

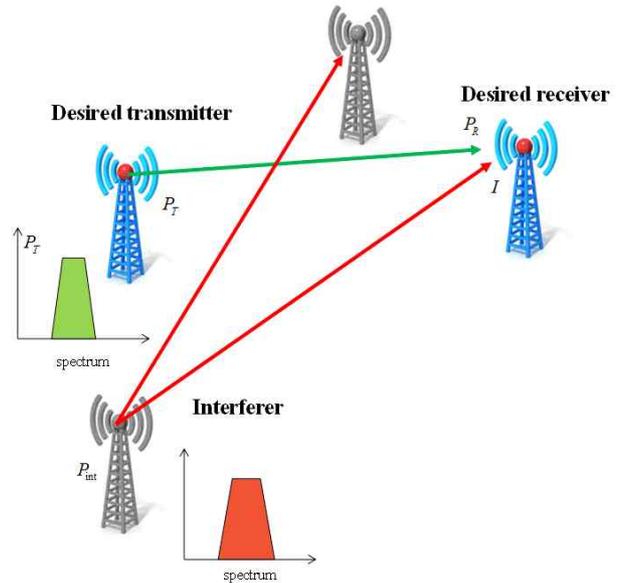
무선 통신 서비스 간섭 분석

이 행 선

서강대학교 전자공학과

I. 간섭의 정의

무선 통신 서비스를 제공하기 위해 필수적인 것이 간섭 분석이다. [그림 1]은 두 가지의 무선 통신 서비스가 인접한 주파수 대역을 사용함으로써 생기는 간섭 상황을 설명해준다. 점선과 실선은 각각 서로 다른 서비스임을 표시해준다. 두 개의 서비스가 혼재함으로써 인해 상대 서비스에 간섭을 일으키고 있고, 이 신호들은 상대 서비스에 잡음으로 작용하여 신호대 잡음 비(SNR; Signal to Noise Ratio)를 악화시키는 요인이 되고 있다. 여러 종류의 무선 통신 서비스들이 양립하기 위해서는 간섭으로 인한 신호의 크기가 개별적인 서비스의 SNR 악화가 최소한이 되도록 해야 한다는 점을 시사하고 있다.

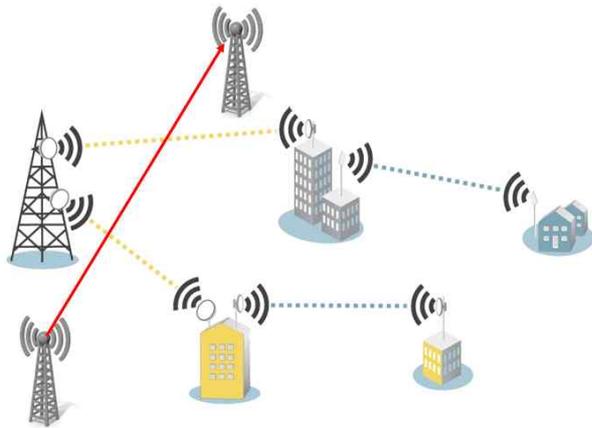


[그림 2] 간략화한 간섭 모델.

II. 간섭의 영향

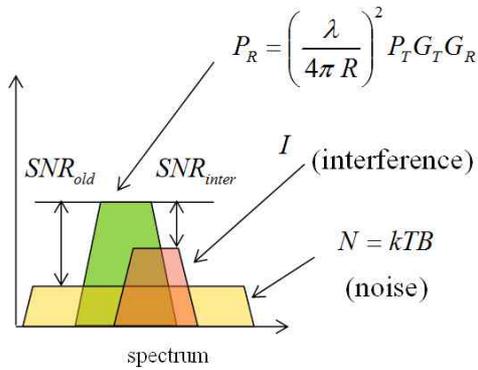
간섭에 의한 영향을 분석하기 위해 [그림 2]는 간략화한 모델을 보여주고 있다. 선호하는 서비스와 간섭 신호에 해당하는 서비스를 제공하는 무선 통신 송수신기를 포함한 모

델이다. 복수개의 무선 통신 서비스가 사용되지 않았다면 선호 서비스를 수신하는 수신기에 도달하는 신호는 송신기에서 방출된 전력이 거리에 의한 감쇄를 거쳐 약화된 신호와, 주변 온도 및 수신기 하드웨어에 의한 잡음 전력뿐일 것이다. 단순화한 분석을 위해 거리에 의한 신호의 감쇄는 Friis 방정식을 이용하여 계산할 수 있고, 수신기의 잡음 전력은 수신 대역폭과 주변 온도에 의해 정해진다.



