

창조 ICT R&D 동향

밀리미터파 대역에서 5G와 고정통신 간의 간섭 연구

오성준·김경원

고려대학교

요약

현재 IMT 용도의 주파수 포화로 인해, 새로운 주파수 대역을 확보 예정에 있다. 새로운 주파수 대역에서 새로운 서비스를 개시하기 위해서는 그 주파수 대역을 사용하고 있는 기존 시스템과의 공유연구가 필요하다. 본고에서는 5G의 후보 주파수 대역으로 주목을 받고 있는 밀리미터 대역에서 고정통신과의 간섭 효과를 분석하여 보여준다.

I. 본 연구의 필요성

새로운 주파수 대역에서 새로운 통신 서비스가 개시되기 위해서는 그 주파수 대역에서의 기존 통신 서비스와 간섭 분석이 필수적이다. 기존 간섭 연구는 전통적으로 최악의 경우(worst case)를 가정한다. 이 때, 최악의 경우는 간섭을 받는 대상의 입장을 기준으로 하며, 이를 위해 전파가 주변 장애물에 가로 막히지 않는 먼 거리까지의 LOS 경로가 존재하는 것을 가정한다. 또한, 비 가시전파, 대기 중 손실, 다중 경로 효과 등 많은 경로 효과들도 통계적으로 간섭을 받는 시스템에 유리하도록 가정한다.

최근 IMT 용도의 주파수가 포화되어 추가적인 주파수 대역이 확보 예정이다. IMT 서비스의 간섭효과는 많은 간섭원으로부터의 집중효과를 고려하면 심각해질 수 있다. 그러므로 많은 간섭원으로부터의 간섭효과를 잘 분석하여야 한다. 그러나 많은 IMT 간섭원으로부터의 간섭 효과를 분석하기 위해서는 기존의 간섭 분석은 적절하지 않다. 대부분의 MS(Mobile Station) 간섭원은 사람의 머리 높이(1.5 m) 정도에 위치하여 먼 거리까지 LOS 경로가 존재할 확률이 굉장히

낮으므로, 모든 경로에 LOS 경로가 존재한다고 가정하는 것은 비현실적이다. 기지국 역시 옥상 높이 또는 옥상보다 낮은 위치에 존재하며, 모든 기지국에서 장거리까지 LOS가 존재할 만큼 높이가 높지 않다. 또한, 5G의 주요 적용 범위는 트래픽 요구량이 높은 도시에 집중되어 있으므로, LOS 경로는 더욱 존재하기 힘들다. 최근 많은 연구 결과에서 밀리미터 대역에서 5G의 적용 범위는 100~300 m 이하에서 동작하는 것으로 보여주고 있다. 그러므로 5G의 간섭 연구는 근거리에서 일어나는 것으로 가정해야 한다.

전통적인 간섭 전파 모델들은 대기 중 손실과 다중경로 효과로 인한 손실들을 가장 최악의 경우로 가정하며, 비 가시전파를 고려하여, 지평선/수평선을 넘어선 거리까지 LOS 경로가 존재하는 것을 가정한다. 그러나 비 가시전파는 5G에서 고려사항이 아니며, 기상효과보다는 장애물에 의한 효과가 훨씬 중요하게 고려되어야 한다. 좁은 범위에서 적용되는 통신 서비스의 경우, 장애물에 의한 효과가 경로 손실의 주요 손실 요인이다.

우리는 여러 간섭원으로 인한 간섭효과를 Monte-Carlo 시뮬레이션을 통해 보여주고자 한다. 또한, 기존에 간섭 전파 모델이 고려하지 못한 장애물 효과를 중점적으로 한 최악의 상황 근거리 전파 모델을 제안한다.

II. Monte-Carlo 시뮬레이션

기존 간섭 전파 모델들은 안테나가 주변 장애물에 비해 충분히 높아서, 매우 먼 거리까지 LOS 경로가 확보되는 것으로 가정한다. 그러나 수많은 간섭원이 존재하는 경우, 모든 5G 간섭원으로부터 LOS 경로가 확보되는 것으로 가정

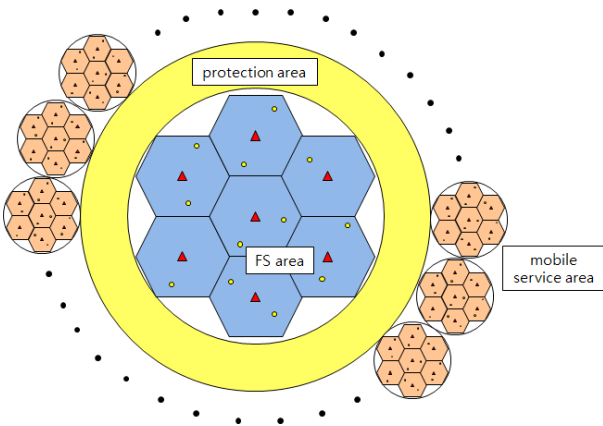
하는 것은 너무 비현실적이다. 그러므로 우리는 통계적인 모델에 따라 여러 가지 간섭 전파 시나리오를 복합적으로 사용하고, Monte-Carlo 시뮬레이션을 통해 수많은 간섭원으로 부터의 간섭 효과를 보여주고자 한다.

