

LTE-TDD 2x2 MIMO 양방향 RF 하이브리드 빔포밍 시스템 설계 및 구현

(Design and Implementation of LTE-TDD 2x2 MIMO Bidirectional RF Hybrid Beamforming System)

이 광 석¹⁾, 김 동 현²⁾, 오 혁 준³⁾*

(Kwang-Suk Lee, Dong-Hyun Kim, and Hyuk-Jun Oh)

요 약 본 논문은 1.7 GHz 주파수 대역에서 HD 비디오를 무선으로 송수신하는 2T-2R(2 Transmitter-2 Receiver) 시스템을 설계 및 구현하였다. 해당 시스템은 HDL로 설계한 LTE-TDD 송수신 모듈을 USRP RIO에 내장된 Xilinx Kintex-7칩에 구현하여 USRP RIO를 베이스밴드로 사용하였으며, USRP RIO에서 송수신되는 신호는 자체 설계한 1.7 GHz RF송수신 모듈로 업·다운 변환을 수행한 후 자체 설계한 2x9 서브 배열 안테나를 통해 최종적으로 HD 비디오 데이터를 통신하게 된다. USRP RIO와 Host PC의 통신 방식은 데이터 송수신시 발생하는 지연을 최소화하기 위해 PCI express(Peripheral Component Interconnect express)x4를 사용하였다. 구현한 시스템은 EVM 32 dBc의 기본 성능을 보였으며, 실험환경 내 어디서든 HD 비디오를 성공적으로 송수신하였다. 본 논문에서 제안하는 내용은 6 GHz 이하의 차세대 5G 이동통신 시스템뿐만 아니라 추후 밀리미터 대역을 사용하는 광대역 5G 이동통신 시스템으로의 활용이 가능하다.

핵심주제어 : 하이브리드, 빔포밍, 다중안테나, 에티이-시분할, 유에스알피-리오

Abstract This paper presented the implementation and design of the 2T-2R wireless HD video streaming systems over 1.7 GHz frequency band using 3GPP LTE-TDD standard on NI USRP RIO SDR platform. The baseband of the system used USRP RIO that are stored in Xilinx Kintex-7 chip to implement LTE-TDD transceiver modem, the signal that are transmitted from USRP RIO up or down converts to 1.7 GHz by using self-designed 1.7 GHz RF transceiver modules and it is finally communicated HD video data through self-designed 2x9 sub array antennas. It is that communication method between USRP RIO and Host PC use PCI express x4 to minimize delay of data to transmit and receive. The implemented system show high error vector magnitude performance above 32 dBc and to transmit and receive HD video in experiment

* Corresponding Author : hj_oh@kw.ac.kr

+ 「본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 미래 전투체계 네트워크기술 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었음(UD160070BD).」

Manuscript received June 14, 2018 / accepted June 24, 2018

1) 광운대학교 전자통신공학과, 제1저자

2) 국방과학연구소 제2본부, 제2저자

3) 광운대학교 전자통신공학과, 교신저자

environment anywhere. The proposed hybrid beam forming system could be used not only in the future 5G mobile communication systems under 6 GHz frequency band but also in the systems over 6 GHz frequency band like ones in mmWave frequency bands.

Key Words : Hybrid, Beamforming, MIMO, LTE-TDD, USRP-RIO

1. 서 론

최근 이동통신 시스템 기술은 스마트기기의 대중화로 매년 데이터 트래픽의 증가가 가파르게 이어지고 있다. 이로 인해 현재의 이동통신 기술로는 앞으로 있을 데이터 트래픽을 감당할 수 없는 상황에 이르렀다. 이에 따라 국제표준화 단체 3GPP는 올해 1월 공식적으로 5G 표준화 규격을 1차적으로 발표하였으며 4월에 일부 업데이트된 5G 표준안을 발표하는 등 지속적으로 5G에 대한 최종 표준안 도출을 위한 작업을 진행하고 있다 [1, 9, 10], 5G 기술의 한 가지 핵심적인 요소는 하이브리드 빔포밍 기술로써, 전 세계적으로 해당 5G 이동통신 기술을 확보하기 위해 연구개발에 역량을 쏟고 있는 실정이다.

