)은 다양한 통신 시스템 간에 발생할 수 있는 간섭 영향을 분석하는 도구로서 현재 널리 사용되고 있다. 기존의 SEAMCAT은 여러 가지 채널 전파 모델을 지원하고 있지만, 모두 경로 손실을 통계적으로 모델링하는 형태이기 때문에 구체적인 지형 정보를 활용하고 있지 않다. 따라서 기존의 SEAMCAT으로는 구체적인 지형 환경을 고려하여 전파 간섭 영향을 분석하기는 어렵다. 이런 제약을 해소하기 위해서는 구체적인 지형 정보를 토대로 경로 손실을 추정하는 채널 전파 모델을 SEAMCAT이 지원할 수 있도록 그 기능을 확장할 필요가 있다. 지형 정보를 감안하여 경로 손실을 추정하는 대표적인 채널 전파 모델로는 ITU-R P.526 모델이 있다. 본 논문에서는 ITU-R P.526 모델을 지원하는 SEAMCAT 기반 간섭 도구를 제안하고, 몇 가지 간단한 분석 사례를 보여주하고자 한다.

Key Words : SEAMCAT, interference evaluation, channel propagation model, terrain characteristic, ITU-R P.526

ABSTRACT

Currently, SEAMCAT has been widely used as a tool to evaluate the effects of interference among a variety of wireless communication systems. This supports various channel propagation models, all of which are based on some statistical models for the channel propagation and do not exploit any specific terrain characteristics. Thus it is not appropriate for assessing the effects of interference between wireless systems, given some specific terrain features. In order to overcome this limit in its use, it is necessary to extend the capability of SEAMCAT to support a channel propagation model which takes into account terrain informations. The ITU-R P.526 is a familiar channel propagation model which calculates the path loss considering the terrain features. In this paper, we present an enhanced version of SEAMCAT which supports the ITU-R P.526 and provide a few examples of interference evaluation using it.

I. 서론

스마트폰을 비롯한 다양한 무선 통신 서비스가

등장하면서 주파수 자원에 대한 수요는 급증한 반면에 주파수 자원은 한정되어 있어 별도의 해결책을 모색하지 않는다면 가까운 장래에 주파수 자원

◆ 저자 겸 교신저자 : 부경대학교 전자공학과 통신시스템 연구실, chlim@pknu.ac.kr, 종신회원

* (주)국토해양환경기술단, k13jm@hanmail.net, 정회원

** (주)아이로직스, yonghkim2002@gmail.com

*** 부경대학교 공간정보시스템 공학과, modconfi@pknu.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2012-06-273, 접수일자 : 2012년 6월 5일, 최종논문접수일자 : 2012년 8월 29일

에 대한 수요를 충족시키기 어려운 상황이 발생할 것으로 예상되고 있다¹⁾. 따라서 한정된 주파수 자원을 보다 효율적으로 활용하기 위한 방안이 반드시 필요하다.

주파수 자원을 효율적으로 이용하기 위한 노력은 지난 수십 년간 여러 측면에서 시도되어 오고 있다. 이러한 노력 중의 하나가 복수의 통신 서비스가 동일 대역 혹은 인접 대역에서 효율적인 방식으로 공존하는 방안을 모색하는 것하며, 이때 가장 중요한 것이 그들 서비스간의 간섭이 일정 수준 이하로 유지된다는 것을 보장하는 것이다. 이를 위해서는 먼저 다양한 통신 시스템간의 간섭을 분석할 수 있는 방안이 필수적이다.

이미 알려져 있는 간섭 영향 평가 방식으로는 MCL(Mini mum Coupling Loss) 기반 방식과 몬테 카를로(Mon te Carlo) 방식 등이 있는데, 이 중에서 다양한 상황을 종합적으로 고려할 수 있는 몬테 카를로 방식이 널리 사용되고 있다.

SEAMCAT²⁾은 몬테 카를로 방식에 기초한 간섭 분석 도구로 널리 사용되고 있다³⁻⁸⁾. 간섭 분석에서 중요한 요소 중의 하나는 채널 전파(channel propagation) 모델 또는 경로 손실(path loss) 모델로 불리는 수학적 모델이다. 일반적으로 경로 손실 모델은 손실을 통계적으로 모델링하는 경우와 개별 지형 정보를 활용하는 경우로 구분할 수 있다. SEAMCAT이 사용하는 전파 손실 모델은 모두 전자의 경우에 속한다. 통계적 경로 손실 모델은 구체적인 지형 정보를 활용하지 않기 때문에 간섭 분석이 이루어지는 지형의 특징을 자세하게 반영할 수 없다. 따라서 지형의 특성을 감안하여 전파 간섭을 평가하기 위해서는 현재의 SEAMCAT이 적절한 선택이 될 수 없다. 이 논문에서는 이러한 단점을 해소하기 위하여 지형 정보를 반영하는 경로 손실 모델인 ITU-R P.526 모델⁹⁾을 SEAMCAT이 지원할 수 있는 방안을 제시하고자 한다. 이전에 연구¹⁰⁾에서 새로운 경로 손실 모델인 ITU-R P.1546-4를 SEAMCAT에 추가하려는 시도가 있었지만 이 역시 지형 정보를 반영하는 모델이 아니며 SEAMCAT의 플러그 인 기능을 해당 모델을 지원하는 형태여서 본 논문에서처럼 SEAMCAT의 소스 코드를 변경하는 방식과는 사용자 편의성 측면에서 차이가 있다.

본 논문에서는 I절 서론에 이어 II절에서는 SEAMCAT의 주요 특징을 기술하고, III절에서

는 P.526 모델을 설명한다. 그리고 IV장에서는 본 논문에서 개발한 SEAMCAT 기반 간섭 분석 도구를 사용하여 간섭 분석한 사례를 제시하고, 마지막으로 V장에서 결론을 맺고자 한다.

