

2.1GHz 대역에서 몬테-카를로 방법을 이용한 위성시스템과 이동통신 시스템 간 주파수 공유 연구

박진웅*, 오대섭*, 오성준^o

A Study on Frequency Sharing between Satellite and Mobile Communication Systems Using Monte-Carlo Approaches in 2.1 GHz Band

Jin Woong Park*, Dae-Sub Oh*, Seong-Jun Oh^o

요 약

최근 우리나라는 증가하는 모바일 트래픽 수요를 감당하기 위해 최대한 많은 주파수대역을 확보하기 위해 노력하고 있다. 우리나라가 확보하기 위해 노력하고 있는 주파수 대역 중, 2.1GHz 대역은 이동시스템과 위성시스템의 공동사용이 허가된 대역이다. 그러므로 이동시스템을 사용하는 국가의 인접국이 동대역에 위성시스템을 운용하는 경우 전파 간섭이 발생할 수 있으므로 적절한 간섭평가방법이 필요하다. 현재 대부분의 간섭은 최소결합손실방법으로 평가되고 있기 때문에 실제의 간섭수준을 잘 표현하지 못하는 경우가 많다. 이 논문에서 우리는, 몬테-카를로 방법을 이용해 두 시스템의 공존가능성을 평가하기 위한 모의실험 방법을 제안한다. 또한, 모의실험을 통해 간섭 평가 결과를 제공했다.

Key Words : 2.1Ghz Band, Frequency sharing study, Monte-Carlo, Satellite, Mobile Communication system

ABSTRACT

Recently, Korea is trying to secure as much terrestrial IMT(International Mobile Telecommunications) frequency band as possible to cope with increasing mobile traffic demand. Among the frequency bands that Korea is trying to secure, 2.1GHz (S-)band is a spectrum that allows joint use of terrestrial IMT-systems and mobile satellite systems. However, since China currently uses the 2.1GHz band as the mobile satellite system band, a appropriate interference evaluation method is required for the sharing with the terrestrial mobile system band. So far, most of the interference analysis result is provided using the method of minimum coupling loss. Thus, it cannot reflect the practical interference level. In this paper, using Monte-Carlo method, we propose a simulation method for evaluation of the coexistence of the two systems, and we also provide the interference levels using the simulations

* 본 연구는 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. B0719-17-1006, 국가 위성통신 주파수 자원 확보 및 이용을 위한 위성 스펙트럼 활용 기술 개발)

• First Author : Korea University, Department of Computer and Radio Communications, jwpis@korea.ac.kr, 학생회원

o Corresponding Author : Korea University, Graduate School of Information Security, seongjun@korea.ac.kr, 종신회원

* Electronics and Telecommunications Research Institute, trap@etri.re.kr 정회원

논문번호 : KICS2017-11-371, Received November 30, 2017; Revised May 23, 2018; Accepted May 28, 2018

I. 서 론

모바일 통신시스템의 발전과 통신 가능한 기기의 보급은 모바일 데이터트래픽을 빠르게 증가시키고 있다. 또한, 최근 4차 산업혁명의 핵심 분야로 손꼽히는 5G, 사물인터넷, 초연결 등의 신규 기술은 모바일 데이터트래픽을 가속화 시킬 것으로 예상된다. 이에 따라, 우리나라도 증가하는 모바일 데이터 트래픽 수요를 감당하기 위해 많은 주파수 대역을 확보하기 위해 노력하고 있다.

2.1GHz대역은 이동 통신 시스템과 위성 시스템 모두 사용할 수 있도록 분배된 대역으로^[1], 우리나라의 경우 이동시스템으로 사용하려고 노력중이며, 일부 다른 국가들의 경우 위성시스템을 위한 대역으로 사용하고 있다. 이에 따라, 국내에서는 [2]와 같은 인접대역과의 간섭평가 연구 및 양립방안 연구가 진행되었다. 한편, 국제적으로는 ITU-R (International Telecom -munication Union Radiocommunication Sector)을 중심으로 두 시스템의 공유연구가 진행되고 있다. ITU-R WP(Working Party) 4C에서는 위성시스템이 받는 간섭을, ITU-R WP 5D에서는 이동시스템이 받는 간섭을 연구하고 있으며, 이 회의에서 ITU 회원국들은 각각의 간섭분석 결과를 통해 2.1GHz 대역의 공존가능성을 논의 및 대응하고 있는 실정이다.