5G에서는 기존 4G 기술의 한계를 넘을 수 있는 다양한 기술들이 논의되고 있는데, 그 중 기존과 달리 가장 도전적인 기술의 하나가 아날로그 빔포밍과 디지털 빔포밍이 상호 공존하는 하이브리드 빔포밍 기술이라고 할 수 있다[2-3].

본 논문은 이와 같은 추세에 맞추어 1.7 GHz 대역의 주파수 대역에서 현재 전 세계에서 주파수 활용률이 높아 각광받고 있는 LTE-TDD(Long Term Evolution-Time Division Duplexing) 통신 방식으로 HD 비디오 데이터를 송수신하는 시스템을 하이브리드 빔포밍 기반으로 설계하고 구현하는 내용을 설명하고 있다.

2. 스위칭 빔포밍 및 빔탐색 알고리즘

빔탐색 알고리즘은 TDD 상황을 고려하여 설계되었다. TDD 상황에서는 양방향 무선채널이 동일하다는 특징이 있다. 빔탐색을 위해 기지국

은 Fig. 1과 같은 파일럿 신호를 전송한다.

첫 신호는 파일럿 신호로 구성되어 있고 이후 기지국 ID와 현재 사용하고 있는 빔에 대한 정보를 같이 전송한다. 기지국은 단말이 응답할 때까지 빔을 바꿔가면서 파일럿 신호를 전송한다. 빔을 바꿔서 전송하는 경우에는 해당 빔 번호를 전송 파일럿에 실어 보내야 한다.



Fig. 1 Pilot Signal Frame Structure

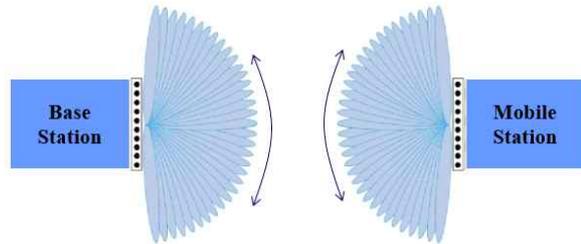


Fig. 2 Switching Beamforming

Fig. 2는 스위칭 빔포밍을 나타내는 그림으로서 단말은 역시 수신 빔을 바꿔가며 기지국의 파일럿 신호를 찾기 위해 노력한다.

단말이 수신 가능한 파일럿 신호 중에서 가장 높은 전력으로 수신되는 상황에서 기지국이 사용한 빔 번호와 단말이 사용한 수신 빔 번호를 저장한다. 이후 TDD의 상향링크 전송 시간에 단말은 최적의 수신빔을 송신빔으로 사용하여 기지국에 빔 정보를 알린다. 파일럿이 기지국에 정상적으로 수신되면 기지국 역시 최적의 빔을 이용하여 빔 정보를 알린다. 파일럿이 기지국에 정상적으로 수신되면 기지국 역시 최적의 빔을 이용하여 전송을 시작한다. 정해진 시간동안 기지국의 응

답이 없으면 단말은 빔 정보에 대해 재전송을 실시한다.

3GPP LTE/LTE-A 시스템은 기본적으로 동기 획득을 목적으로 5 msec의 주기로 PSS/SSS/PBCH 전송 한다. 본 논문에서는 PSS/SSS를 일종의 위에서 설명한 파일럿으로 활용하고, 이를 기반으로 기지국 ID를 도출하고 마지막으로 PBCH 내의 MIB 정보를 활용하여 빔 ID를 파악할 수 있도록 접근하는 설계하여 현재 3GPP LTE/LTE-A 시스템을 기반으로 하는 하이브리드 빔포밍 시스템의 설계가 가능하도록 하였다[4].

