

단일 RF 다중 스트림 지원을 위한 소형 기지국 기술

이경태, 최일도, 김당오, 이주용, 최세환*, 김진섭*, 조동호
한국과학기술원, 전자부품연구원*

요약

기존 MIMO 시스템에서는 안테나의 개수가 늘어날수록 선형적으로 RF 모듈의 개수도 늘어나 전체 시스템의 복잡도와 전력 소모가 심하다. 이를 해결하기 위해 단일 RF 송신구조가 제안되었고, 본 논문에서는 임피던스를 가변하여 안테나에서 방사되는 패턴을 조절하는 기술을 제안한다. 기존 MIMO 시스템의 RF 회로부가 가지는 복잡도와 전력 효율 문제를 해결하기 위해 임피던스 로딩 부분의 실험시제품 제작 및 검증을 수행한다. BPSK와 QPSK 변조방식을 지원하는 임피던스 로딩 보드를 제작하고, 3 m 거리에서 무선 송수신 실험을 성공적으로 수행하였다.

I. 서론

현재 상용화되어 있는 $N \times N$ MIMO 시스템의 경우 안테나 N 개를 사용하고 각 안테나 별로 RF chain을 연결하여 SISO 대비 최대 N 배의 용량 이득을 얻을 수 있다. 하지만, 통신 용량을 증가시키기 위해 안테나 개수를 늘리면, 그에 따라 RF부의 개수도 선형적으로 늘어나기 때문에, 5세대 이동통신의 각광받는 후보중 하나인 Massive MIMO 같은 수십~수백개의 안테나가 제안되는 구조에서는 복잡도와 전력 효율 문제로 사용되기에 어려움이 많다.

이러한 문제를 해결하기 위해 단일 RF를 사용하는 시스템이 제안되어 왔으며, 그 중에서 특히 임피던스를 조절하여 안테나에 흐르는 전류를 제어하는 beam-space MIMO 개념이 제안되었지만 4세대 이동통신에 적용될 만큼 방사패턴이 스위칭되는 속도가 빠른 경우는 아직 구현이 되지 않았다. [1]-[3] 본 과제에서는 단일 RF 개념을 사용하여 다중 스트림 전송을 제안하고, 더 나아가 BPSK 및 QPSK 변조를 지원하는 임피던스 로딩 보드를 제작하여 실측하고, 3 m 거리에서 송수신 테스트를 성공적으로 진행하였다.

II. 전력 공유 기반 단일 RF 기지국

제안하는 단일 RF 시스템은 <그림 1>과 같다. 모든 안테나에 전력을 공급하고 이를 공유하면서 전류를 제어하여 전송하는 개념으로 전력 공유 기반 빔공간 MIMO 시스템을 제안한다. Oscillator(VCO)에서 carrier frequency가 증폭되어 임피던스 loading block으로 인가가 되며, 모뎀에서 나온 M 개의 I, Q 신호는 DSP 보드에서 임피던스 로딩부에 인가될 $3 \times M$ 개의 L, C 값 및 50옴 매칭을 위한 값을 계산하여 임피던스 loading block에 전달된다. 또한 임피던스 loading block에서는 각 안테나에서 신호에 대응되는 전류가 흐를 수 있도록 DSP에서 계산된 임피던스를 안테나에 연결할 수 있도록 설계하였다.

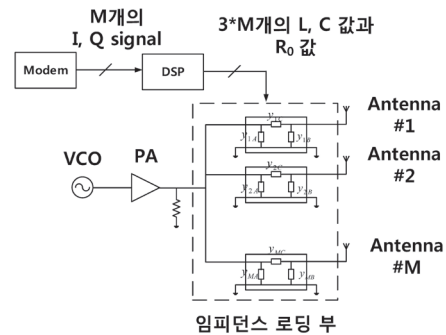


그림 1. 전력 공유 기반 단일 RF 기지국 개념도

III. 임피던스 로딩 보드 제작 및 검증

II장에서 제안한 임피던스 로딩 보드는 임피던스값을 바꿔서 원하는 전류 혹은 전압을 안테나, 즉 50옴 로드 에 인가시켜주어야 한다. Carrier 주파수인 2.375 GHz에서 임피던스를 스위칭해 주기 위해, Analog devices사의 ADG919BRMZ switching chip이 사용되었다. <그림 2> 다른 선행 연구에서는 주로 varactor 다이오드를 이용하여 스위칭하였는데, 이는 추가적인 DAC가 필요하고, 스위칭 시간이 수십 us 정도로 5세대 이동통

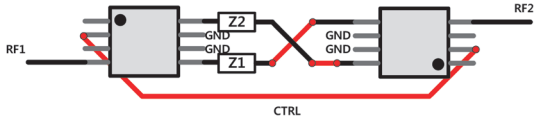


그림 2. ADG 919BRMZ를 이용한 임피던스 스위칭

신에 이용되기에 한계점이 존재한다. 본 연구에서 사용된 스위칭 칩은 5 ns 이내의 스위칭 타임을 가지므로 LTE 통신 시스템에 적용될 수 있을 것으로 전망된다.

