부분 대역 전이중 방식에서의 교차링크 간섭분석

강현덕, 정영준
한국전자통신연구원
henry@etri.re.kr, yjchong@etri.re.kr

Interference Analysis of Cross Link Interference on Subband Full Duplex

Hyunduk Kang and Youngjun Chong
Electronics and Telecommunications Research Institute

요 약

본 논문에서는 부분 대역전이중 통신방식을 사용하는 기지국내에서 상향링크 단말과 하향링크 단말간의 교차링크간섭을 분석하고, 하향링크 단말밀도와 상향링크 단말 전송거리 대비 간섭거리 비율을 고려하여 교차간섭확률을 도출하였다.

Ⅰ. 서 론

현재 무선통신 시스템에서 사용중인 주파수분할이중방식(FDD) 및 시분할이중방식(TDD) 방식은 시간 또는 주파수를 나누어 각각 상향링크 신호와 하향링크 신호를 사용하기 때문에 주파수 이용효율을 극대화하기 어렵다. 이러한 반이중 방식의 비효율을 해결하기 위해, 반이중 방식 대비 1.5배의 링크 용량 증대가 가능하고, 커버리지와 지연 측면에서도 많은 장점이 있는 부분 대역 전이중 방식(Subband Full Duplex)이 제안되었다[1]. 그림 1에 나타난 바와 같이 부분 대역 전이중 방식은 기지국에 한하여 상향링크 및 하향링크 신호를 동시에 사용하고, 주파수 대역중 일부를 상향링크 전용으로 사용함으로써 상향링크 커버리지를 향상시키는 것이 가능하고, 상향링크 및 하향링크가 언제나 가능하므로 지연(latency)을 감소시킬 수 있다.

이 방식에서는 상향링크 신호와 하향링크 신호가 주파수 축상에서 완전히 분리되기 어렵기 때문에 상향링크 신호를 전송 중인 단말과 하향링크 신호를 수신 중인 단말 간의 교차링크간섭(cross link interference: CLI)과 기지국에서 상향링크 신호와 하향링크 신호를 동시에 송수신함으로써 발생되는 자기간섭(self interference)을 해결하는 것이 필요하다.

본 논문에서는 위에서 언급한 첫 번째 문제를 고찰하기 위하여 부분 대역 전이중 통신방식을 사용하는 기지국 셀 내에서 상향링크 신호를 전송중인 단말과 하향링크 신호를 수신 중인 단말 간의 교차링크간섭(cross link interference: CLI)을 분석한다.

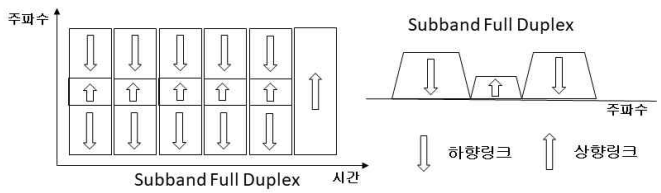

그림 1 부분 대역 전이중 방식

Ⅱ. 본론

그림 2는 부분 대역 전이중 통신방식을 사용하는 기지국(gNB)과 단말(UE)이 존재할 때, 간섭송신기 단말 UE1이 목표수신기 기지국(gNB)에 전송하는 상향링크 신호에 의한 목표송신기 기지국(gNB)이 희생수신기 단말 UE2 및 UE3에 전송하는 하향링크 신호에 미치는 간섭을 나타내고 있다. 간섭송신기의 전송거리(Transmission Range: TR)는 간섭송신기의 전송전력, 송신안테나 이득, 채널모델에 따른 경로 감쇄 등을 이용하여 산출할 수 있으며, 간섭거리(Interference Range: IR)는 간섭송신기의 전송전력이 희생수신기에 수신되는 크기를 간섭송신기의 전송전력, 송신안테나 이득, 수신안테나 이득, 희생수신기의 요구되어지는 신호대잡음비 등을 이용하여 산출할 수 있다.

UE1의 전송거리와 간섭거리, 기지국(gNB)의 셀반경(Cell Radius: CR)에 따라 UE2 및 UE3에서의 간섭 여부를 판단할 수 있다. UE2의 경우 UE1의 간섭거리내에 존재하므로 간섭이 발생하는 반면, UE3의 경우 UE1의 간섭거리밖에 존재하므로 간섭이 발생하지 않는다.

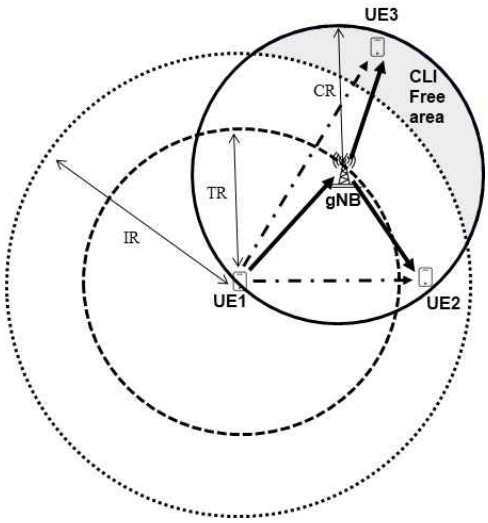

그림 2 부분 대역 전이중 통신방식을 사용하는
기지국(gNB) 셀 영역내의 교차링크간섭

기지국(gNB) 셀반경과 UE1의 전송거리 및 간섭거리를 고려하면 기지국(gNB) 셀 영역내에서 교차 링크 간섭(CLI)이 발생하는 영역, 즉 CLIA(Cross Link Interference Area)는 식(1)과 같이 도출할 수 있다.

$$CLIA = IR^2\alpha + CR^2(\pi - \beta) - \frac{1}{2}(IR^2\sin 2\alpha - CR^2\sin 2\beta) \quad (1)$$

여기서 α, β, 및 s는 각각 식(2), (3) 및 (4)를 이용하여 구할 수 있다.