현재 연구되는 간섭분석의 결과는 대부분 최소결합손실방법을 통해 분석하고 있으며^[3,4], 최소이격거리를 구해야하는 최소결합손실방법의 특성상 실제 간섭수준보다 높은 간섭수준으로 공유가능성을 평가하고 있다. 예를 들어, 전송출력을 조절하는 LTE(Long Term evolution)단말의 전송출력을 무시하고 단말의 최대 출력으로 간섭을 계산하거나, 동일한 이격거리에 다수의 기지국 설치된 상황을 가정해 누적간섭을 계산하고 있다. 따라서 최근에는 더 현실적인 간섭계산을 위해 몬테-카를로 모의실험의 필요성이 요구되고 있다. 또한, 과거 2.5GHz 대역의 간섭분석 사례처럼, 통상의 누적간섭 평가는 최소결합손실방법을 사용한 분석보다는 몬테-카를로 방법을 사용해 분석하는 것이 더 바람직하다. 그러나 몬테-카를로 방법을 적용하기 위한 모의실험 방법론에 관한 연구와 몬테-카를로 방법을 이용한 간섭분석결과는 매우 부족한 실정이다.

이 논문에서 우리는, 2.1GHz 대역에서 이동시스템과 위성시스템과의 공존가능성을 평가하기 위해, 몬테-카를로 방법을 이용해 간섭을 분석한다. 특히, 기지국과 단말이 위성시스템에 주는 누적간섭을 평가하고 보호 기준을 지킬 수 있는 이동시스템의 동시 운용대

수를 몬테-카를로 모의실험을 통해 분석한다. 우리는 몬테-카를로 분석을 위해 간섭시나리오별 몬테-카를로 방법 적용 가능성을 판단하고 시나리오에 따라 몬테-카를로 방법이 적용된 모의실험 방법을 제안한다. 또한, 간섭수준에 대한 모의실험 결과를 제공하였으며 간섭을 감소시킬 수 있는 몇 가지 방법에 대한 결과도 제공한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 고려한 시스템의 제원 및 시스템 모델을 기술했고, 3장에서는 간섭평가방법, 몬테-카를로 방법의 적용 가능성과 모의실험 방법을 기술했다. 4장에서는 모의실험 결과를 통해 간섭을 분석했으며, 마지막으로 5장에서는 결론을 기술한다.

II. 시스템 제원 및 모델

우리는 앞으로 용어의 혼란을 방지하기 위해 이동통신 시스템의 단말은 이동국, 위성 시스템의 단말은 지구국, 위성 시스템의 위성은 위성국이라 칭한다. ITU-R WP 4C에서, 기지국과 이동국의 제원은 [5]를 인용하여 고려하고 있다^[4]. 따라서 본 논문에서도 [5]의 urban macro기지국과 urban macro user를 고려했으며, 그 제원은 표 1과 같다.

또한, 기지국 안테나 이득은 [6]의 recommends 3.1을 이용하여 구현했으며, 그와 관련된 파라미터는 [5]에 기술돼있다. 추가로, 이동국의 파워컨트롤을 고려

표 1. 이동 통신 시스템 파라미터
Table 1. Base station and mobile station parameters

Base station parameters	
Cell radius	0.4 km
Antenna height	20m
Number of sector	3
Down tilt	10°
Feeder loss	3dB
Maximum BS output power (5/10/20 MHz)	43/46/46 dBm
Maximum antenna gain	16 dBi
Protection criteria	-6.0 dB
Mobile station parameter	
Indoor user usage	0.7
Indoor user penetration loss	20m
Maximum output power	23dBm
Antenna gain	-3dBi
Body loss	4dB
Protection criteria	-6.0 dB

하기 위해 LTE 전송출력조절 함수를 이용했다. 이동 시스템의 채널 대역폭은 20MHz, 자원 블록은 100개, 스케줄링 방법은 round robin, 섹터당 사용자의 수는 10명이라 가정했다.