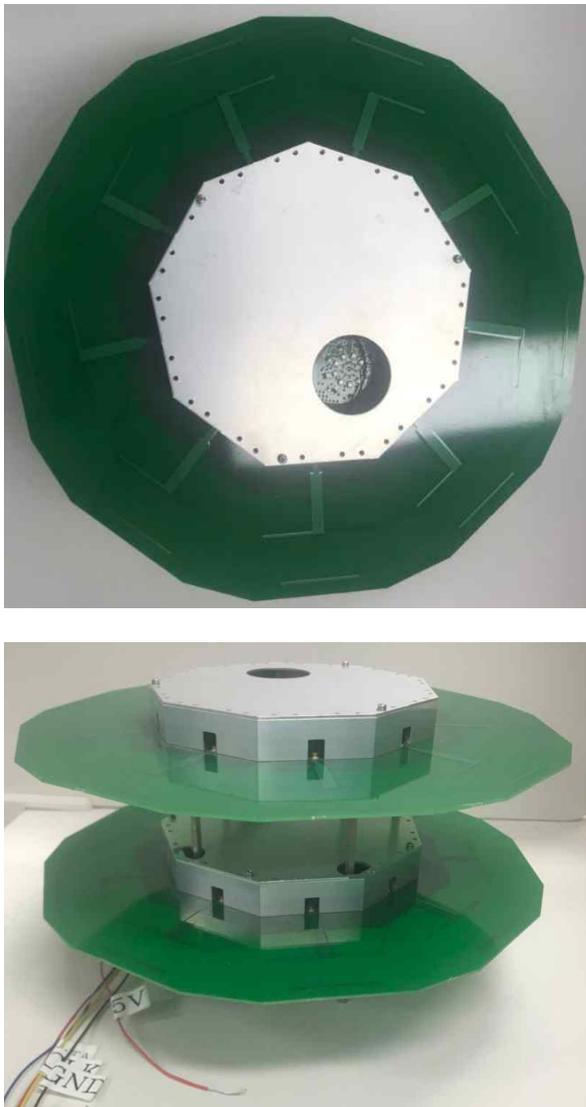


Fig. 3 Active Phase Array Antenna

빔 탐색을 위한 PSS/SSS/PBCH의 전송 주기는 사용하는 총 빔 패턴의 개수 및 초기 네트워크 진입을 위한 최소 요구시간에 따라 가변적으로 설정할 수 있도록 하였다. 본 연구에서는 초기 동기 단계에서는 전체 빔 패턴 수보다 적은 수의 빔 패턴만을 탐색할 수 있도록 하고 추후 빔 추적 단계에서 정밀한 최적 빔 선택 및 추적이 가능하도록 하였다.

Fig. 3은 본 연구에서 사용한 빔포밍 안테나이다. 9개의 다이폴 패치 안테나로 구성되어 있으며, 내부에 위상전이기 및 가변 증폭기를 포함하고 있는 능동 위상 배열 안테나이다. 2x2 MIMO 지원을 위하여 이중 구조로 구성되어 있다. 능동 위상 배열 안테나의 경우 Fig. 4와 같이 버틀러 매트릭스[5] 구조가 아닌 9개의 안테나 중 3 세트의 3개 안테나가 조합되는 스위치 빔 구조에 기반하고 있다.

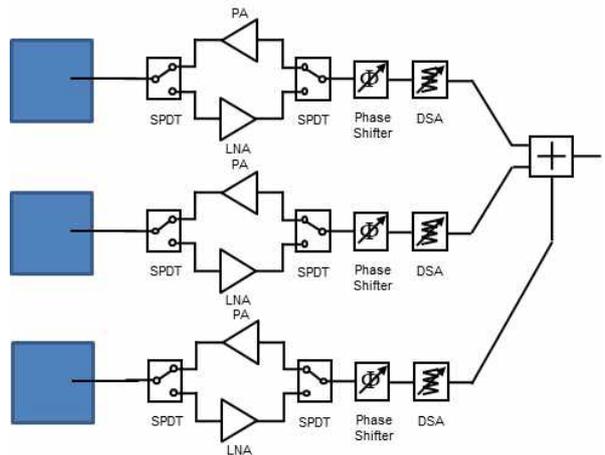


Fig. 4 Active Phase Array Antenna Architecture

설계된 능동위상배열안테나의 실제 측정 결과, 1.76GHz 주파수 대역에서 25.9dB의 이득, 38.8도의 빔 폭, 그리고 -9.5dB의 SRR 값을 가짐을 확인하였다.

능동위상배열안테나의 특성을 파악하기 위하여 40도 간격으로 9개의 빔을 만들어 방사패턴을 측정하였다. Fig. 5는 측정된 안테나의 방사패턴을 보여주고 있다.