II. SEAMCAT 소개

SEAMCAT은 분석 대상 시스템을 그림 1에 나타낸 바와 같이 피 간섭 링크(victim link)와 간섭 링크(interfering link)로 구분하고, 이들 개별 링크를 구성하는 송신기, 수신기 및 이들의 위치 그리고 전파 모델 등을 설정할 수 있는 기능을 갖추고 있다. 이때 피 간섭 링크의 송신기를 W_t (Wanted transmitter) 그리고 수신기를 V_r (Victim receiver)라고 표시하고, 간섭 링크의 송신기를 I_t (Interfering transmitter), 수신기를 W_r (Wanted receiver)라고 부른다. 그림 1에서 dRSS (Desired Received Signal Strength)는 피간섭 링크의 수신기인 V_r 이 송신기 W_t 로부터 수신한 신호의 전력을 의미하고, iRSS (Interfering Received Signal Strength)는 간섭 링크의 송신기 I_t 로부터 V_r 이 수신한 신호의 전력을 나타낸다.

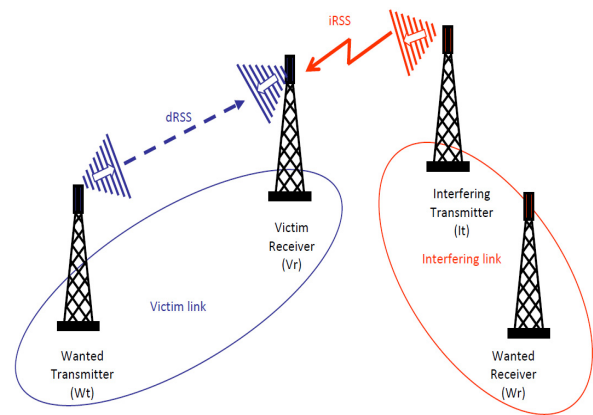


그림 1. SEAMCAT의 간섭 평가를 위한 시스템 모델
Fig. 1. System model for interference assessment in SEAMCAT

SEAMCAT이 채택하는 성능 평가 척도로는 분석의 대상이 되는 시스템에 따라 다를 수 있지만 현재 사용하고 있는 대표적인 척도로는 간섭 확률(interference probability), 용량(capacity), 전송 효율(throughput)이 있다. 예를 들어 WCDMA(Wideband Code Division Multiplex Access) 시스템의 경우에는 간섭

척도로 용량 손실을 사용하고, LTE(Long Term Evolution) 같은 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 시스템의 경우에는 전송 효율을 사용하고 있다.

SEAMCAT의 구성은 그림 2에 나타난 바와 같이 핵심 시뮬레이션 엔진(engine) 3개와 후처리 플러그인(post processing plugin) 그리고, XML기반 데이터 파일로 구성되어 있다. 핵심 시뮬레이션 엔진으로는 EGE (Event Generation Engine), ICE (Interference Calculation Engine), CDMAE (CDMA simulation Engine)이 있다. 여기에서 EGE는 몬테 카를로 시뮬레이션을 구성하는 개별 스냅샷(snapshot) 환경을 만들고 간섭 분석에 필요한 기초 자료를 계산하는 모듈인데, 이벤트라는 용어가 스냅샷과 동일한 의미를 갖는 것으로 보인다. 그리고 EGE에서 산출한 스냅샷 결과를 토대로 간섭 확률을 계산하는 모듈을 ICE라고 한다. 이 두 가지 모듈은 기본적으로 분석 대상 시스템을 구성하는 개별 송수신기가 일대일 통신을 할 경우를 전제로 한 것이다. 만약 CDMA나 OFDMA 시스템처럼 일대일 통신이 아닌 경우에는 추가로 이들 시스템의 간섭 분석을 위한 엔진이 필요한데, 현재 SEAMCAT에 장착되어 있는 CDMA가 이를 수행하는 모듈이라고 할 수 있다. 만약 향후 다른 형태의 시스템이 등장한다면 그때마다 유사한 엔진이 추가될 것으로 보인다.

EGE 엔진이 분석한 기본적인 양으로는 dRSS와 iRSS가 있다. EGE가 이들 두 가지 값을 계산하여 ICE로 넘겨주면, ICE는 이 두 가지 양의 비율인 dRSS/iRSS를 계산한다. 이 값은 일반적으로 신호 대 간섭 전력비를 의미하는 것으로 간섭의 정도가 얼마인지를 정량적으로 나타내는 양이다. 그리고 그 값이 미리 정한 수준보다 낮게 나오는 경우를 간섭 상황(interference)이라고 규정하고, 전체 이벤트 횟수에서 간섭 상황이 몇 번 발생하는가를 확인하여 간섭 확률을 계산한다.

EGE에서 iRSS를 계산할 때 세부적으로 두 가지 간섭 요인을 고려한다. 첫번째는 It의 송신 스펙트럼 마스크(spectrum mask) 특성에 따라 송신 신호의 스펙트럼 성분의 일부가 원래 사용하기로 되어 있는 주파수 대역을 넘어 Vr의 주파수 대역을 침범할 수 있는데 이런 간섭을 불요 간섭(unwanted interference)라고 한다. 두 번째로는 Vr의 수신 필터 특성이 완벽하지 않아서 자

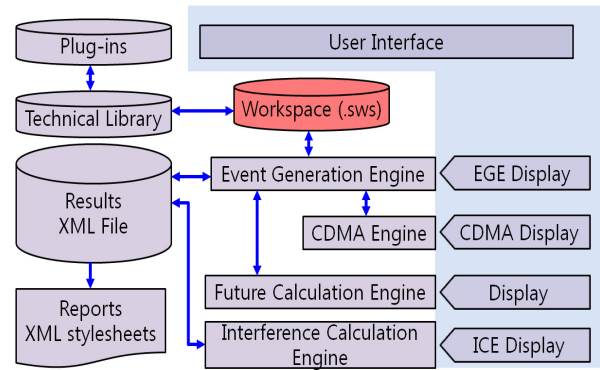


그림 2. SEAMCAT의 구조
Fig. 2. Architecture of SEAMCAT

신이 사용하기로 되어 있는 주파수 대역 이외의 신호를 수신하는 경우가 있는데 이로 인해 It의 신호 중의 일부를 수신함으로써 발생하는 간섭 신호를 블로킹 간섭(blocking interference)라고 한다. SEAMCAT 사용자는 필요에 따라 이들 2가지 간섭 요인 중에서 일부 또는 모두를 고려하여 간섭 분석을 수행할 수 있다.