위성시스템 파라미터는 [4]에 기술된 것을 인용했으며, 위성국은 System 1을 지구국은 Transportable type을 고려했다. 그 제한은 표 2와 같다. 표 2의 보호 기준(Protection criteria)은 간섭 대 잡음비를 의미하며, 잡음대비 간섭의 양이 기준을 넘지 않아야 함을 의미한다.

위성 경로손실 모델의 경우 P.525에 기술된 점대점 자유공간 손실모델을 사용했고^[7], 지상경로손실(지구국과 지구국간)에 대해서는 ITU-R WP 4C Chairman's report의 Appendix 2에 제공된 시간율 10% 지상경로 손실 결과를 사용했다^[4]. 사용자와 지구국간 경로 손실은 [8]에 기술된 UMa를 사용했다. 또한 위성의 위치를 정확히 알 수 없기 때문에 이동국과 위성의 거리는 40,000km로 가정하고 이동국이 위성국에 간섭을 줄 때 위성국의 수신 안테나 이득은 최대 안테나 이득 값이라 가정했다. 왜냐하면, 위성의 커버리지를 고려할 때 안테나 이득 역시 빔 중심 밖에 있더라도 3dB빔폭 안에 있을 것으로 예측되기 때문에 빔 중심밖에 있는 상황을 가정한다해도 본 연구결과에서 3dB차이만 고려해주면 될 것이다.

간섭분석시 사용되는 시나리오는 총 8가지로 구성돼있다^[4,10]. 그러나 2.1GHz대역은 FDD (Frequency division duplexing)방식으로 이용된다고 하면, 동일한 대역에 대해 상향링크와 하향링크를 사용하는 경우, 본 논문에서의 이동통신 시스템과 위성 시스템간의 간섭 경로에 대한 시나리오는 아래의 네 가지 경우로 줄일 수 있다.

- 시나리오 1 : 이동국으로부터 위성국으로의 간섭
- 시나리오 2 : 지구국으로부터 지구국으로의 간섭

- 시나리오 3 : 위성국으로부터 이동국으로의 간섭
 - 시나리오 4 : 지구국으로부터 지구국으로의 간섭
- 3장에서 그 이유에 대해 후술하겠지만, 우리는 1번과 2번, 두 가지 시나리오에 대해서만 몬테-카를로 방법을 적용했다. 또한, 인접채널에 의한 간섭은 없다고 가정했다.

III. 간섭평가방법

두 시스템간의 간섭평가 방법은 크게 최소결합손실과 몬테-카를로 두 가지 방법으로 나눌 수 있다^[9]. 최소결합손실 방법은 몬테-카를로 방법에 비해 간단하고 빠르게 간섭분석을 할 수 있으나 대부분 정적인 간섭시나리오나 간섭원의 숫자가 하나인 경우에 적합하다. 즉, 최소결합손실 방법은 랜덤한 파라미터, 변수 등이 많은 시나리오나 간섭원의 수가 많은 시나리오를 분석할 때 최대 간섭을 상정하고 간섭을 평가하기 때문에 실제 간섭보다 큰 간섭으로 표현되는 경우가 발생 할 수 있다.

한편, 몬테-카를로 방법은 계산이 복잡하고 평가하는 시스템의 제한이나 입력 파라미터 등의 확률 분포, 적절한 간섭 시나리오가 있는 경우에만 간섭평가가 가능하다는 단점이 있으나 최소결합손실 방법에 비해 훨씬 더 현실적인 결과를 제시한다. 이 장에서, 우리는 두 방법의 차이점과 간섭계산 방법을 소개하기 위해, 먼저 최소결합손실 방법에 대해 간단히 소개한다. 그리고 시나리오별 몬테-카를로 방법의 적용 가능성을 평가 한 뒤, 몬테-카를로 방법을 적용한 모의실험 방법을 소개한다.

