

전이중 통신 시스템을 위한 적응적 알고리즘 기반의 디지털 자기 간섭제거 신호처리 기법

조문규, 진희뢰, 채찬병, 김광순

연세대학교

moonkyu@dcl.yonsei.ac.kr, xlchen@dcl.yonsei.ac.kr, cbchae@yonsei.ac.kr, ks.kim@yonsei.ac.kr

요약

본 논문에서는 전이중 통신 (Full-duplex)을 기존의 LTE, WiFi 시스템에 적용하기 위한 디지털 자기 간섭제거 방법에 대해 논의하고, 시뮬레이션을 통해 성능을 확인하였다. 점화적 최소자승 (RLS, recursive least square) 알고리즘을 이용함으로써 자기 간섭제거 전용 파일럿없이 구현되었고, 실환경을 모사한 자기 간섭 채널의 변화를 적응적으로 트래킹 (tracking) 하며 자기 간섭신호가 잡음단계 (noise level) 까지 떨어졌음을 확인하였다. 또한, 사전 교정방법 (pre-calibration method)을 통해 자기 간섭신호의 비선형 성분을 선형화함으로써 연산 복잡도를 낮추었다.

I. 서론

최근 모바일 및 스마트기기의 사용 확산으로 무선 트래픽이 급증함에 따라, 주파수 부족 문제를 해결하기 위한 수많은 연구가 진행되어 왔다. 이러한 상황에서 크게 주목받고 있는 기술 중 하나인 전이중 통신 (Full-duplex)은 같은 시간, 같은 주파수에서 동시에 송수신함으로써 현재 무선 통신 시스템에서 사용 중인 반이중 통신 (Half-duplex) 대비 2배의 주파수 효율을 얻을 수 있다 [1]. [1]~[2]에 따르면 Full-duplex 시스템 구현 시 자기 간섭 (Self-interference)을 제거하는 기술이 선행되어야 한다. 자기 간섭신호란 송수신이 동시에 이루어짐에 따라 송신 신호가 수신 신호에 간섭으로 작용하는 신호를 의미하며, 전이중 통신의 이점을 제공하기 위해서 잡음단계까지 제거되어야 한다. 즉, 자기 간섭제거 기법의 성능이 전이중 통신 성능을 좌우한다. 그 동안 수많은 자기 간섭제거 기법이 제안되었지만, 기존의 기법은 자기 간섭제거 전용 파일럿을 사용해야함으로써 통신규격을 변경해야하기 때문에 기존의 LTE, WiFi 통신시스템에 적용할 수 없다. 또한, 자기 간섭신호의 비선형성분을 제거하는 데 너무 많은 연산량이 요구되는 점도 문제이다.

본 논문에서는 별도의 자기 간섭제거 전용 파일럿없이 점화적 최소자승 (RLS, recursive least square) 기반의 자기 간섭제거를 수행하여 기존 시스템에 전이중 통신의 구현을 가능하도록 한다. 또한, 사전 교정 방법을 통해 자기 간섭신호의 비선형성분을 선형화하여 제거함으로써 연산 복잡도를 낮추고, 실환경을 모사한 시변채널 환경에서 시뮬레이션을 수행한다.

II. 제안하는 디지털 자기 간섭 제거 방법

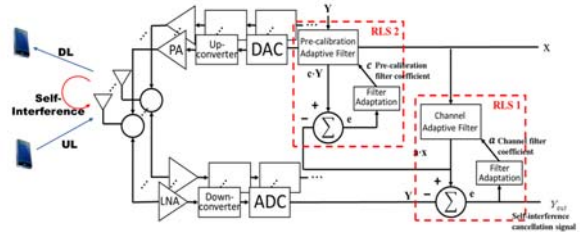


그림 1. 디지털 자기 간섭제거 다이어그램

그림 1은 본 논문에서 제안하는 디지털 자기 간섭제거 알고리즘의 시스템 모델이다. 다중안테나 기지국 송수신기는 자기 간섭제거를 수행하며 전이중 통신 동작을 한다. DL (down link)입력 신호 인코딩에는 직교 주파수 분할 다중 방식 (OFDM)이 사용되며 인코딩된 신호는 DAC (digital to analog converter)를 통해 아날로그 신호로 변환 후 up-conversion 되고 전력증폭기 (PA)를 통과하여 안테나에서 방사된다. 이에 대한 자기 간섭신호는 크게 선형 성분과 비선형 성분으로 나뉘며, 전력증폭기에 의해 발생한 신호의 비선형 성분을 제거하기 위해 DAC 통과 전 사전 교정블록을 배치하여 신호의 선형화를 수행한다. 이를 위한 RLS 2 동작은 사전 교정 적응필터 (pre-calibration adaptive filter)의 입력신호와 기준신호를 각각 송신 신호와 수신신호로 설정하여 사전 교정 필터계수 (pre-calibration filter coefficient)를 적응적으로 업데이트하는 방식을 취한다. 이와 같은 방식으로 RLS 1에서는 자기 간섭 채널 필터계수 (channel filter coefficient)를 추정 및 업데이트하여, 사전 교정블록에 의해 선형화된 자기 간섭신호를 실시간으로 제거한

다. 구체적으로는 송신 신호가 1) 저전력 (low power) 인 경우와 2) 고전력 (high power)인 경우로 나뉘어 설명된다. 이때, low power란 입력신호가 송신단 전력 증폭기의 동작범위 (dynamic range) 내에 있어 출력신호의 선형성이 보장되는 수준을 의미한다.