[그림 1] 복수개의 무선 통신서비스 실시로 인한 간섭.

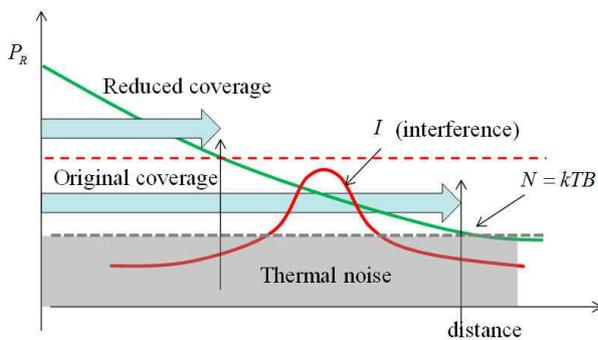
[그림 3]은 수신기의 전력 신호를 분석한 것이다. 수신 신호는 거리에 의해 감쇄된 선호하는 신호와 잡음 전력, 간섭 신호로 구성된다. Friis 방정식에 따르면 수신 신호의 전력은 송신기와 수신기의 안테나 이득, 거리, 중심 주파수에서 파장에 의해 결정된다. 그림에서 G_T , G_R 은 각각 간섭 신호를 방출하고 있는 송신 안테나의 이득, 선호하는 서비스의 수신기 안테나 이득이다. 간섭 신호가 없을 때의 SNR이 간섭 신호에 의해 감소됨을 알 수 있다. 무선 통신 서비스의



[그림 3] 다수의 무선 통신 서비스 실시로 인한 간섭 신호 수신.

품질은 SNR의 값에 의해 결정됨으로 복수개의 무선 통신 서비스 실시를 위해서는 간섭 신호가 있음에도 불구하고, SNR 값의 열화가 미미한 정도로 유지되도록 통신망을 설계해야 한다.

[그림 4]는 간섭 신호에 의한 신호 대 잡음비 열화로 선호하는 무선 통신 서비스의 커버리지 감소가 생기는 상황을 설명해준다. 무선 통신 서비스의 커버리지는 신호 대 잡음비가 확보된 지점의 넓이를 의미한다. 간섭 신호가 수신되는 경우, 잡음 전력이 증가함과 같은 효과가 생겨 기존 서비스의 수신에 필요한 신호 대 잡음비가 확보된 영역은 좁아지게 된다. 이는 다수의 무선 통신 서비스 사용으로 인해 두 무선 통신 서비스의 커버리지가 줄어들어 두 서비스가 양립하는 조건에 위배된다. 이를 통해 복수의 무선 통신 서비스 실시 가능 여부를 판단하는 기준을 도출할 수 있다. 즉, 간섭 신호의 크기가 개별 서비스의 신호 대 잡음비에 영향을 주지 않는 상태가 두 서비스가 양립 가능한



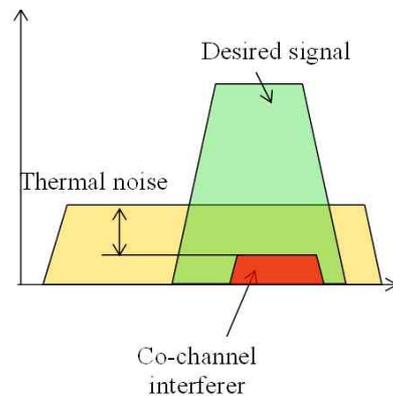
[그림 4] 간섭 신호 수신으로 인한 커버리지 감소.

상황이다. 신호 대 잡음비에서 신호 자체의 출력은 간섭 신호와 상관없이 유지됨으로, 열잡음에 비해 간섭 신호가 무시 가능한 수준인 경우, 두 개의 무선 통신 서비스 제공이 가능한 상태이고, 무시 가능하지 않은 수준일 때는 두 무선 통신 서비스의 양립이 불가하다고 볼 수 있다.