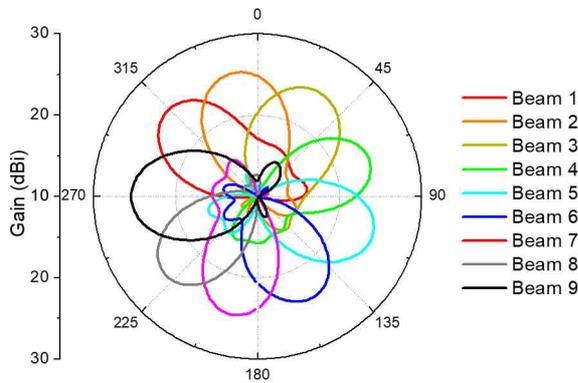


Fig. 5 Beam Pattern of the Active Phase Array Antenna

3. 빔 추적 알고리즘

Fig. 6은 빔 추적 시나리오이다. 단말이 이동하는 환경에서는 빔 추적이 필수적이다. 빔 추적을 수행할 때는 단말이 이동하더라도 최적의 빔이 현재의 빔과 상관관계가 많다는 가정 하에 수행한다.

실제로 빔은 시간에 따라 상당한 상관관계를 가지는 것으로 알려져 있다. 이 사실을 이용하면 전체 빔을 다시 재탐색할 필요 없이 현재의 빔 주변의 4개 빔에 대해서만 추적을 수행한다.

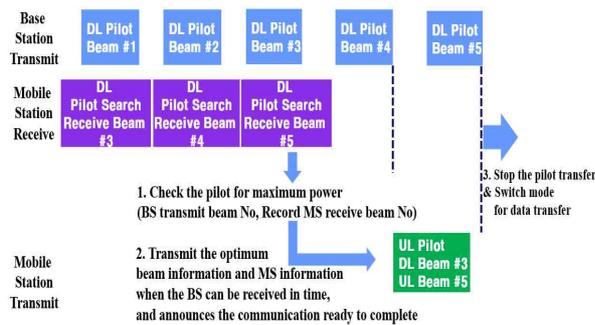


Fig. 6 Beam Tracking Algorithm

구체적으로 데이터를 전송하는 시간 중간 중간에 빔추적을 위한 시간을 할당하며 이 시간에는 기지국이 현재 서비스되고 있는 빔 이외에 상하 좌우 4개 빔으로 파일럿을 전송한다. 단말기 역

시 4개의 서로 다른 빔으로 파일럿을 수신하여 가장 SNR(Signal to Noise Ratio)이 높게 측정되는 빔을 선택한다. 이후 빔에 대한 정보를 기지국에 전달하여 빔 추적을 수행한다.

이러한 제안하는 추적 알고리즘의 구현을 위하여 본 논문에서는 3GPP LTE/LTE-A의 DL DMRS[4]를 사용하였다. 4개의 빔을 구분하기 위하여 DL DMRS를 CDM으로 인코딩한 후 송신하도록 설계하여 시스템을 구현하였다.

4. 안테나 캘리브레이션 알고리즘

안테나 캘리브레이션 알고리즘은 송신 안테나 캘리브레이션과 수신 안테나 캘리브레이션으로 나뉜다. 원래 캘리브레이션은 안테나를 포함하는 총 18개의 송수신 경로에서 이득, 위상, 시간지연이 동일하도록 맞춰주는 과정을 의미하며 제대로 캘리브레이션이 수행되지 않는 경우 빔포밍 역시 제대로 동작하지 않는다. 본 연구에서는 안테나를 제외하고 그 전 단까지를 캘리브레이션 하는 것을 목표로 하였다. 본 안테나 캘리브레이션을 수행하는 구조는 Fig. 7과 같다.