SEAMCAT에서 선택할 수 있는 경로 손실 모델은 모두 6가지가 있으며 이들 이외에 플러그인 형태로 사용자가 정한 임의의 경로 손실 모델을 사용할 수 있는 기능을 제공하고 있다. 현재 SEAMCAT이 제공하고 있는 경로 손실 모델은 모두 통계적으로 경로 손실을 표현하는 방식이기 때문에 송수신 안테나의 높이, 사용 주파수, 지형의 종류 정보 정도를 고려하여 경로 손실을 계산하고 있다. 따라서 지형의 구체적인 특성을 반영하여 전파 손실을 계산하려면 별도의 경로 손실 모델을 지원할 수 있도록 SEAMCAT의 기능을 보강해야 한다. 이때 앞에서 언급한 플러그인 형태를 고려해 볼 수도 있지만, 본 논문에서는 사용자의 편의를 위해 SEAMCAT의 소스 코드 자체를 변경하는 방식을 채택함으로써 사용자가 기존의 경로 손실 모델을 사용하는 것처럼 편리하게 이용할 수 있도록 구현하였다.

III. 지형 정보를 반영한 경로 손실 모델

지형을 반영하는 방법으로는 지형의 통계적인 특성에 따라서 평균적인 경로 손실 값을 추정하는 방법과 송수신기 사이의 지표 고도 변화를 의미하는 경로 프로파일(path profile)을 이용하는 방법으로 나누어 볼 수 있다. 본 연구에서는 지표 고도 정보를 고려한 간섭 분석을 수행하기 위해 ITU의

경로 손실 모델 중에서 ITU-R P.526-11^[4]을 선택하고 이를 SEAMCAT에 구현하였다.

P.526은 기본적으로 회절 현상으로 인해 발생하는 신호의 감쇄를 고려한 모델이다. 송수신기 사이의 직선 경로(line of sight)상에 장애물이 있는 경우에 이로 인해 회절이 발생할 수 있으며, 장애물이 직선 경로와 어떤 위치 관계를 갖는가에 따라 수신 신호의 감쇄가 달라지는데 P.526 모델은 이를 모델링 한 것이라고 할 수 있다. 좀 더 구체적으로 말하면 송수신기 사이의 직선 경로를 중심으로 하여 Fresnel 타원면을 정의하였을 때, 송수신기 사이에 있는 장애물이 어떤 위치를 차지하는가에 따라서 회절에 의한 감쇄가 달라진다.

P.526 모델은 송수신기 간의 경로 프로파일 정보를 분석하여 지형의 고도 변화가 얼마나 심한가에 따라 그에 적합한 장애물 모델을 선택하고 경로 손실을 계산한다. P.526이 제공하는 장애물 모델로는 smooth Earth 모델, knife edge 모델, cylinder 모델, thin screen 모델, conducting wedge 모델이 있다.

일단 송수신기 사이의 지형 고도의 변화가 1차 Fresnel zone에 비하여 1/10 이하라면 smooth Earth 모델을 선택하여 지구 구면에 의한 회절만을 고려한다. 한편, 지형이 불규칙하다고 판단되면 지형 특성을 분석한 후 나머지 4개 모델 중의 하나를 선택하여 경로 손실을 추정한다. Knife edge 모델의 경우에 뾰족한(knife edge) 형태의 장애물이 하나이면 이론적으로 근사화한 경로 손실 값을 얻을 수 있다. 예를 들어 그림 3과 같은 이상적인 뾰족 장애물의 경우에 회절에 의한 경로 손실을 다음과 같은 Fresnel-Kirchoff 손실 식을 통하여 얻을 수 있다.

$$J(\nu) = -20 \log \left(\frac{\sqrt{[1 - C(\nu) - S(\nu)]^2 + [C(\nu) - S(\nu)]^2}}{2} \right) \quad (1)$$

여기서 $J(\nu)$ 는 dB 값으로 얻게 되며 $C(\nu)$ 와 $S(\nu)$ 는 다음의 Fresnel 적분식을 통해서 얻게 된다.

$$F_c(\nu) = \int_0^\nu \exp\left(j \frac{\pi s^2}{2}\right) ds = C(\nu) + jS(\nu) \quad (2)$$

여기서 $j = \sqrt{-1}$ 이며, ν 는 장애물의 위치에 따라 달라지는 값으로 다음과 같이 결정한다.

$$\nu = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)} \quad (3)$$

여기서 λ 는 전파의 파장을, d_1 , d_2 는 각각 장애물의 모서리와 송수신기 간의 거리이며, h 는 송수신기 간의 직선 경로에서부터 장애물의 모서리까지의 거리를 나타내는데, 음수의 경우는 직선경로보다 낮은 위치에 모서리가 있는 경우를 나타낸다.

만약 뾰족한 형태의 장애물이 한 개 이상이라면 그에 대한 경로 손실은 단일 장애물의 경로 손실을 합산한 후 보정값을 적용하여 정확도를 높이게 된다. 복수의 뾰족한 장애물이 있는 경우에는 Deygout의 방식^[11]을 사용하여 경로 손실을 계산하는데 최대 3개의 뾰족한 장애물을 고려한다. 이를 좀 더 자세하게 설명하면 다음과 같다. 송수신기 간의 직선 경로 상에서 가장 영향을 많이 주는 주 모서리(principal edge)에서 단일 뾰족 장애물(single knife edge)로 인한 경로 손실을 계산하고, 다시 송신기와 이 주 모서리 사이에서 회절 영향이 가장 큰 위치에서 단일 뾰족 장애물로 인한 경로 손실을 계산한다. 그리고 다시 수신기와 주 모서리 사이에서 회절 영향이 가장 큰 위치에서 단일 뾰족 장애물로 인한 경로 손실을 계산하여 전체 경로 손실을 산출하는 방식이다.