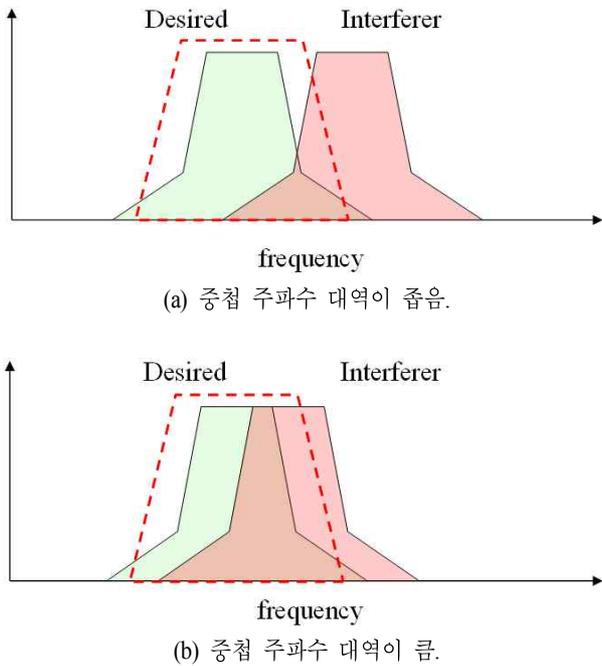
[그림 5]는 간섭 신호가 있음에도 불구하고, 그 크기가 열잡음에 의한 전력에 비해 상대적으로 작은 경우의 상황을 보여주고 있다. 간섭 여부 판단 기준으로 흔히 사용되는 것은 잡음 전력에 비해 간섭 신호가 6 dB 이하인지 확인하는 것이다. 6 dB 이하인 경우, 간섭 신호의 전력은 잡음 전력의 25% 정도이다. 즉, 잡음 전력과 간섭 신호의 합이 잡음 전력만 있을 때에 비해 1.25배 커지는 상황이다. 잡음 및 간섭 신호에 의한 잡음 전력의 증가는 신호 대 잡음비를 $10 \log_{10}(1.25) = 1 \text{ dB}$ 증가시키는 효과를 갖고 있다. 즉, 신호 대 잡음비의 열화가 1 dB 이상인지 여부가 간섭에 의해 복수개의 무선 통신 서비스 제공이 제한되는지 여부의 판별 기준으로 정한 것이다.

III. 주파수 오프셋의 영향 분석

복수개의 무선 통신 서비스 제공 시 간섭에 의한 영향은 두 무선 통신 서비스의 주파수 대역의 겹침 정도에 달려있다. [그림 6]은 두 무선 통신 서비스 주파수 대역이 겹치는 영역이 작은 경우와 큰 경우를 보여준다. 중첩된 주파수 대역이 클수록 간섭 신호는 더욱 커지므로, 두 무선 통신 서비스 주파수 대역의 주파수 오프셋에 의한 영향을 복수의 무



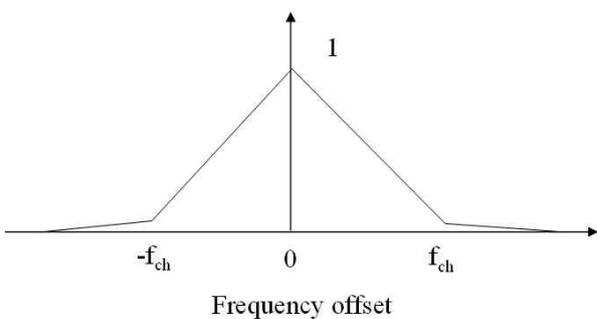
[그림 5] 복수의 무선 통신 서비스에 의한 간섭 신호 크기.



[그림 6] 주파수 오프셋에 의한 간섭 신호의 영향.

선 통신 서비스 실시 가능 여부를 판별하는데 고려해야 한다.

주파수 오프셋이 작을수록 간섭 신호의 영향이 커지는 현상은 두 스펙트럼의 콘볼루션에 해당되어 이에 대한 효과를 [그림 7]로 표시할 수 있다. 주파수 오프셋이 0인 경우, 최대의 간섭 효과를 갖게 되어 이 값을 1로 하고, 두 신호의 스펙트럼이 겹치지 않는 경우는 간섭의 영향이 0으로 된다. 즉, 두 신호의 대역폭이 같은 경우 주파수 오프셋이 1개의 채널 폭 이상이 되면 간섭이 최소로 줄어들게 된다. 이상적인 무선 통신 신호의 스펙트럼인 경우, 할당된 채널 바깥의



[그림 7] 주파수 오프셋의 변화에 따른 간섭 크기.

대역에서 세기가 0으로 되어 최소 값은 0이 되나, 실제 구현 가능한 무선 통신 기기는 채널 밖으로 누설 전력이 있으므로 완전히 0이 되지는 않는다.