3.1 최소결합손실 방법과 간섭계산

최소결합손실 방법은 [9]에서 다음과 같이 정의되어 있다.

$$MCL[dB] = P_T + A_T + A_R - I_R \quad (1)$$

여기서 P_T 는 간섭원의 송신전력, A_T 는 간섭원 송신기의 안테나 이득, A_R 는 피간섭원 수신기의 안테나 이득, I_R 은 피간섭원의 간섭 임계값을 나타낸다. 이때, 두 시스템의 최소 이격거리를 구하는 식은 다음과 같이 정의된다.

$$MCL = PL(D_{min}) \quad (2)$$

여기서 $PL()$ 은 경로손실 모델, D_{min} 은 최소 이격거

표 2. 위성시스템 파라미터
Table 2. Satellite system parameters

Satellite parameters	
Antenna gain	47.6 dBi
Noise temperature	575 K
Bandwidth	1296 kHz
Protection criteria	-12.2 dB
Mobile earth station parameters	
Antenna gain	14 dBi
Noise temperature	200 K
Protection criteria	-12.2 dB

리를 의미한다. 또한, 경로손실 이외에도 안테나 편파 불일치에 의한 손실, 피더 손실, 바디 손실 등의 다른 손실 및 이득이 주어질 경우 좀 더 정확한 이격거리를 구할 수 있다. 즉, 최소결합손실방법은 경로손실을 비롯한 기타 손실, 송신기와 수신기의 파라미터가 주어진 경우 이를 이용해 최소이격거리를 구하는 방법이다. [9]에는 최소 보호대역을 구하는 식도 제공하고 있으나, 본 연구의 가정을 고려했을 때 보호대역을 구하는 식은 필요하지 않으므로, 본 논문에서는 생략한다. 식(1)과 (2)로부터 피간섭원이 받는 간섭은 다음과 같이 주어짐을 알 수 있다.

$$I[\text{dBm}] = P_T + A_T + A_R - L + G \quad (3)$$

여기서 L 은 간섭계산시 필요한 피더 손실, 바디 손실과 같은 손실, G 는 간섭계산시 필요한 여러 가지 이득을 의미한다.

3.2 몬테카를로 방법

몬테카를로 방법은 특정 변수나 파라미터가 확률적으로 주어졌을 때, 모의실험을 반복적으로 시행하여 실제 환경과 유사한 결과를 도출할 수 있는 모의실험 방법이다. 즉, 특정 변수나 파라미터를 한 가지 수치로 정의하기 어려울 때 최소결합손실 방법보다 현실적인 결과를 제시할 수 있다. 예를 들어, 간섭원의 수가 다수이고 간섭원마다 송신출력이 다른 경우를 가정해보자. 이때, 최소결합손실방법으로 간섭을 평가할 경우 최소 이격거리를 구해야하기 때문에 모든 간섭원의 송신출력을 최대로 가정하고 간섭을 계산해야한다. 즉, 실제 발생하는 간섭보다 더 높은 간섭을 계산할 수밖에 없으며, 이는 공유연구에서 공존가능성을 낮추는 결과로 이어질 수 있다. 반면에, 몬테카를로 방법을 이용해 간섭원의 송신출력을 확률적으로 결정하면 실제 간섭과 유사한 간섭을 구할 수 있으며, 두 시스템의 공존가능성을 더 현실적으로 평가할 수 있다.

몬테카를로 방법은 확률적 시스템을 이용한 모의실험이기 때문에 특정 변수나 파라미터의 확률 분포를 모르거나 값이 정해진 경우, 즉, 랜덤한 요소가 없는 경우에는 적용 가능성이 떨어진다. 앞서 우리가 배제한 2가지 시나리오 중, 위성국이 간섭원이고 이동국이 피간섭원인 시나리오를 생각해보자. 우리는 위성국과 이동국의 거리를 고정된 값으로 가정했고 이동국의 경우 omni-directional 안테나를 사용하고 자유 공간 손실도 거리에 따라 고정된 손실을 보이기 때문에 랜

덤한 요소가 거의 없다. 한편, 지구국이 간섭원이고 지구국이 피간섭원인 시나리오에서, [5]와 [8]에서 상세한 시나리오 정보가 제공되는 지구국과 이동국과는 다르게, 지구국에 관한 정보(배치 시나리오 등)는 확인하기 힘들다. 즉, 상기 두 시나리오는 특정 변수나 파라미터의 확률 분포를 모르거나 고정된 값을 사용하기 때문에 몬테-카를로 적용가능성이 떨어진다. 따라서 우리는 앞서 설명한 시나리오 1과 2에 대해서만 몬테-카를로기법을 적용했다.