실린더 모델의 경우에는 장애물이 둥근 형태(round obstacle)인 경우인데 뾰족 장애물 모델과 달리 회절을 일으키는 송수신기 간의 모든 장애물의 영향을 반영하도록 되어있다. Thin screen 모델은 단일 장애물의 주변지역에서 전파가 전달될 때 혹은 창문과 같이 구멍이 있는 구조물에서의 경로 손실을 예측하는데 사용한다. 그리고 Conducting wedge 모델은 건물 모퉁이나 지붕의 비탈면 혹은 산악지형에서와 같이 wedge형태로 모델링을 할 수 있는 지형에서 적용할 수 있는 모델이다. 지금까지 기술한 P.526의 장애물 모델의 종류와 특징을 정리하면 표 1에 나타낸 바와 같다.

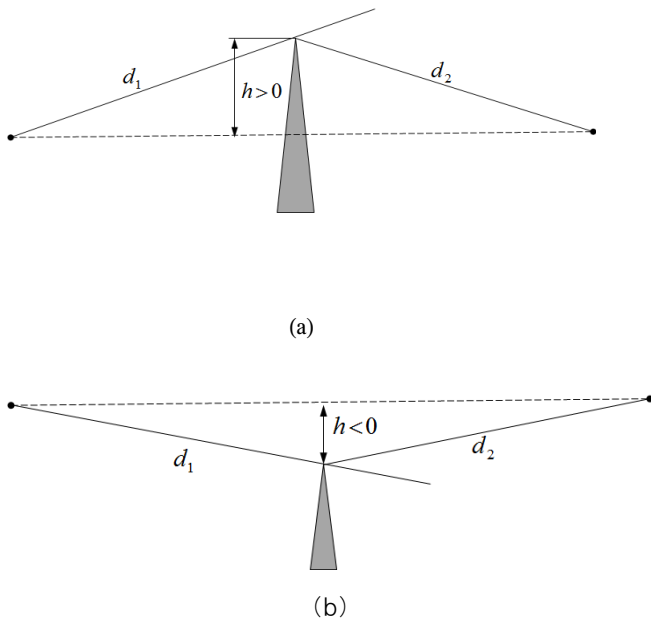


그림 3. 단일 knife edge 장애물에 대한 모델링 파라미터
Fig. 3. Modelling parameters for the case of a single knife edge obstacle

표 1. P.526이 지원하는 장애물 모델의 종류
Table 1. Obstacle types supported by P.526

Obstacle type	Characteristics
smooth Earth	smooth terrain
Knife edge model	knife-edge
Cylinder model	rounded obstacle
Thin screen model	rectangular aperture
Conducting wedge model	wedge-shaped hill

IV. 지형 정보 활용을 위한 SEAMCAT 기능 확장

지형 정보를 이용한 간섭 분석 기능을 SEAMCAT에 추가하기 위해서는 먼저 사용자에게 지형 정보를 제공하는 별도의 사용자 인터페이스가 필요하다. 그리고 지도상에 있는 임의의 위치에 대한 고도 정보를 내장하고 있어야 한다. 왜냐하면 III장에서 기술한 P.526 모델을 활용하여 경로 손실을 계산하기 위해서는 임의의 송수신 장치를 직선으로 연결한다고 했을 때 직선상에 있는 임의의 점, 즉 해당 위치의 고도 정보가 필요하기 때문이다.

지형 정보를 활용하기 위해 SEAMCAT의 기능을 어떻게 확장했는지를 설명하는 방법으로, 사용자가 해당 도구를 사용하는 순서를 참작하여 기존의 SEAMCAT을 사용할 때와 다른 부분을 중점

적으로 설명하기로 한다. 먼저 간섭 분석을 위해 SEAMCAT을 기동하면 지형 정보를 사용할 지를 묻는 창을 제공한다. 이때 지도 이미지를 사용한다고 하지 않으면 그 이후 사용 방법은 기존의 SEAMCAT 사용 방법과 동일하다. 만약 사용한다고 하면 그림 4에 나타난 바와 같이 지도 이미지를 보여주는 별도의 창이 나타난다. 이때 그림 4의 창이 뜨면서 Wt의 위치를 사용자로 하여금 선택하라는 메시지를 화면에 표시하게 되는데, 이는 화면상의 Wt 위치와 SEAMCAT 내부에서 사용하는 Wt 위치를 대응시키기 위함이다. 이와 같이 Wt 위치를 설정한 이후에 피간섭 링크 설정과 간섭 링크의 설정은 기존의 SEAMCAT을 사용하는 방법과 동일하다. 다만 P.526 모델을 사용하기 위해서는 그림 5에 나타난 바와 같이 전파 채널 모델을 선택할 때 P.526 모델을 선택해야 한다. Vt, It, Wt의 위치 설정 기능은 기존의 SEAMCAT에서 하는 방법을 그대로 사용하는 것으로 했는데 그 이유는 기존의 SEAMCAT이 제공하는 다양한 위치 설정 기능을 그대로 활용하기 위해서이다.

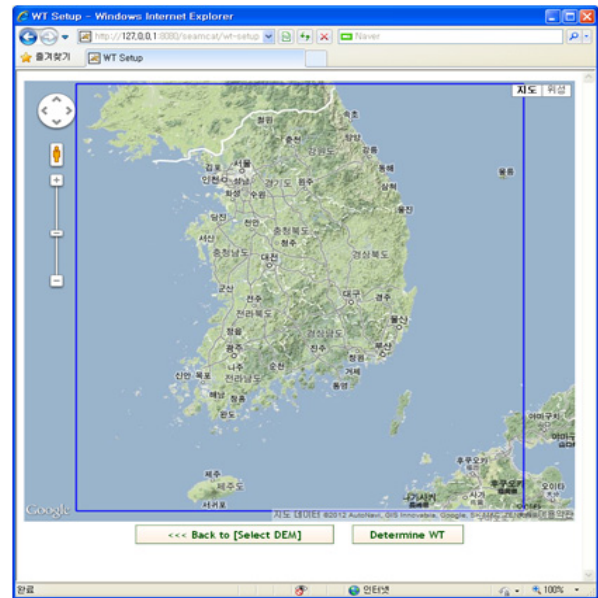


그림 4. WT 위치 설정 윈도우
Fig. 4. Window for determining the location of WT

모든 설정을 한 후에 시뮬레이션을 실시하게 되는데 시뮬레이션을 모두 마치고 나면 시뮬레이션 결과와 함께 그림 6의 창이 나타나게 된다. 이 창은 피간섭 링크와 간섭 링크를 구성하는 4가지 통신 시스템의 위치를 표시한다. 또한 지도상에 임의의 2위치를 설정한 후 Get Path Loss 라는 탭을 클릭하면 두 위치를 잇는 직선 경로상의 고도