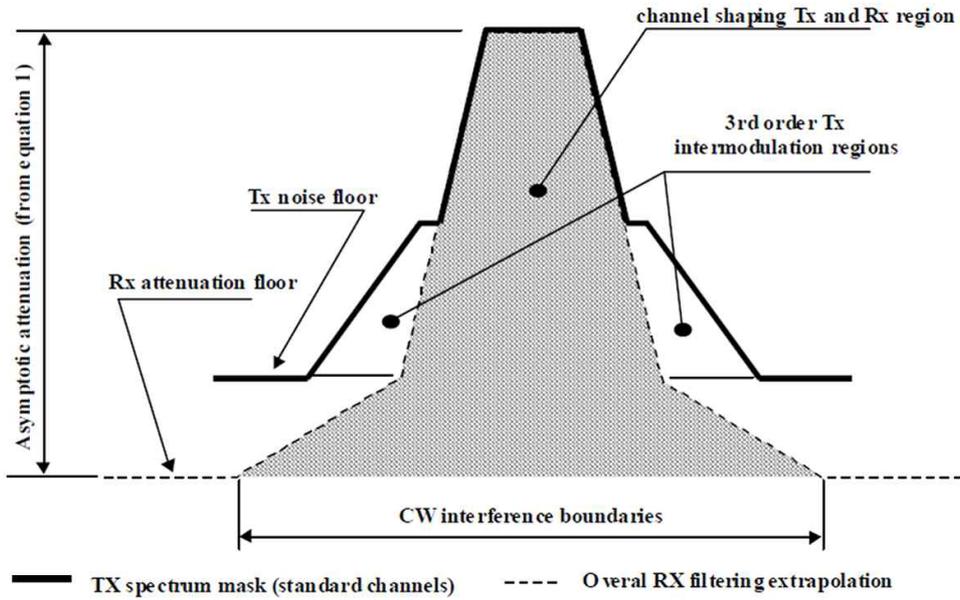
간섭 분석에서 스펙트럼의 중첩 여부를 판단하는데 있어 편리하게 사용 가능한 모델이 스펙트럼 마스크이다. 무선 통신 규격의 만족 여부를 판단하는데 있어서 스펙트럼 마스크의 한도 내에서 전파 출력이 이루어지도록 규제하고 있으므로 스펙트럼 마스크를 콘볼루션 수행하면 오프셋의 영향을 확인할 수 있다. [그림 8]은 전형적인 스펙트럼 마스크 형태를 보여준다. 간섭 문제의 발생은 신호 서비스의 수신 이 간섭 신호 출력에 의해 방해를 받는 경우이므로, 신호 서비스의 수신 스펙트럼 마스크와 간섭 신호의 송신 스펙트럼 마스크에 의해 결정된다. 송신 스펙트럼 마스크의 경우, 파워 앰프의 3차 혼변조에 의해 인접 채널로 침투하는 상황을 완전히 억제하기 어려우므로 수신 스펙트럼 마스크에 비해 할당 주파수 밖에서 완만한 감쇄 특성을 보인다. [그림 8]에서 실선은 송신 신호에 대한 스펙트럼 마스크이고, 점선은 수신 신호에 대한 스펙트럼 마스크이다.