1) 저전력 일 때, 자기 간섭 채널필터 계수를 추정한다. 저전력인 경우, 자기 간섭신호에 비선형 성분이 없기 때문에 이를 이미 알고 있는 송신신호와 조합한다면 신속 정확하게 자기 간섭 채널을 추정할 수 있다. 2) 고전력으로 넘어가면, 사전 교정방법을 통해 자기 간섭신호의 비선형 성분을 선형화한다. 이에 따라, 자기 간섭제거 시 비선형 성분을 고려하지 않아도 되므로 복잡도를 상당히 낮출 수 있다. 또한, 자기 간섭 채널 추정을 빈번히 수행함으로써 복잡도를 낮추고 이동하는 물체에 의해 변화되는 채널을 효과적으로 트래킹하며 자기 간섭제거를 수행한다. 제안하는 자기 간섭제거 기법은 비선형 성분에 대한 이슈와 자기 간섭제거를 독립적으로 처리함으로써 연산 복잡도를 낮추는 것이 특징이다.

IV. 시뮬레이션

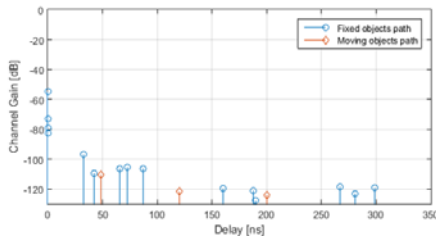


그림 2. Self-Interference Channel PDP

그림 2는 본 논문에서 고려한 전이중 통신의 자기 간섭 채널이다. 레이트레이싱 (ray-tracing) 틀을 이용해 3km/h 속도로 이동하는 물체에 의해 시변된 채널을 반영한 130m×100m 크기의 사용자 고밀집 대형실내 상황을 모사했다. 전이중 통신 기지국은 스몰셀 LTE 파라미터를 적용하였고 아날로그 단에서 요구되는 50-60dB의 자기 간섭제거는 [3]에 따라 수행되었다고 가정하였다. RLS 망각인자 (forgetting factor)는 휴리스틱한 최적화 기법을 사용하여 매 심볼마다 업데이트되었다.

그림 3은 전이중 통신 기지국의 UL 수신 신호 전력에 따른 자기 간섭제거 성능이다. 시뮬레이션 결과 자기 간섭이 잡음단계까지 제거되는 데 약 5ms의 적은 시간이 소요되었으며, 매 심볼 당 곱하기를 고려한 복잡도는 기존의 비실시간 알고리즘 대비 70배, [4]에서 제안한 실시간 알고리즘 대비 약 4배의 연산 복잡도를 이득을 얻었다.

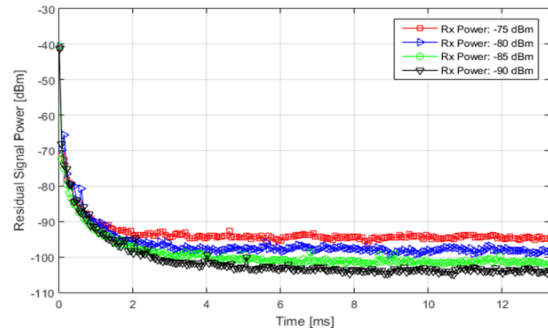


그림 3. Digital Self-Interference Cancellation Amount

VI. 결론

본 논문에서는 LTE 스몰셀 환경에서 전이중 통신 기지국의 저복잡도 자기 간섭제거 알고리즘을 구현하였고 시뮬레이션을 수행하였다. 별도의 파일럿을 사용하지 않고 적응적으로 자기 간섭제거를 수행함으로써 통신규격 변경없이 기존의 LTE, WiFi 시스템에도 적용할 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부의 정보통신 방송연구 개발사업의 일환으로 수행하였음. [2014-0-00552, 고성능, 고효율의 차세대 무선랜 무선전송 원천기술 개발]

참고 문헌

- [1] A. Sabharwal, P. Schniter, D. Guo, D. Bliss, S. Rangarajan, and R. Wichman, "In-band full-duplex wireless: Challenges and opportunities," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 32, no. 10, Oct. 2014.
- [2] D. Bharadia, E. McMillin, and S. Katti, "Full duplex radios," in *Proc. SIGCOMM'13*, Aug. 2013, pp. 375-386.
- [3] T. Oh, Y. Lim, C.-B. Chae, and Y. Lee, "Dual-polarization slot antenna with high cross polarization discrimination for indoor small-cell MIMO system," *IEEE Ant. and Wireless Prop. Lett.*, vol. 14, pp. 374-377, Feb. 2014.
- [4] 이진녕, 김종현, 최경준, 김광순, "메시브 다중안테나 전이중 시스템을 위한 실시간 자기간섭제거 알고리즘," 한국통신학회 동계종합학술발표회 논문집, 하이원리조트, 2016-01-20