변화를 별도의 창을 통해서 보여준다. 현재 그림 6은 2개의 위치를 설정한 경우의 화면을 보여주고 있다. 그림 4와 그림 6의 인터페이스는 기본적으로 구글(Google)에서 제공하는 지도 이미지에 지표 고도 정보(digital elevation model: DEM)를 연계하는 형태로 해당 인터페이스를 제작하였으며, 이때 지도의 해상도는 1 km로 설정하였다.

V. 간섭 분석 도구 검증 및 사례

지형 정보를 이용한 간섭 분석이 적절한 분석 결과를 제시하기 위해서는 먼저 본 논문에서 구현한 경로 손실 모델이 적절하게 동작하는 지를 확인하는 것이 중요하다.

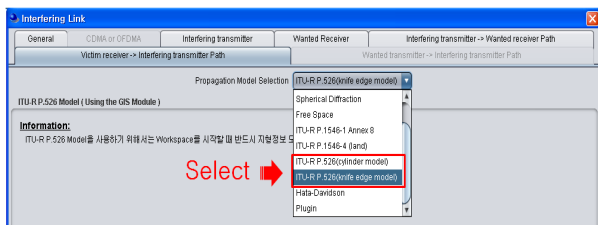


그림 5. 전파 채널 모델 선택
Fig. 5. Propagation channel model selection

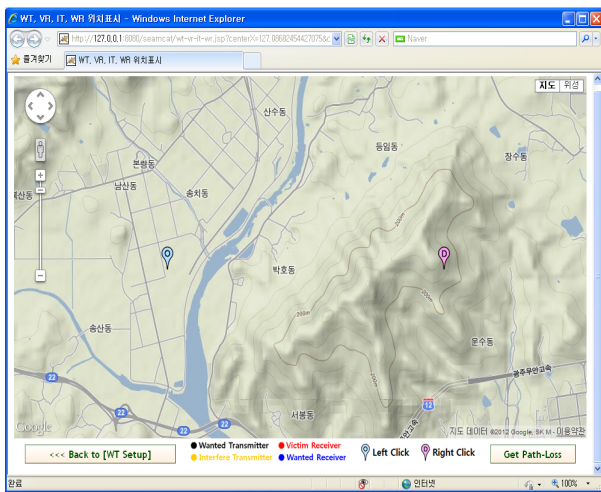


그림 6. Wt, Vr, It, Wr의 위치를 보여주는 윈도우
Fig. 6. Window to show the locations of Wt, Vr, It, Wr

이를 위해 임의의 경로 프로파일을 토대로 송수신기의 안테나 높이를 변화시키면서 경로 손실을 산출해보았다. 그림 7은 검증을 위해 사용한 송수신기간의 경로 프로파일을 보여준다. 그림에서 굵은

실선은 경로의 해발고도에 채선으로 표현한 지구 구면에 의한 송수신기 간의 높이 변화가 더해진 값을 나타낸다. 또 그림의 점선은 송수신 안테나의 높이가 각각 130m일 때, 1차 Fresnel 영역의 경계를 나타낸다. 이와 같은 경로 프로파일에 대하여 본 연구에서 구현한 경로 손실 모델을 적용하여 계산한 경로 손실을 표 2에 나타내었다. 이때 전송 주파수로 1850 MHz를 가정하였다. 그림 7에서 알 수 있듯이 송수신 안테나의 높이를 130m로 설정한 경우에는 지형 장애물이 송수신 시스템 사이에 존재하는 Fresnel 영역의 일부를 차지하기 때문에 해당 경로 손실이 자유 경로 손실과 큰 차이가 나지 않을 것임을 예상할 수 있는데, 표 2의 결과는 이런 예상을 뒷받침하고 있다. 그리고 송수신 안테나 높이를 120m로 낮추면 지형 장애물의 영향이 커질 것으로 추정할 수 있는데 표 2의 결과에서 보듯이 경로 손실이 크게 증가한 것을 확인할 수 있다. 이때 사용한 경로 프로파일은 단일 뾰족 장애물로 모델링 될 수 있다. 그러므로 수식 (1)을 이용하여 경로 손실을 계산할 수 있는데 안테나의 해발 고도가 각각 130m, 120m일 때 수식 (3)의 값은 0.2862, -0.2209가 된다. 이 ν 값을 수식 (3)에 적용하여 계산한 $C(\nu)$, $S(\nu)$ 를 식 (1)에 대입하면 자유공간 경로손실에 더해지는 회절에 의한 추가경로 손실은 각각 8.51dB, 4.16dB이 되어 표 2의 결과를 얻을 수 있다.