IV. 간섭 신호 계산 모델

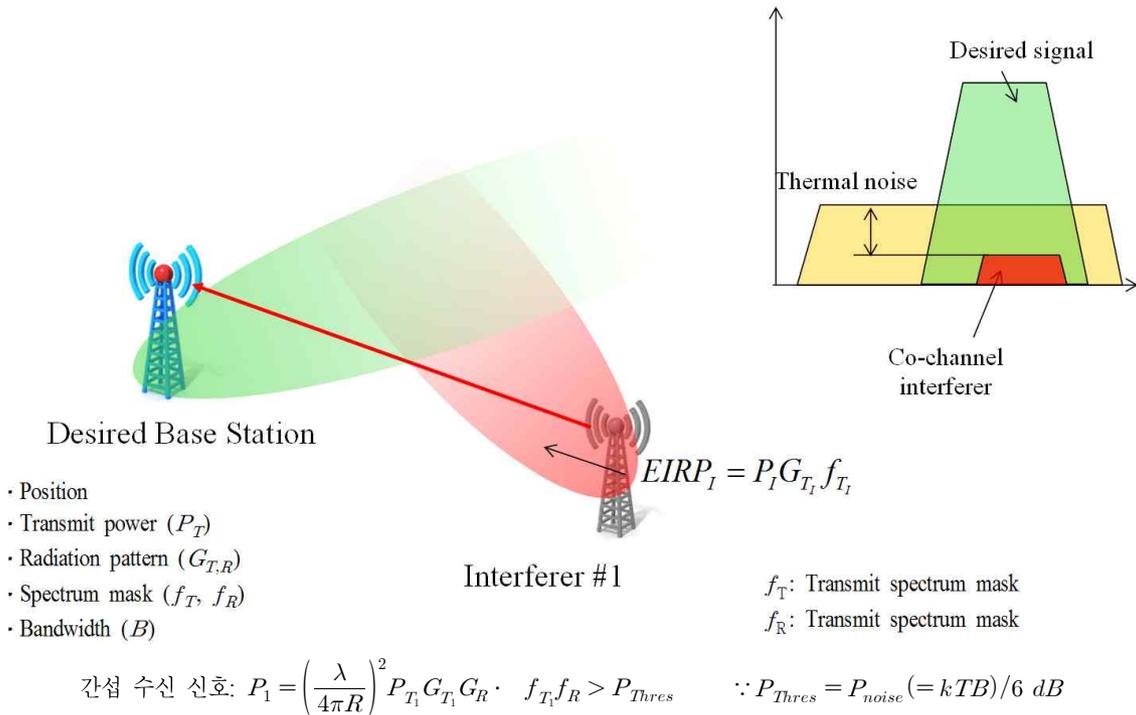
간섭 신호가 무선 통신 서비스 성능을 열화시키는지 여부를 잡음 신호보다 간섭 신호가 6 dB 이하가 되는지에 의해 판단하는 모델을 이용하여 분석하는 방법을 사용했다^[1].

가능한 가장 간단한 모델로 두 개의 무선 통신 서비스가 양립 가능한지 여부를 판단하기 위해 Friis 방정식을 이용하여 수신기가 수신하는 간섭 신호의 전력을 계산한다. [그림 9]에서 P_j 는 상대 서비스가 수신하는 간섭 신호이다. 간섭 신호 계산에서 주파수 오프셋의 영향을 고려하기 위해 송신 및 수신 스펙트럼 마스크 함수 f_T, f_R 을 포함한다. 간섭 상황에도 복수개의 무선 통신 서비스 실시 가능성 여부는 잡음 전력이 수신기의 대역폭에 의해 정해지는 열잡음보다 6 dB 이하가 되는지 여부이다.

간섭 신호의 크기가 송수신 안테나의 지향성(directionality)과 거리에 좌우되므로, 두 서비스의 빔 방향과 지리적 거리에 의해 양립 가능한 조건을 구하기 위해 선호하는 무선 통신 서비스의 수신기 위치는 고정하고, 간섭 신호를 방출하는



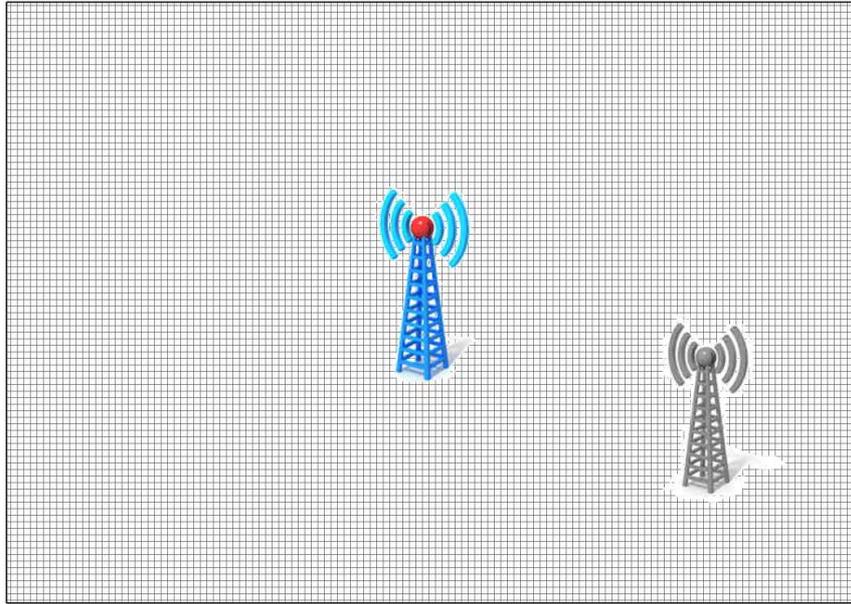
[그림 8] 송신 및 수신 신호의 스펙트럼 마스크.