[그림 1]은 Monte-Carlo 시뮬레이션을 이용한 간섭 분석 모델 환경을 보여준다. 같은 주파수 대역에서 새로운 서비스를 기존의 시스템 주변에서 개시하기 위해서는 간섭 효과를 막기 위한 보호거리가 충분히 보장되어야 한다. 최악의 경우, 간섭을 미치는 신규 서비스는 기존 서비스를 보호거리 밖에서 둘러서 모든 방향에서 간섭을 미친다. 우리는 이와 같은 환경을 구성하여, 기존 서비스와 신규 서비스를 각각의 서비스 영역에 임의로 설치하고, 각각의 경로 시나리오는 확률적으로 결정하여 간섭 분석을 하였다.

Monte-Carlo 시뮬레이션은 여러 간섭원으로부터의 간섭 효과를 분석하는데 효과적이다. 여러 간섭원이 존재할 때, 통계적으로 여러 가지 상황을 가정하여 현실적으로 시뮬레이션이 가능하다. 그러나 기존의 간섭 전파 모델에서는 근거리에서 장애물에 의한 효과를 제대로 고려하지 못하므로, 근거리에서 장애물에 의한 효과를 중심으로 고려한 간섭 전파 모델을 제안하고자 한다.

III. 근거리 간섭 전파 모델

우리는 근거리 전파 모델 ITU-R 권고 P.1411-7을 수정하여 근거리 간섭 모델을 제안한다. P.1411-7에서는 geometric



[그림 1] Monte-Carlo 시뮬레이션을 이용한 간섭 분석 모델

optics를 기반으로 전파 경로를 분석하여, LOS 경로 손실, 반사 경로 손실, 회절 경로 손실을 각각 분석한다. 또한, 우리는 다중경로 효과를 추가적으로 계산하여 최악의 경우를 고려하였다.

[그림 2]는 P.1411-7의 전파 경로 시나리오를 보여준다. 이 때, 전파 경로를 기하학적으로 분석한다. k 번 반사하여 전파가 도달 가능한 최대 거리와 그 때의 전파 경로 길이는 다음과 같다.

$$d_k = \sqrt{\left(\frac{B_k}{\sin\phi}\right)^2 + (h_1 - h_2)^2}$$

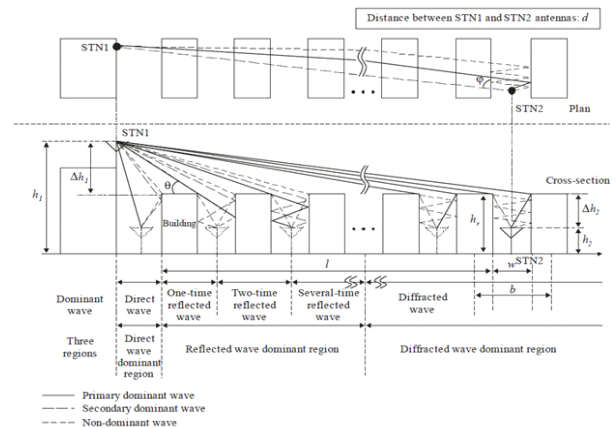
$$d_{kp} = \sqrt{\left(\frac{A_k}{\sin\phi_k}\right)^2 + (h_1 - h_2)^2}$$

이 때, ϕ 는 하늘에서 내려다 본 MS와 기지국을 그은 직선과 건물 벽과의 각도이다. 그리고 A_k, B_k, ϕ_k 는 다음과 같다.

$$A_k = \frac{W(h_1 - h_2)(2k + 1)}{2(h_r - h_2)}$$

$$B_k = \frac{W(h_1 - h_2)(2k + 1)}{2(h_r - h_2)} - kW$$

$$\phi_k = \tan^{-1}\left(\frac{A_k}{B_k} \tan\phi\right)$$



[그림 2] P.1411-7의 전파 경로 시나리오

이 때, d_k 에서의 반사 경로 손실은 다음과 같다.