3.2.1 이동국으로부터 위성국으로의 간섭

이 시나리오를 최소결합손실방법으로 분석할 때 가장 큰 문제점은 이동국의 전송 출력 조절 값이 반영되지 않는 점이었다. 따라서, 우리는 이동국의 전송출력 함수를 고려하기 위한 모의실험 방법을 적용했고, 모의실험의 주요 과정을 요약하면 그림 1과 같다.

먼저, 이동국은 지구국의 3가지 섹터중에 드롭 될 섹터를 유니폼 랜덤하게 결정한다. 그리고 섹터 내부에 드롭 될 위치 역시 유니폼 랜덤하게 결정한다. 그 뒤, 지구국과의 경로손실과 할당받은 리소스블록의 수를 고려하여 송신출력을 조절한다. 이동국의 조절된 송신출력과 다른 파라미터를 고려해 각 이동국이 위성에 미치는 간섭을 계산한다. 그 뒤 시스템 설정값으로 설정된 동시 운용 이동국수와 섹터당 이동국의 수

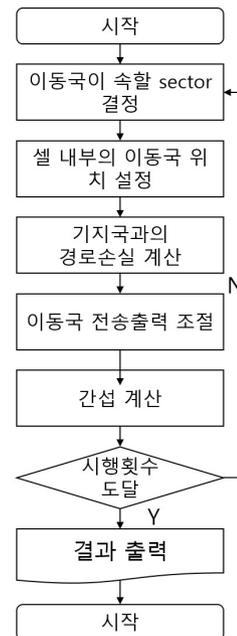


그림 1. 이동국으로부터 위성국으로의 간섭계산시 주요과정
Fig. 1. Process of interference calculation from mobile station to satellite

를 이용해 위성국이 받는 전체 간섭을 계산하여 그 값이 보호기준을 넘는지를 확인한다. 우리는 이동국과 위성국의 거리를 고정된 값으로 가정했지만, 이동국의 송신출력은 랜덤한 값으로 결정되기 때문에 한 번의 시행에서 각 이동국이 주는 간섭은 모두 다르고, 또한 위성국이 받는 전체간섭은 매 시행마다 변하게 된다.

3.2.2 기지국으로부터 지구국으로의 간섭

이 시나리오를 최소결합손실방법으로 분석할 때 가장 큰 문제점은 누적간섭 계산을 위해 복수의 기지국을 동일한 위치에 설치되어있다고 가정한 점이였다. 따라서 기지국 모두 동일한 안테나 이득과 경로손실을 가지게 되는 문제점이 있었다. 따라서 우리는 이러한 문제점을 해결하기 위한 모의 실험방법을 적용하였고, 그 과정을 요약하면 그림 2와 같다.

먼저, 기지국은 설정된 이격거리의 최소, 최대를 이용해 지구국, 기지국간 거리를 유니폼 랜덤하게 결정한다. 결정된 거리에 따라 경로손실과 안테나의 고도각이 결정된다. 그리고 기지국을 유니폼 랜덤하게 회전시켜 각 색터의 방위각을 랜덤하게 결정한다. 안테나 이득을 결정하는 두 각이 랜덤하게 변하기 때문에 안테나 이득 또한 랜덤하게 결정된다. 이 시나리오역시 한 번의 시행에서 각 기지국이 주는 간섭이 전부 다르고, 매 시행마다 지구국이 받는 전체 간섭도 변하게 된다.

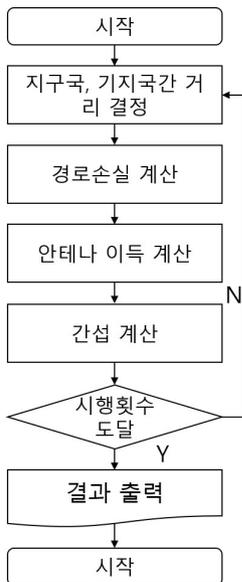


그림 2. 기지국으로부터 지구국으로의 간섭계산시 주요과정
Fig. 2. Process of interference calculation from base station to mobile earth station

IV. 간섭분석결과

이 장에서 우리는 몬테-카를로 모의 실험을 이용한 간섭분석결과를 제공한다. 우리는 먼저 이동국으로부터 위성국으로의 간섭을 시나리오를 분석했다.