[그림 9] 간섭 신호 분석 모델.

송신기 위치는 2차원 공간상의 여러 격자점에 배치하며, 양립성 여부를 판단하는 시뮬레이션을 수행했다. [그림 10]은

고정된 수신기와 임의의 격자점에 놓여있는 송신기를 보여준다.



[그림 10] 간섭 상황에서 두 무선 통신 서비스의 양립성 판단 시뮬레이션.

V. 간섭 분석 사례

잡음 신호의 크기와 주파수, 송신 전력 등이 무선 통신 방식에 의해 결정되므로 몇 가지 사례에 대한 분석 결과를 제시한다.

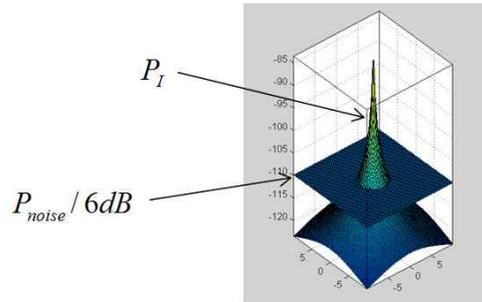
5-1 2.4 GHz 대역에서 무지향성 안테나를 채택한 경우

우선적으로 고려한 상황은 2.4 GHz 대역에서 무지향성 안테나를 채택한 경우이다. 공간적인 거리에만 수신되는 간섭 신호의 크기가 정해지고 열잡음 전력보다 6 dB 작은지 판단하면 된다. [그림 11]은 공간적 이격에 따른 수신 간섭 신호의 변화를 보여준다. 격자 공간의 중심에 수신기는 고정되어 있고, 송신기의 위치를 여러 격자점에 배치한 후 분석한 결과이다. 거리가 가까울수록 간섭 신호가 커지고, 공간 이격이 클수록 간섭 신호가 줄어드는 양상을 보인다. 양립성의 기준인 수신기 대역폭에 의해 결정되는 잡음 전력이 함께 그려져 있어 크기를 비교하여 양립성을 판단한다.

[그림 12]는 격자점에 간섭 신호의 세기를 표시하여 양립성 여부를 판단할 수 있도록 제시한 그림이다. 중앙부가 공간 이격이 작아, 간섭 신호가 선호하는 무선 통신 서비스의 신호대 잡음비를 악화시키는 부분이고, 파란색으로 칠한 부

| | |
|---|--|
|  |  |
| Desired BS | Interferer |
| $f_c = 2.4$ [GHz] | $f_c = 2.4$ [GHz] |
| $BW = 10$ [MHz] | $BW = 10$ [MHz] |
| $G_R = 1$ (omni) | $P_{T1} = 0$ [dBm] |
| $\theta_{tilt} = 10^\circ$ | $G_T = 1$ (omni) |

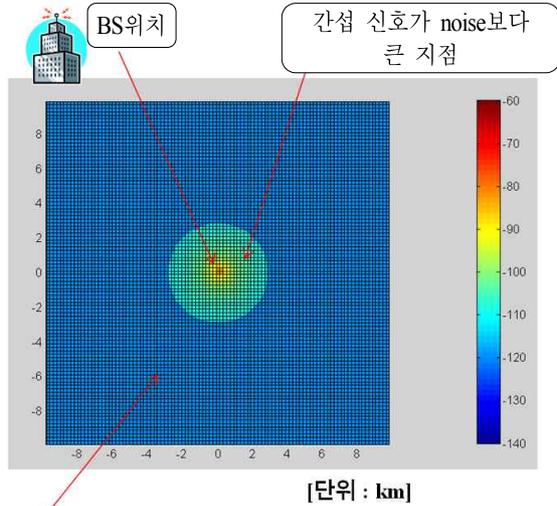
(a) 송수신기 설정



(b) 간섭 신호 및 잡음 전력의 크기

[그림 11] 간섭 분석에 사용한 파라미터.

분은 별로 문제가 되지 않는 지역이다. 대역폭 10 MHz인 경



간섭원이 위치해도 BS에서 수신하는 간섭 신호의 크기가 noise power보다 6 dB 이상 작은 지점

[그림 12] 공간 이격에 의한 양립성 여부 판단.