$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{2\sqrt{s(s-IR)(s-CR)(s-TR)}}{IR \cdot CR}\right) \quad (2)$$

$$\beta = \sin^{-1}\left(\frac{2\sqrt{s(s-IR)(s-CR)(s-TR)}}{CR \cdot TR}\right) \quad (3)$$

$$s = \frac{IR + CR + TR}{2} \quad (4)$$

기지국 셀내에 존재하는 단말(UE)이 균일하게(uniformly) 그리고 랜덤하게(randomly) 분포한다고 가정하면, 주어진 기지국 셀내에서 i개의 단말이 존재할 확률은 단말밀도($\rho = N/A$)를 갖는 이차원 포아송 포인트 프로세스(Two dimensional Poisson point process)를 따른다. 여기서 단말의 수 N은 기지국 셀내의 상향링크 단말의 수(N_{uplink})와 하향링크 단말의 수($N_{downlink}$)의 총합이며 A는 기지국 셀의 면적이다. 따라서, 상향링크 단말에 의한 기지국 셀내 하향링크 단말에서의 교차링크 간섭발생확률은 식(5)와 같이 도출할 수 있다.

$$\begin{aligned}&\Pr\{CLI\ is\ ocuured\}\\&= 1 - \Pr\{No\ downlink\ UE\ exist\ within\ CLIA\}\\&= \sum_{i=1}^{\infty}\Pr\{i\ downlink\ UE(s)\ exist(s)\ within\ CLIA\}\\&= 1 - e^{-\rho_{downlink}\cdot CLIA}\end{aligned} \quad (5)$$

여기서 $\rho_{downlink} = N_{downlink}/A$ 이다.

상향링크 신호에 의한 간섭영향을 극대화하기 위해 기지국 셀 경계에서 상향링크 신호를 전송하는 단말에 의한 교차링크 간섭을 고려하였으며, 전송거리는 기지국 셀반경과 동일하게 설정하였다. 간섭거리는 전송거리의 1.5배에서 2배로 설정하여 전송거리대비 간섭거리에 따른 영향을 분석하였다. 그림 3은 하향링크 단말밀도 및 상향링크 단말의 전송거리대비 간섭거리 비율에 따른 교차링크 간섭확률을 나타내고 있다. 하향링크를 사용하는 단말의 밀도가 증가함에 따라 교차링크간섭 발생확률이 증가함을 알 수 있다. 또한, 하향링크 사용하는 단말의 밀도가 동일한 경우 전송거리대비 간섭거리 비율이 증가할수록 교차링크간섭 발생확률이 증가되었다. 간섭거리가 전송거리의 2배일 때 전송거리가 기지국 셀반경과 동일하므로 셀영역이 교차링크 간섭영역에 완전히 중첩되어 교차링크 간섭확률은 1이 됨을 알 수 있다.

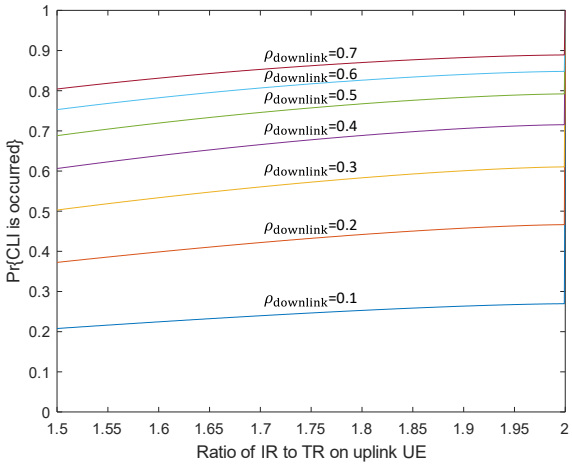

그림 3 하향링크 단말밀도 및 상향링크 단말의 전송거리대비 간섭거리 비율에 따른 교차링크 간섭확률

Ⅲ. 결론

본 논문에서는 부분 대역 전이중 통신방식을 사용하는 기지국 셀 내에서 상향링크 신호를 전송 중인 단말에 의한 하향 신호를 수신 중인 단말의 교차링크 간섭을 분석하고, 하향링크 단말밀도 및 상향링크 단말 전송거리대비 간섭거리 비율의 변화에 따른 교차링크 간섭확률을 도출하였다. 부분 대역 전이중 방식에서 주파수 이용효율을 향상시키기 위해서는 기지국내에서 단말의 위치정보 등을 이용하여 상향링크 단말의 전송과 하향링크 단말의 수신을 기지국에서 제어함으로써 교차링크간섭을 감소시키는 필요할 것으로 판단된다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2017-0-00066, 선제적 주파수 이용을 위한 시·공간적 스펙트럼 엔지니어링 기술 개발).

참 고 문 헌

[1] Hyoungju Ji et al., “Extending 5G TDD Coverage With XDD: Cross Division Duplex,” *IEEE Access*, vol. 9, no. 1, pp. 51380-51392, Apr. 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3068977

[2] Zhiheng Guo and Yongqiang Fei, “On the Cross Link Interference of 5G with Flexible Duplex and Full Duplex,” in *Proc. IEEE WCNC W*, Apr. 2020, doi: 10.1109/WCNCW48565.2020.9124866