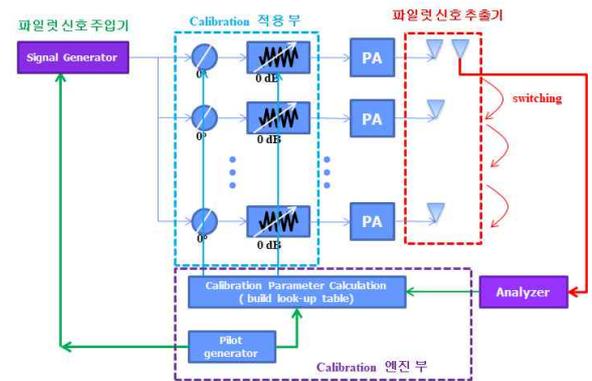


Fig. 7 Antenna Calibration Algorithm

안테나 캘리브레이션은 전송 신호를 파일럿으로 이용하여 수행한다. 위의 블록도와 같이 송신 신호가 전송되면 캘리브레이션을 수행하고자 하는 안테나 경로의 신호를 다시 되먹임하여 기저대역 디지털 신호로 변환한다. 변환된 신호를 통해 각 경로의 시간지연, 이득, 위상을 측정할 수

있고 이 값들을 기준 경로와 동일한 값이 되도록 캘리브레이션을 수행한다. 위의 구조를 통해서 디지털 신호처리를 이용한 각 경로 별 캘리브레이션을 수행할 수 있다. 송신부 캘리브레이션의 경우 파워 앰프의 특성 또한 중요한 요소로써 되먹임 루프에 포함되어야 한다[6].

만약 되먹임 경로를 시스템에 통합하여 설계할 수 있다면 서비스 중에도 지속적으로 캘리브레이션을 수행할 수 있어 항상 정확한 빔포밍을 수행할 수 있다. 본 연구에서는 3GPP LTE/LTE-A의 CRS[4] 신호를 사용하였으며, 실제 실험을 통해 캘리브레이션이 정상적으로 수행됨을 확인하였다.

최적의 하이브리드 빔포밍을 수행하기 위해서는 채널 정보가 필요하다. 앞서 설명했던 빔 탐색 과정에서 빔 번호 및 채널에 대한 정보를 얻을 수 있다. 이 정보가 얻어지면 이론적인 최대 전송속도를 계산할 수 있다. 2x2 하이브리드 MIMO(Multi Input Multi Output) 환경에서 가장 최대의 전송속도를 얻을 수 있는 빔 번호를 선택하고 전송속도를 최고로 높일 수 있는 2 x 2 MIMO 기술을 적용하여 최적의 하이브리드 빔포밍 기술을 완성한다.

5. LTE 유사 구조 2x2 MIMO 베이스밴드 모델

프레임 구조는 Fig. 8과 같다. 프레임의 총 길이는 10ms로서 5ms의 길이를 가지는 하프 프레임 2개로 나뉘게 된다. 하프 프레임은 1ms의 길이를 가지는 서브프레임 5개(특수 서브프레임의 길이도 1ms)로 나뉘게 된다. 특수 서브프레임의 D,G,U는 다음과 같은 이름을 지닌다. D는 DwPTS(Downlink Pilot Time Slot)이며, G는 GP(Guard Period) 그리고 U는 UpPTS(Uplink Pilot Time Slot)란 이름을 지니고 있다. 이러한 특수 서브프레임은 GP를 기준으로 하여 다운링크와 상향링크로 나뉘게 된다. 이때 특수 서브프레임의 DwPTS와 앞의 서브 프레임(서브프레임 0과 서브프레임 5)은 항상 다운링크로 이용된다. 특수 서브프레임의 UpPTS와 서브프레임 2는 항상 상향링크로 이용된다. 이러한 프레임 구조는 설정 조건에

따라 특수 서브프레임을 제외한 나머지 서브프레임을 상향링크 또는 다운링크로 이용한다[6].

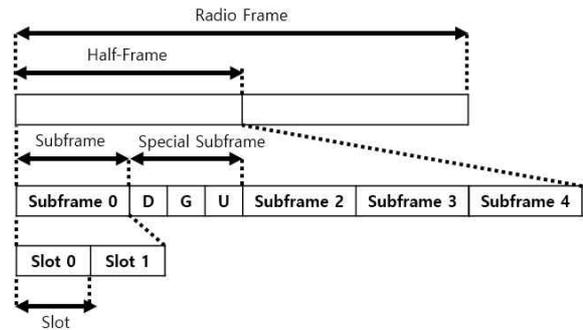


Fig. 8 Frame Structure

본 연구에서 LTE 기반 베이스밴드 시스템에서 검증하고자 하는 주요 기능은 비트와 데이터 생성, 채널 코딩, 모듈레이션 그리고 MIMO 다중 안테나 기술이다.