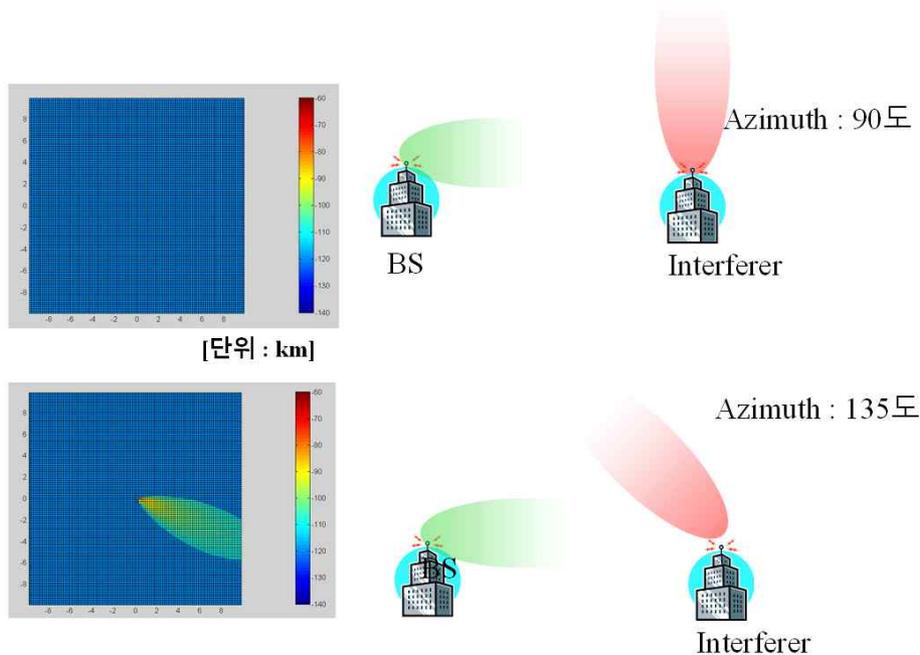
우, 0 dBm의 출력신호를 방출하는 경우, 공간 이격을 3 km 이상으로 하면 간섭 신호에도 불구하고 신호 대 잡음비의 열화가 1 dB 이하가 됨을 보여준다.

5-2 2.4 GHz 대역에서 지향성 안테나를 채택한 경우

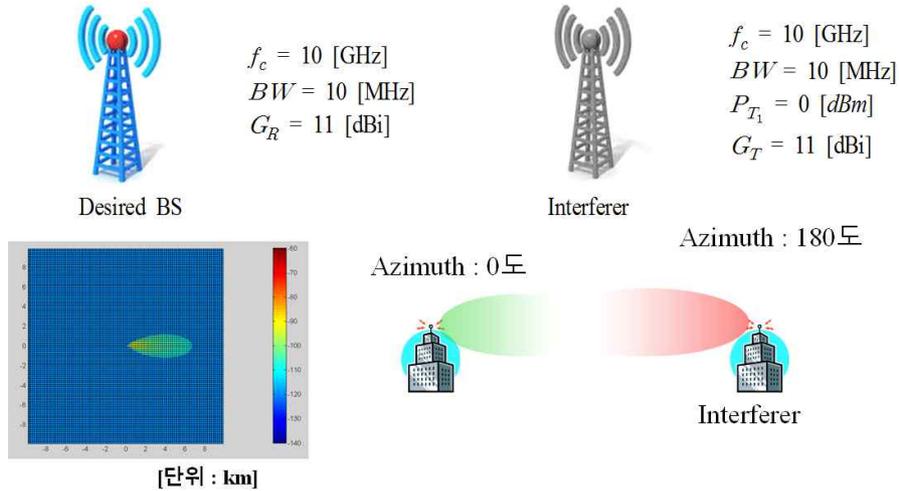
간섭 신호의 크기가 안테나 지향성의 함수이므로 지향성을 갖는 안테나를 채택한 경우를 고려한다. 이 경우 공간 이격과 송수신 안테나의 상대 각도에 따라 간섭 신호의 크기가 결정된다. 같은 주파수 대역과 출력이지만 지향성이 11 dBi를 갖는 경우, 빔 방향을 바꿔가며 양립성 시뮬레이션한 결과를 [그림 13]에 제시한다. 빔의 영역이 중첩되는 부분은 간섭 신호의 영향이 크고, 그 밖의 지점은 간섭에 의한 방해가 영향이 작아서 빔이 겹치는 부분은 10 km 거리까지 간섭 신호가 문제가 되었다.