그림 3은 동시에 전송하는 이동국 수에 따른 위성국의 간섭 대 잡음비를 구한 결과이다. 빨간색선은 보호기준을 의미하고 파란색선은 실내에 위치한 이동국과 실외에 위치한 이동국을 섞어서 드롭한 결과, 초록색선은 실내에 위치한 이동국만을 드롭한 결과를 각각 표현한다. 또한, 각 결과에서 평균 간섭 대 잡음비와 최대 간섭 대 잡음비를 같이 표현했다. 실내/실외 이동국을 섞어서 드롭한 경우, 최대 간섭량을 기준으로 약 200대부터, 평균 간섭량을 기준으로 약 700대부터 보호기준을 초과한다. 그러나 최근 이동통신시스템에서 실내용 기지국 등을 고려하고 있는 상황처럼 실내 이동국 수는 실외 이동국 수가 더 많은 상황을 고려하고 있다^[4]. 따라서 만약 초록색 선의 결과처럼, 2.1GHz 대역을 실내에 위치한 이동국만을 대상으로 할당한다면 더 많은 동시 운용대수를 보장할 수 있고, 이는 두 시스템의 공존가능성을 높이는 결과로 이어질 수 있을 것이라 기대한다.

그림 4는 동시에 전송하는 기지국 수에 따른 간섭 대 잡음비를 구한 결과이다. 빨간색선은 보호기준을 의미하고 파란색선은 기지국과 지구국의 이격거리를 250km부터 350km로 랜덤하게 분포한 결과이고, 초록색선은 이격거리를 300km로부터 400km로 랜덤하게 분포한 결과를 각각 표현한다. 이 결과 역시 평균 간섭 대 잡음비와 최대 간섭 대 잡음비를 같이 표시하였다. 그림에서 보듯이, 이 시나리오에서는 이격거리가 굉장히 중요하다. 이격거리를 [250 350]으로 설정

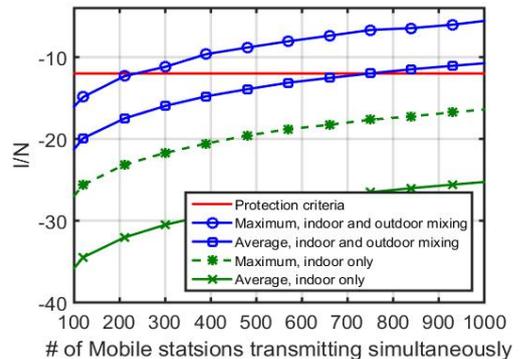


그림 3. 이동국으로부터 위성국으로의 간섭 대 잡음비
Fig. 3. Interference to noise ratio from mobile station to mobile earth station

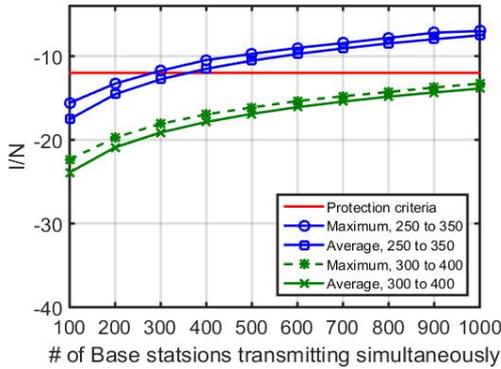


그림 4. 기지국으로부터 지구국으로의 간섭 대 잡음비
 Fig. 4. Interference to noise ratio from base station to mobile earth station

한 경우 동시 운용대수는 400대를 넘지 못하지만, [300 400]으로 설정한 경우 약 1000대 이상의 기지국을 동시에 운용할 수 있음을 말해준다.