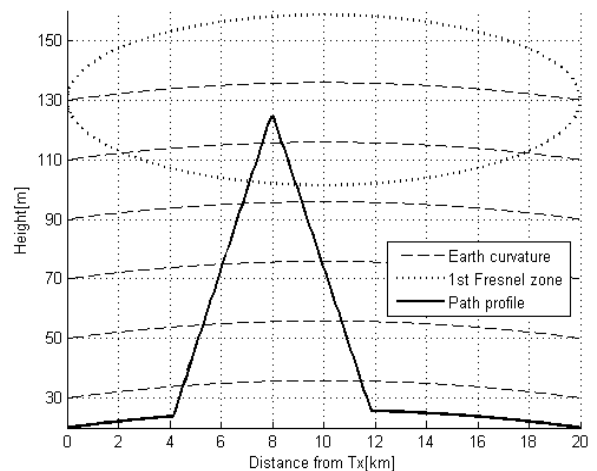


그림 7. 경로 프로파일
Fig. 7. Path profile

표 2. 경로 손실 비교

Table 2. Comparison of the path losses

Transmit antenna gain	Receive Antenna gain	Free space loss	Estimated loss
130m	130m	123.76dB	127.92dB
120m	120m	123.76dB	132.27dB

지형에 따른 간섭 영향이 어떻게 달라지는지를 보여주기 위하여 그림 8과 그림 9에 나타난 것처럼 지도 화면에 두 가지 종류의 간섭 시나리오를 설정하였다. 편의상의 전자의 경우를 간섭 시나리오 1, 그리고 후자의 경우를 간섭 시나리오 2라고 부른다.

간섭 전력은 I_t 와 V_r 의 위치 관계에 의해서 결정되는데 지금 고려하고 있는 두 가지 시나리오에서 이들 두 시스템 간의 거리는 동일하게 설정하였다. 이렇게 한 이유는 거리에 의한 경로 손실을 배제하고 지형 특성만의 영향을 보기 위함이다. 그리고 두 가지 시나리오에서 피 간섭 링크를 구성하는 W_t 와 V_r 의 위치는 동일하게 설정하였다. 그리고 현재 간섭 링크는 송신 전력 제어를 고려하지 않기 때문에 W_r 의 위치가 간섭 현상에 미치는 영향은 없다.

그림 8의 경우는 V_r 과 I_t 사이에 큰 지형적 장애물이 없는 경우인데, 이때 두 시스템 사이의 지표 고도 변화를 나타낸 것이 그림 10이다. 그림에서 보는 바와 같이 두 지점 사이의 직선 경로를 가로 막는 현상이 크지 않음을 알 수 있다. 반면에 그림 9의 경우에는 그림 11에 나타난 것처럼 V_r 과 I_t 사이에 고도가 높은 지형 장애물이 존재하여 그로 인한 경로 손실을 클 것이라는 것을 예상할 수 있다.

그림 8과 그림 9의 두 가지 간섭 시나리오에 사용되는 송수신 시스템의 주요 전송 특성을 정리하면 표 3에 나타난 바와 같다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 간섭 링크와 피간섭 링크는 동일한 대역폭을 사용하지만 반송 주파수가 300 kHz 정도 차이가 남을 알 수 있다. 그리고 간섭 평가에 있어 주요 파라미터라고 할 수 있는 송신기의 방사 마스크 특성과 수신기의 블로킹 특성은 그림 12와 그림 13에 나타난 바와 같이 설정하였다. 여기에서 블로킹 값은 간섭 전력을 얼마 나 차단할 수 있는지를 나타낸다. 본 논문의 주요 관심사는 지형 정보가 간섭 분석에 미치는 영향을 분석하는 것이므로

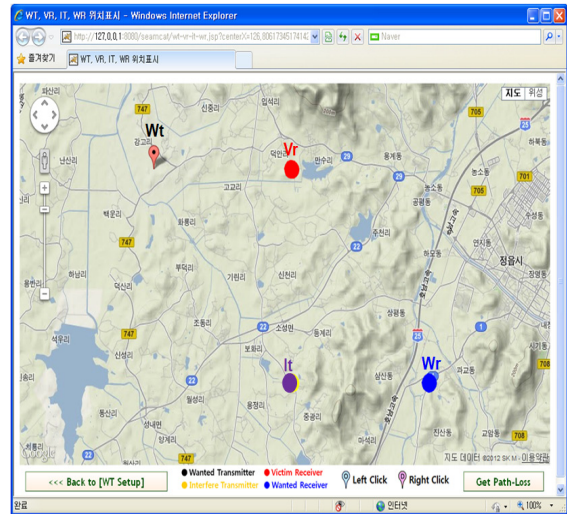


그림 8. V_r 과 I_t 사이에 지형 장애물이 없는 경우에 대한 간섭 시나리오

Fig. 8. Interference scenario that no terrain obstacles exist between V_r and I_t

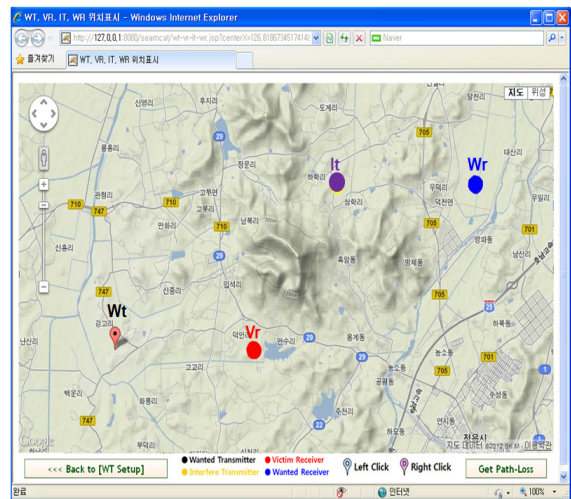


그림 9. V_r 과 I_t 사이에 지형 장애물이 있는 경우에 대한 간섭 시나리오

Fig. 9. Interference scenario that terrain obstacles exist between V_r and I_t

로 송수신 구성과 파라미터 값을 이를 설명하는데 불편함이 없는 정도로 되도록이면 단순하게 설정하였다.

지금까지 설정 내용을 토대로 시뮬레이션을 수행하였을 때, 두 가지 간섭 시나리오에서 발생하는 불요 간섭량과 블로킹 간섭량을 $dRSS/iRSS$ 값과 비교하여 표의 형태로 정리한 것이 표 4이다. 이때 수신 신호 전력은 V_r 의 수신 전력을 의미한다. 표에서 확인할 수 있는 바와 같이 I_t 와 V_r 사이에 장애물이 있는 경우에는 간섭 영향이 확실하게 줄어든다는 것을 알 수 있다.