5-3 10 GHz 대역에서 지향성 안테나를 채택한 경우

다른 주파수 대역에서 간섭에 의한 무선 통신 서비스 제한 가능성을 판단하기 위해 10 GHz의 사례를 [그림 14]에 제시한다. 주파수가 클수록 감쇄가 커지므로 송수신 안테나의 빔 지향점이 서로 마주보고 있는 경우, 같은 전력을 방사하는데도 7 km 이상 이격시키면 양립성에 문제가 없다. 동일한 설정으로 2.4 GHz에서 시뮬레이션한 경우 28 km 이상 이격시켜야 간섭 신호가 잡음 전력보다 6 dB 이하가 되어 주파수가



[그림 13] 지향성 안테나를 채택한 경우.



[그림 14] 지향성 안테나를 채택한 경우.

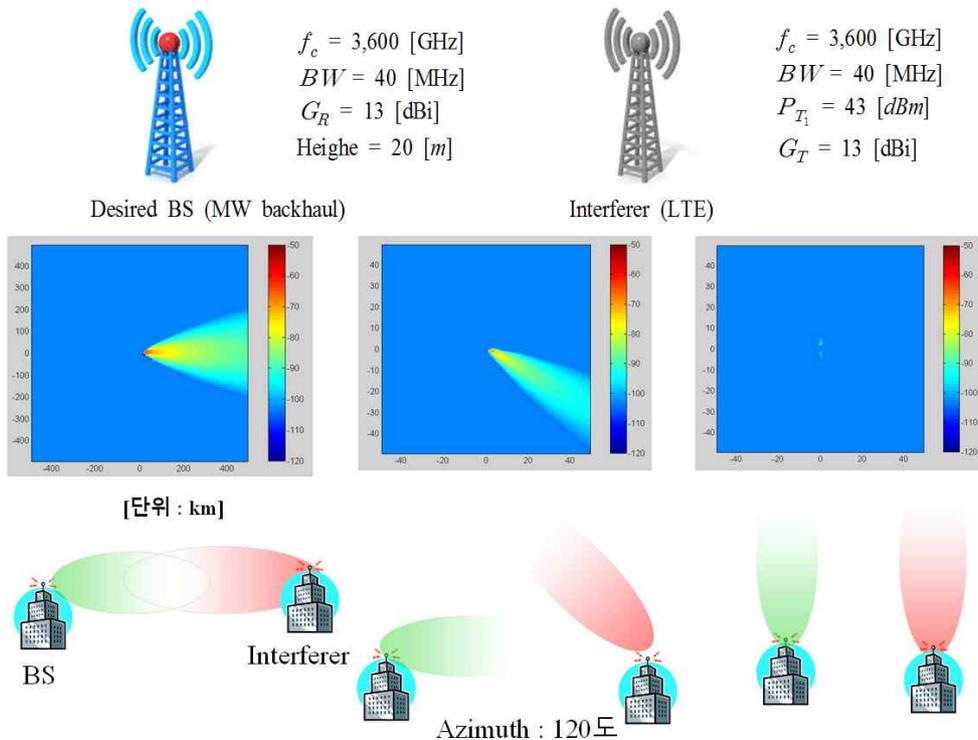
높을수록 주파수 재사용이 용이한 점을 확인이 가능하다.

5.4 3.6 GHz 대역으로 LTE를 옮기는 경우 MW 통신과 간섭

3.6 GHz 대역으로 LTE 통신의 주파수 대역을 변경하는

경우, 간섭을 예측하기 위한 설정을 [그림 15]에 제시한다.

출력이 43 dBm인 LTE 기지국은 이 주파수 대역에서 기존에 쓰이고 있는 마이크로웨이브 통신망에 간섭문제를 일으킨다. 높은 출력과 13 dBi의 지향성 안테나로 인해 서로 마



[그림 15] 3.6 GHz 대역의 간섭 여부.

주 보는 방향인 경우 수 백 km의 범위까지 간섭 문제를 일으킨다. 그러나 안테나 빔의 방향에 중첩이 없도록 배치하는 경우 수~수 십 km 정도의 이격으로 주파수 재사용이 가능한 점을 확인했다.

참 고 문 헌

- [1] ETSI TR 101 854 v1.3.1, 2005.

≡ 필자소개 ≡

이 행 선



1995년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1997년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
2000년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
2000년 8월~2004년 2월: LG전자 선임 연구원
2004년 3월~현재: 서강대학교 전자공학과 교수