LTE 기반의 베이스밴드의 기능을 지원하기 위한 채널 코딩은 code rate를 1/2, 1/3, 2/3을 지원하도록 하였으며 모듈레이션은 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying), 16/64 QAM(Quadrature Amplitude Modulation)으로 구성하였다.

송신단에서는 antenna selection에 기반한 송신 이득을 달성할 수 있으며, 수신단에서는 2개의 다중 안테나 diversity 이득을 얻을 수 있도록 MRC(Maximum Ratio Combining) 수신기를 구성하였다.

모뎀 설계를 위해 선행되어야 하는 단계로 시스템에 대한 시스템 사양을 파악하고 전체 시스템에서의 요구되는 성능(Performance)을 파악한다. 본 연구에서는 RF(Radio Frequency)와 BBA(Baseband Analog) 부분을 제외한 모든 부분에 대해 하이레벨 모델링을 통해 시스템을 구성하였다. 이 과정을 통하여 전체 시스템의 구조와 규격을 잡고, 각종 세부 모듈에 대한 알고리즘을 최적 설계하며, 실제 구현을 고려한 최종 사양을 결정하였다.

전체 시스템의 구조와 규격은 총 네 가지로 다음과 같다.

첫 번째는 비트사이즈 설계로서 설계된 알고리즘의 하드웨어 구현을 위한 각 블록별 데이터 패스의 비트사이즈를 결정하는 단계이다. 가능하면

주어진 시스템 성능을 만족하면서 최소한의 하드웨어 리소스를 사용할 수 있도록 하기 위함이다.

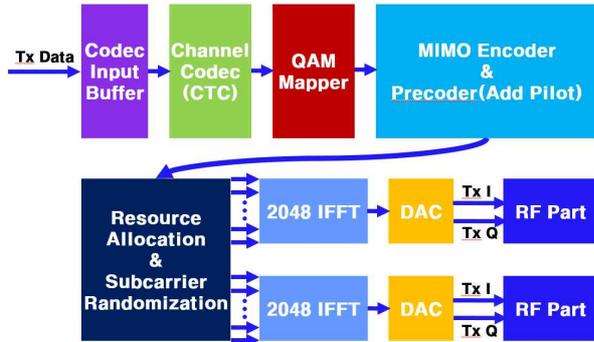


Fig. 9 2x2 MIMO Transmit Modem

두 번째는 고정 소수점 시뮬레이터로서 구현될 시스템의 성능 예측과 동작 검증을 위한 기준 모델이 된다. 이 단계를 통하여 실제 하드웨어로 구현되었을 때의 타이밍, 블록 간 인터페이스, 하드웨어 리소스 예측 등이 가능하며 특히 모뎀의 게이트 레벨 설계에 대한 검증 및 디버깅 툴을 제공한다. 즉, 고정 소수점 모델은 실제 구현될 시스템과 가상의 동일 시스템으로 생각할 수 있으며 구현을 위한 레퍼런스 모델이 된다.

세 번째로는 소프트웨어, 펌웨어 그리고 하드웨어 분할 방식이다. 이는 시스템의 모뎀 각 부분에 대해 성능 요구 조건과 복잡도 등을 고려하여 하드웨어, 펌웨어, 혹은 소프트웨어 구현 중 어느 방법이 최적의 선택인지를 선택하는 과정이다. 이때, 고려되는 요소로는 하드웨어 복잡도, 컨트롤 유연성, 디자인 고도화 그리고 필드 파라미터 적용성 등을 고려하여야 한다. 이 과정은 모든 종류의 핵심 시스템 설계 단계 중의 하나로 많은 경험과 이론적 토대를 필요로 한다.

마지막은 테스트 벡터 생성으로 각 모듈 및 통합 시스템의 구현 후 검증을 위한 테스트 벡터를 추출한다.

이러한 설계를 거쳐 구현된 LTE 2x2 MIMO 모뎀의 주요 블록은 Fig. 9, Fig. 10과 같다.