좀 더 복잡한 간섭 분석 사례로 OFDMA 시스템간의 간섭 분석 사례를 살펴보고자 한다. 해당 시스템의 전송 관련 파라미터는 표 5와 같이 설정하였다^[12]. 표에서 명시한 바와 같이 각 시스템은 총 19개의 셀로 구성되는데 이때 중앙에 있는 셀을 참조 셀(reference cell)로 설정한다. 그리고 피간섭 OFDMA 시스템의 기준 셀 위치는 그림 8과 그림 9의 V_r 의 위치와 동일하게 하고, 간섭 OFDMA 시스템의 참조 셀 위치는 그림 8과 그림 9의 I_t 의 위치로 설정하였다. 현재는 간섭원과 피간섭원 모두 하향 링크인 경우만 고려하는데 이때 수신기 역할을 하는 단말의 ACS(adjacent channel selection)는 20 dB로 하고, 송신기 역할을 하는 기지국의 방사 특성은 그림 14에 나타난 바와 같이 설정하였다.

표의 5의 설정에 따라 간섭 분석을 하였을 때 기준 셀의 전송 효율을 정리하면 표 6에 나타난 바와 같다

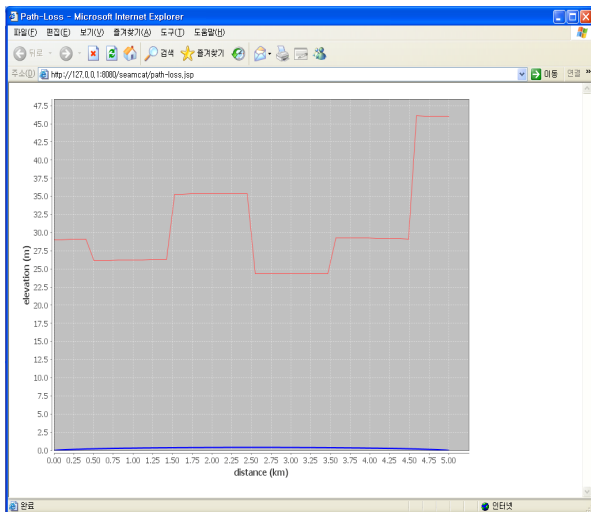


그림 10. 간섭 시나리오 1에 대한 V_r 과 I_t 사이의 지형 고도 변화
Fig. 10. Variation of terrain elevation between I_t and V_r for the scenario I



그림 11. 간섭 시나리오 2에 대한 V_r 과 I_t 사이의 지형 고도 변화
Fig. 11. Variation of terrain elevation between I_t and V_r for the scenario II

표 3. 주요 전송 파라미터
Table 3. Primary transmission parameters

Parameter	Victim link	Interfering link
Carrier frequency	1000 (MHz)	1000.3 (MHz)
Transmit power	30 (dBm)	33 (dBm)
Bandwidth	200 (kHz)	200 (kHz)
Antenna gain	9 (dBi)	11 (dBi)
Antenna height	30 (m)	30 (m)

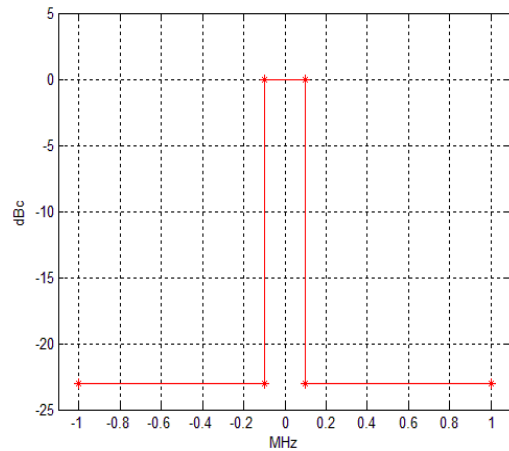


그림 12. 송신기(W_t , I_t)의 방사 마스크(emission mask) 특성
Fig. 12. Characteristic of the emission mask for W_t and I_t

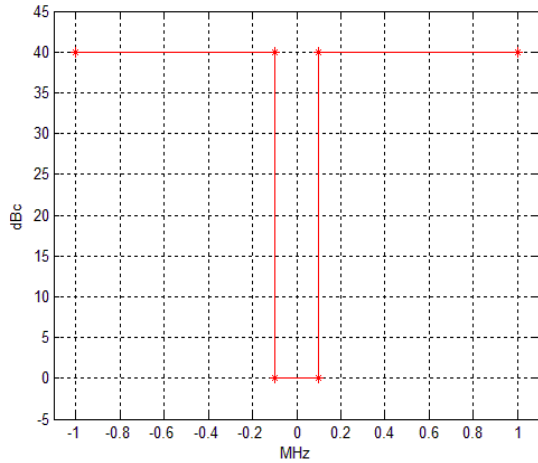


그림 13. 수신기(V_r , W_r)의 수신 필터(블로킹) 특성
Fig. 13. Blocking characteristic for V_r and W_r

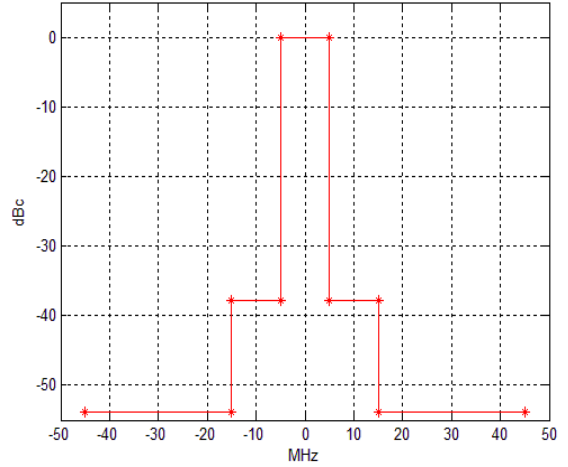


그림 14. 기지국의 방사 마스크(emission mask) 특성
Fig. 14. Characteristic of the emission mask for a base station