V. 결 론

우리는 2.1GHz 대역에서 이동 시스템과 위성 시스템의 간섭을 몬테-카를로 방법을 이용해 분석했다. 간섭 시나리오별 몬테-카를로 모의실험 방법의 적용 가능성을 판단하고, 적용이 가능한 시나리오에 한해 모의실험 방법 또한 제안했다. 제안된 방법을 이용해 이동시스템의 동시 운용대수에 따른 간섭 대 잡음비 모의실험 결과를 제공했다. 우리는 모의실험에서, 2.1GHz대역의 간섭연구는 아직 논의 중인 파라미터가 많고 위성의 위치정보 같은 일부 파라미터의 정보를 알 수 없기 때문에 몇 가지 파라미터를 최대 간섭수준으로 가정했다. 따라서 이동시스템이 위성시스템에 주는 간섭이 비교적 높은 것으로 나타났다. 하지만, 앞으로 추가적인 정보를 제공 받거나 논의 중인 파라미터가 확정된다면 더 현실적인 간섭 평가 결과를 제공할 수 있을 것이다. 마지막으로, 우리의 연구결과는 2.1GHz 대역의 간섭연구를 하고 있는 연구자뿐만 아니라, 몬테-카를로 방법을 이용해 서로 다른 두 시스템을 간섭을 분석하려는 연구자에 많은 도움이 될 것이라 기대한다.

References

[1] *Radio Regulations*, Ed. of 2008, International Telecommunication Union.
 [2] D. Kim and K. Chung “Study on coexistence

through interference evaluation between 2.1GHz band and adjacent band for LTE-Advanced service,” *J. KIICE*, vol. 18, no. 1, pp. 32-41, Jan. 2014.

[3] N. Jeong, H. W. Kim, D.-S. Oh, and B.-J. Ku, “Frequency sharing between multi-beam mobile satellite communication system and mobile communication system in 2.1 GHz band,” *J. Korea Soc. Commun. and Space Technol.*, vol. 7, no. 1, pp. 102-107, Jun. 2012.
 [4] International Telecommunication Union, Doc. 4C/261-E Annex9, *Working document towards a preliminary draft new Recommendation or Report*, ITU-R M[MSS&IMT-Advance Sharing], Geneva, 2017.
 [5] International Telecommunication Union, Rep. ITU-R M.2292-0, *Characteristics of terrestrial IMT-Advanced systems for frequency sharing/interference analyses*, 2013.
 [6] International Telecommunication Union, Rec. ITU-R F.1336-3, *Reference radiation patterns of omnidirectional, sectoral and other antennas in point-to-multipoint systems for use in sharing studies in the frequency range from 1GHz to about 70GHz*, 2012.
 [7] International Telecommunication Union, Rec. ITU-R P.525-3, *Calculation of free-space attenuation*, 2016.
 [8] International Telecommunication Union, Rec. ITU-R M.2135-1, *Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced*, 2009.
 [9] International Telecommunication Union, Rep. ITU-R M.2041, *Sharing and adjacent band compatibility in the 2.5 GHz Band between the terrestrial and satellite components of IMT-2000*, 2003.
 [10] D.-S. Oh, S. Kim, and D.-S. Ahn, “A band segmentation scheme for frequency sharing with terrestrial service multi-beam satellite systems,” *J. KICS*, vol. 34, no. 11, pp. 891-897, Nov. 2009.

박진웅 (Jin Woong Park)



2012년 8월 : 고려대학교 컴퓨터 통신공학과 학사 졸업
2012년 9월~현재 : 고려대학교 컴퓨터통신공학과 석박사통합과정
<관심분야> Small Cell, 주파수공유, 기계학습

오성준 (Seong-Jun Oh)



1991년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자 학사 졸업
1995년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자 석사 졸업
2000년 9월 : University of Michigan EECS 박사 졸업
2000년 9월~2003년 3월 : Ericsson Sr. Engineer
2003년 3월~2007년 8월 : Qualcomm Staff Engineer
2007년 9월~현재 : 고려대학교 교수
<관심분야> 주파수 공유, 5G, 물리계층보안

오대섭 (Dae-Sub Oh)



1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 학사 졸업
1998년 2월 : 경북대학교 컴퓨터통신공학과 박사 졸업
1998년 3월~2000년 7월 : LG 정보통신 주임연구원
2000년 7월~현재 : 한국전자통신연구원 전문위원(책임연구원)

<관심분야> 위성통신, 주파수 공유, 전파 특성