구현된 모뎀의 주요 블록은 다음과 같다. 초기 획득 장치는 무선 통신 모뎀 설계에 있어 가장 중요한 기능이다. 아무런 시스템 정보가 없는 상황에서 무선 단말이 어떻게 시스템 동기를 획득하

느냐를 말하는 것으로 초기 획득 기능은 동기 획득 이후에도 지속적인 동기 유지, 또는 동기 상태의 업데이트를 위하여 계속적으로 혹은 간헐적으로 실행이 되어야하기 때문에 많은 전력 소모를 요구한다. Fig. 11은 동기부 블록에 대한 세부 구현 구조를 나타낸다.

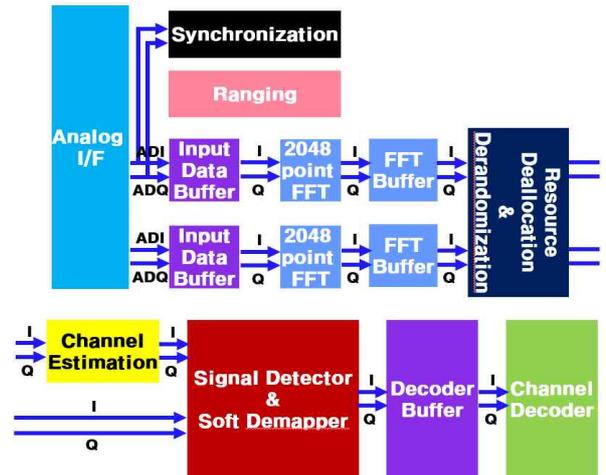


Fig. 10 2x2 MIMO Receive Modem

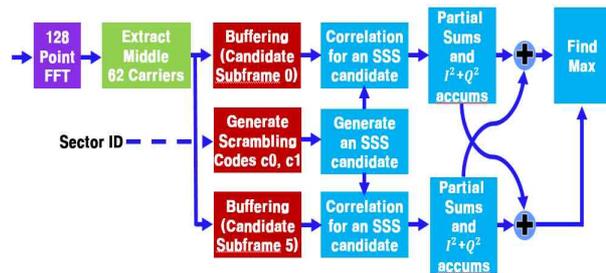


Fig. 11 SSS Extract Block Diagram

LTE 유사 베이스밴드 모뎀으로써 프레임 구조는 3GPP LTE와 같은 구조를 따른다. 따라서 동기부 역시 PSS(Primary Synchronization Signal), SSS(Secondary Synchronization Signal), CRS(Cell Reference Signal) 탐색을 통한 3단계 계층적 구조로 구성되어 있다. Fig. 11은 그 중 2단계인 SSS 탐색에 기반한 동기부의 세부 구조를 나타낸 것이다. SSS 추출에 앞서 PSS를 통해 5ms 타이밍을 알게 되었기에 PSS 신호에 대비하여 고정 오프셋 위치에 존재하는 SSS의 위치를 보다 자세히 알게 된다. 이를 기반으로 프레임구

조 상 서브프레임 0번과 서브프레임 1번의 마지막 심볼에 위치하는 SSS를 상관관계를 통해 추출해내는 것이다.

주파수 오프셋 보정은 흔히 AFC(Automatic Frequency Control)라고 알려져 있는 블록으로써 원하는 채널 도플러나 오실레이터의 오차로 인한 주파수 오차를 보정하여 주는 블록으로 통신 시스템의 수신 성능에 지대한 영향을 끼친다. 특히, 무선 환경에서는 더더욱 중요한 역할을 담당하는 부분이다.

캐리어 복구는 캐리어 신호의 위상을 추정하여 보상하는 블록으로써 coherent 시스템의 경우에 시스템 성능 향상을 위하여 중요한 역할을 한다. 일반 통신 시스템에 필수적인 기본 블록의 하나이며 여러 가지 형태의 설계가 가능하다. 특히, 외부적으로 드러나지 않고 내부적으로 다른 블록 내에서 자연스럽게 이 블록을 흡수하도록 설계할 수도 있다.