표 4. 각 시나리오에 따른 간섭 영향
Table 4. Interference effects for the two scenarios

Parameter	Scenario 1	Scenario 2
Received signal power	-58.38 dBm	-58.38 dBm
$iRSS_1$	-76.38 dBm	-152.47 dBm
$iRSS_2$	-93.38 dBm	-169.47 dBm
$dRSS/iRSS_1$	18	94.09
$dRSS/iRSS_2$	35	111.09

표 5. 주요 전송 파라미터
Table 5. Primary transmission parameters

Parameter	Value
Carrier frequency	2000 (MHz)
BS transmit power	46 (dBm)
Bandwidth	10 (MHz)
Cell radius	433 (m)
BS antenna gain	15 (dBi)
UE antenna gain	0 (dBi)
BS antenna height	30 (m)
UE antenna height	1.5 (m)
Minimum coupling loss	70 dB
Resource blocks per UE	1
Numbe of available resource blocks	24
Number of active users per cell	24
Bandwidth of resouce block	375 kHz
Handoff margin	3 dB
UE noise figure	9 dB
Number of sectors per cell	3
Number of cells	19

표 6. 각 시나리오에 따른 참조 셀의 전송 효율
Table 6. Throughputs of the reference cell for the two scenarios

Interference scenario	Throughput
scenario 1	3607.93 kbps
scenario 2	3725.25 kbps

표에서 알 수 있듯이 시나리오 2의 경우에 참조 셀의 전송 효율이 시나리오 1의 경우보다 높게 나타난다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 시나리오 2의 경우에는 피간섭원과 간섭원 사이에 지형적 장애물이 존재하여 간섭원의 영향이 상대적으로 약하기 때문이다.

VI. 결 론

SEAMCAT이란 간섭 분석 도구는 널리 사용되고 있는 도구로서 소스 코드가 공개되어 있으며, 오랜 시간 개발이 되어왔고 앞으로도 그 기능이 지속적으로 보완될 것으로 보인다. 기존의 SEAMCAT은 여러 가지 형태의 경로 손실 모델을 지원하고 있지만 아직까지 송수신기 사이의 지형 정보를 반영하는 경로 손실 모델을 지원하지 않다. 따라서 어떤 구체적인 통신 환경에서 발생하는 간섭 영향을 추정하는 용도로 사용하기에는 적합하지 않다는 문제점을 갖고 있다. 이런 점을 개선하기 위하여 본 논문에서는 지형 정보를 반영하여 경로 손실을 추정하는 P.526 모델을 구현하여 SEAMCAT에 장착하였으며, 이를 사용자가 원활

하게 사용할 수 있도록 구글 지도 정보를 보여주는 기능과 그로부터 송수신기 사이의 경로 프로파일 등을 보여주는 기능 등을 추가하였다.

References

[1] G. Staple and K. Werbach, "The End of Spectrum Scarcity", IEEE Spectrum, vol. 41, no. 3, pp. 48-52, 2004

[2] ECO, SEAMCAT Handbook, Jan. 2010.

[3] Yan-Ming Cheng, Il-Kyoo Lee, Jae-Sang Cha, Kyung-Sub Kwak, "Analysis on the Interference of UWB Sensor into WiBro in Korea," Communications and Information Technology 2009, pp. 1421-1425, Sep. 2009

[4] A. Rahim, S. Zeisberg, "Evaluation of UWB Interference on 3.5 GHz Fixed WiMax Terminal," Mobile and Wireless Communications Summit, pp. 1-5, Jul. 2007

[5] Denny Setiawan, Dadang Gunawan, Djahmari Sirat, "Interference Analysis of Guard Band and Geographical Separation between DVB-T and E-UTRA in Digital Dividend UHF Band," International Conference on Instrumentation, Communications, Information Technology, and Bio medical Engineering, pp. 1-6, Nov. 2009

[6] Ivancica Sakal, Dina Simunic, "Simulation of Interference between Bluetooth and 802.11b Systems," IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, pp. 1321-1324, May 2003

[7] Rogério Dionisio, Paulo Marques, Jonathan Rodriguez, "TV White Spaces Maps Computation through Interference Analysis," Future Network & Mobile Summit, pp. 1-9, Jun. 2011

[8] J. Choi, V. Q. Duy, and W. Lee, "A Study of Radio Wave Propagation Criterion for the Cognitive Radio System using Interference Analysis in Broadcasting Band," KICS Journal, vol. 34, no. 12, pp. 1014-1022, Dec. 2009

[9] Recommendation ITU-R P.526-11 Propagation by diffraction, ITU

[10] D. Wiecek and D. Wypior, "New SEAMCAT propagation models: irregular terrain model and ITU-R P.1546-4," Journal of Telecommunications and Information technology, pp.131 -140, Mar. 2011.

[11] J. Deygout, "Correction Factor for Multiple Knife-Edge Diffraction," IEEE Trans. on Antennas and Propagation, AP-39, 8, pp. 1256-1258, Aug. 1991

[12] STG(09)24rev2 part3bis-Calibration test for the SEAMCAT DL OFDMA module

임창현 (Chang Heon Lim)



1986년 2월 서울대학교 전자공학과(공학사)
 1988년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자 공학과(공학석사)
 1993년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)
 1994년 3월~현재 부경대학교 전자공학과 교수
 <관심분야> 통신공학, 레이더 신호 처리

권종만 (Jong Man Kwon)



1996년 2월 부경대학교 전자공학과(공학사)
 2001년 2월 부경대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 <관심분야> 통신 S/W, 임베디드 시스템

김용훈 (Yong Hoon Kim)



1986년 2월 서울대학교 전자공학과(학사)
 1988년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)
 1994년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자 공학과(공학

박사)
 현재 (주) 아이로직스 대표이사
 <관심분야> 통신공학

이 양 원 (Yang Won Lee)



1995년 2월 서울대학교 지리학
과(학사)

2001년 2월 서울대학교 지리학
과(석사)

2004년 8월 서울대학교 지리학
과(박사)

2004-2009 도쿄대 토목공학과

연구교수

현재 부경대 공간정보시스템공학과 조교수

<관심분야> GIS, GPS