사용하는 임피던스는 L, C로만 이루어져 있으며 lossy component인 저항은 사용하지 않았다. 따라서 이상적인 경우에는 전력 앰프에서 나온 전력의 절반이 안테나에 전달되게 된다. <그림 3>은 제작된 단일 스트림 BPSK 임피던스 로딩 보드를 보여준다. 다중 스트림으로 가기 위해서는 BPSK 보드를 여러개 병렬로 power divider를 통해 연결해줄 수 있다. Baseband에서 1 bit impedance control signal (I신호)가 두 개의 스위치에 연결이 되어 두 개의 임피던스 path 중 하나를 선택하게 된다.

<그림 4>는 제작된 BPSK 임피던스 로딩 보드에서 지원하는 두 개의 상태를 오실로스코프로 측정한 그림이다. 두 개의 상태가 서로 크기는 같고 위상은 180도 차이 나는 것을 알 수 있다. 다만 사용하는 discrete 소자의 오차 등의 이유로 정확한 phase 차이는 180도가 안되고, 두 상태의 magnitude가 정확히 일치

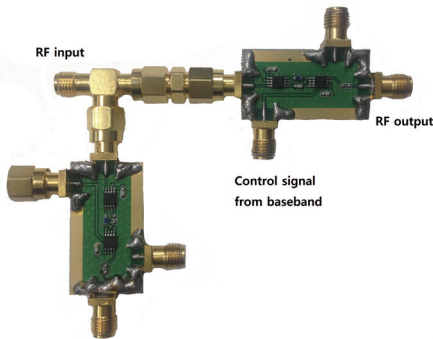


그림 3. 제작된 BPSK 임피던스 로딩 보드

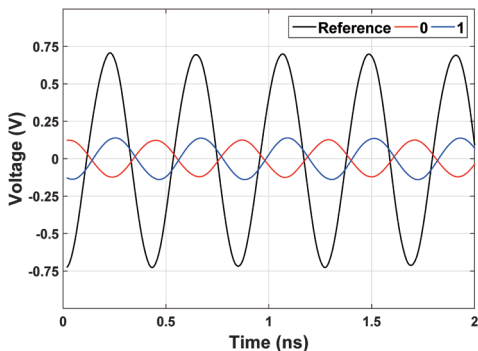


그림 4. BPSK 임피던스 로딩보드 성능 검증

하지 않으며, 추후 튜닝 작업을 통해 보정될 필요가 있다.

QPSK를 지원하는 임피던스 로딩 보드는 크기는 같고 위상은 0, 90, 180, 270도 차이 나는 네 가지의 신호를 안테나에 전달할 수 있으면 된다.

네 가지의 신호를 만드는 자유도를 확보하기 위해 pi network로 임피던스를 만들었다. BPSK 보드와 마찬가지로 임피던스는 lossless component들만으로 구성되어 시스템의 전력 효율을 최대화하였다.

<그림 5>는 제작된 QPSK 보드의 사진을 보여준다. 동시에 네 개의 스트림을 전송할 수 있도록 설계되었으며, 각각의 스트림에 0도, 90도, 180도, 270도의 phase shifting을 하는 임피던스 경로가 존재한다. Baseband에서 주는 신호에 맞춰서 임피던스 경로가 결정되고, 그에 따라 안테나에 흐르는 신호의 위상이 결정된다. <그림 6>은 제작된 QPSK 보드에 baseband control signal을 인가하였을 때 50옴 로드에서 인가되는 전압을 4개 상태에 대해 오실로스코프로 측정한 그림이다. 4개의 상태가 magnitude는 거의 같고 phase는 약 90도씩 차이가 나는 것을 볼 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 단일 RF구조를 위한 임피던스 로딩보드의 설계 및 성능 측정을 기술하였다. 단일 RF 다중 스트림 전송 기술은