$$L_{REF,d_k} = 20 \log \left\{ \frac{4\pi d_{kp}}{R^k \lambda} \right\}$$

여기서 R 은 scatter coefficient이며, λ 는 파장이다. P.1411-7에서는 한번 반사 때마다 평균 -8 dB의 손실이 발생하는 것으로 가정하며, 이 때, R 은 0.4이다. 우리는 최악의 경우를 고려하여, 평균 -3.5 dB의 손실이 발생하는 것으로 가정하였으며, 그 때의 R 은 다음과 같다.

$$R = 10^{-\frac{3.5}{20}} \approx 0.67$$

d_k 와 d_{k+1} 에서의 반사 손실은 선형 보간법을 이용하여 계산한다. 거리가 d 일 때, 반사 경로 손실은 다음과 같다.

$$L_{REF,str}(d) = L_{d_k} + \frac{L_{d_{k+1}} - L_{d_k}}{d_{k+1} - d_k} (d - d_k)$$

다중 경로 효과는 -3.5 dB 만큼 정반사 손실이 일어나는 경로를 가정하며, 멱급수를 이용하여 계산한다.

$$10 \log_{10} \left(\sum_{n=0}^{\infty} \left(10^{-\frac{3.5}{10}} \right)^n \right) \approx 2.57$$

회절 손실 모델은 P.1410-5를 참조하였다.

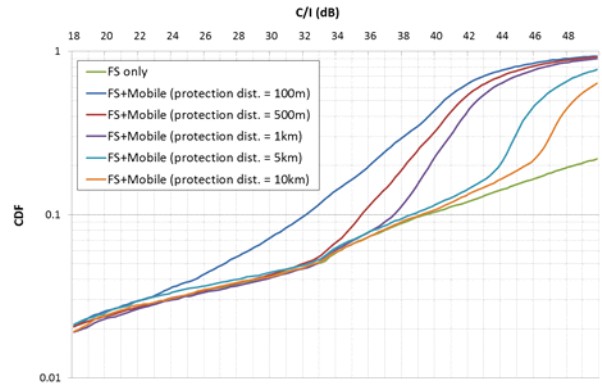
$$L_D \approx \begin{cases} \left\{ \begin{array}{l} 5.8947 \log(f) \\ + 0.31519 \\ - 0.003559f \\ \times \Delta h_{ss}^{+0.65122} \end{array} \right\} & (0 < \Delta h_{ss} < 1) \\ \left\{ \begin{array}{l} 3.7432 \log(f) \\ + 19.245 \\ \log(\Delta h_{ss}) \end{array} \right\} & (1 < \Delta h_{ss} < 10) \\ \left\{ \begin{array}{l} 5.8947 \log(f) \\ + 0.31519 \\ 24.5 \log(\Delta h_{ss}) \\ + 9.6379 \log(f) \end{array} \right\} & (10 < \Delta h_{ss}) \\ - 493981 & \end{cases}$$

Δh_{ss} 는 아래와 같다.

$$\Delta h_{ss} = h_b - h_{ss} - \frac{W(h_{bs} - h_b)}{2d - W}$$

III. 실험 결과

5G 후보 대역인 28 GHz 대역에서의 시뮬레이션 결과는 그림 3과 같다. [그림 3]은 보호 거리에 따른 간섭 대비 캐리어 파워의 CDF를 보여준다. ITU-R 권고 F.758-5에서의 outage 기준은 -88.5 dBm 잠음 세기에서 최소 수신 신호의 세기는 -68 dBm이 되어야 한다고 명시되어 있다. 그러므로 간섭 신호 대비 수신 신호의 세기는 20.5 dB 이상이 되어야 한다. 보호거리가 충분히 작은 상황에서도 대부분의 경우 간섭은 20.5 dB 이상인 것으로 확인되었다. 28 GHz에서 5G 서비스는 수 백 미터 가량의 보호 거리로 보장받을 수 있는 것을 확인할 수 있다.



[그림 3] 실험 결과

≡ 필자소개 ≡

오 성 준



1991년: 한국과학기술원 (공학사)
1995년: 한국과학기술원 (공학석사)
2000년: Univ.of Michigan, Ann Arbor 박사
0000년~2003년: Ericsson Sr. Engineer
0000년~2007년: Qualcomm Staff Engineer
2007년~현재: 고려대학교 부교수

김 경 원



2009년: 고려대학교 (공학사)
2009년~현재: 고려대학교 석·박사 통합과정 재학중
[주 관심분야] 이종 시스템 간의 간섭 연구 및 이종 셀룰러 환경에서의 간섭 제어 연구