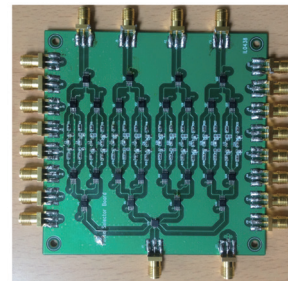


그림 5. 제작된 QPSK impedance loading 보드

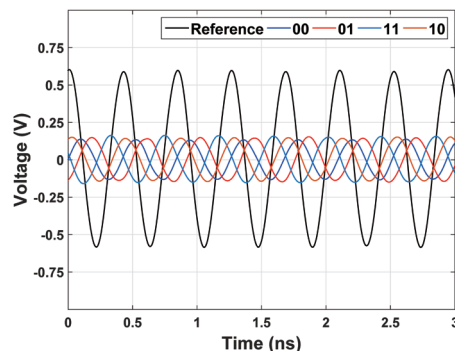


그림 6. QPSK 임피던스 로딩보드 성능 검증

기존 MIMO 송신 시스템이 가지는 복잡성과 전력 비효율성을 획기적으로 해결하였으나, 임피던스 로딩부분이 가장 이슈가 된다. 본 논문에서는 차세대 이동통신에서 쓰일 수 있는 스위칭 소자를 이용하였고, BPSK 및 QPSK를 지원하는 임피던스 로딩보드를 성공적으로 제작하고 검증하였다. 좀 더 높은 해상도의 임피던스 로딩 보드를 제작하면 현재 상용화되어있는 4세대 이동통신 송신 시스템을 획기적으로 개선할 수 있을 것으로 보인다.

참고 문헌

- [1] M. Sedaghat, R. Mueller, and G. Fischer, "A Novel Single-RF Transmitter for Massive MIMO", 2014 18th International ITG Workshop on Smart Antennas (WSA), March 2014.
- [2] O. Alrabadi, J. Perruisseau-Carrier, and A. Kalis, "MIMO Transmission Using a Single RF Source: Theory and Antenna Design", IEEE Transactions on antennas and propagation, vol. 60, pp. 654-664, February 2012
- [3] B. Han, V. Barousis, C. Papadias, A. Kalis, R. Prasad, "MIMO over ESPAR with 16-QAM Modulation", IEEE Wireless Communication Letters, vol. 2, pp. 687-690, October 2013.

약 력



이 경 태

2011년 한국과학기술원 공학사
 2013년 The University of Texas at Austin 공학석사
 2013년~현재 KAIST IT 융합 연구소 통신에너지팀 연구원
 관심분야: 무선통신 RF system



최 일 도

2011년 한양대학교 공학사
 2013년 한국과학기술원 공학석사
 2013년~현재: KAIST IT융합연구소 통신에너지팀 연구원
 관심분야: 집적 안테나, 빔포밍 안테나

약 력



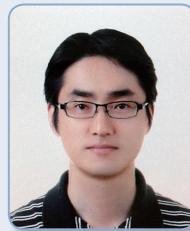
김 당 오

2007년 한밭대학교 공학사
 2009년 경북대학교 공학석사
 2013년 경북대학교 공학박사
 2013년~현재 한국과학기술원
 무선전력전송연구센터 선임연구원
 관심분야: 이동통신 RF/Antenna 설계 및 해석



이 주 용

1995년 한국과학기술원 공학사
 1997년 한국과학기술원 공학석사
 2003년 한국과학기술원 공학박사
 2007년 삼성전자 네트워크사업부 책임연구원
 2009년 University of Toronto, Post-doctoral fellow
 2010년 성균관 대학교 연구교수
 현재 한국과학기술원 KI IT 융합연구소 통신에너지팀 팀장
 관심분야: 5세대 이동통신



최 세 환

2001년 충북대학교 공학사
 2003년 광주과학기술원 공학석사
 2003년~2004년 삼성전자 연구원
 2004년~현재 전자부품연구원
 융합통신부품연구센터 선임연구원
 관심분야: 안테나, RF부품, 통신시스템



김 진 섭

1999년 광운대학교 공학사
 2001년 광운대학교 공학석사
 2012년 광운대학교 공학박사
 2001년~현재 전자부품연구원
 융합통신부품연구센터 책임연구원
 관심분야: CMOS기반 RFIC, 이동통신 능수동부품



조 동 호

1979년 서울대학교 공학사
 1981년 KAIST 공학석사
 1985년 KAIST 공학박사
 1998년~현재 KAIST 전기 및 전자공학과 교수
 2014년~현재 미래부 5G 전략추진위원회 위원
 관심분야: 5G 이동통신, 패편/편파 안테나, 무선전력전송