타이밍 복구는 시스템의 동기 획득과 관련이 있는 또 다른 중요한 부분으로, 이 블록 역시 일반 통신 시스템의 필수 기능 중의 하나이다. 특히, 무선 환경과 같은 채널 상태가 상대적으로 변화가 심하고 좋지 않은 환경 하에선 더욱 세심하게 설계되어야 한다.

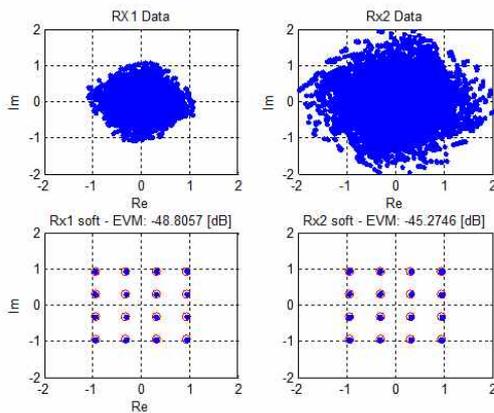


Fig. 12 Simulation Result

무선 채널은 시스템의 동작 환경에 따라 다른 하나 일반적으로 변화와 왜곡이 심한 좋지 않은 채널이다. 무선 통신의 핵심은 이러한 좋지 못한 채널 환경을 진보된 통신 신호처리 알고리즘을 통하여 수신 성능의 향상을 꾀하는 것이다. 이

러한 진보된 통신 알고리즘들의 중요한 핵심 중의 하나가 채널 추정 블록이며 이를 통해 채널 상의 에러나 변화를 보상하여 수신 데이터 복조 성능을 향상시킬 수 있다.

변조 방식은 QPSK, 16/64 QAM 세 가지의 변조 방식을 지원하며 20MHz BW 기준 2048-point FFT(Fast Fourier Transform) 블록과 함께 OFDM 변조를 수행하는 블록이다.

MIMO 코딩/디코딩 블록은 본 과제의 가장 핵심적인 블록으로써 총 16가지 precoding matrix를 지원하며 수신부의 경우 MRC(Maximum Ratio Combining)를 지원하도록 되어 있다. 동시에 Alamouti code에 기반한 SFBC(Space-Frequency Block Codes)를 지원하도록 구현하였다. MIMO-SM(Spatial Multiplexing) 지원을 위하여 QR decomposition 기반의 일종의 QRM(QR decomposition with M-algorithm) 알고리즘으로 sphere decoding 방식에 근간한 MIMO detection 블록을 구현하였다.

구현에 앞서 전체 LTE 유사구조의 베이스밴드 모델을 위한 시뮬레이터를 개발하였다. Fig. 12는 PED-A, 시속 3km/h 채널상황에서 2x2 설정에 대한 16 QAM 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. 완벽하게 각각의 안테나에서 2개의 독립적인 신호를 복원해 내고 있음을 볼 수 있다.

6. 실험 및 성능평가

우선 자체 제작 능동위상배열안테나부, 1.7 GHz RF부 및 USRP-RIO[7] 등을 통합한 전체 시스템의 기본 성능 파악을 위하여 케이블로 송신부와 수신부를 연결한 후, 수신부의 정상도를 통한 EVM[8]을 측정된 결과 최대 32dBc를 얻었다.

본 논문에서 제안하는 3GPP LTE/LTE-A 기반 2x2 MIMO 지원이 가능한 하이브리드 빔포밍 시스템의 성능 평가를 위하여 다중 경로의 확보가 상대적으로 쉬운 실내에 Fig. 14와 같은 실험 환경을 꾸며 시험하였다.

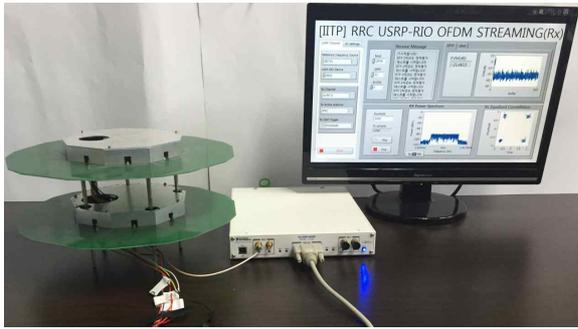


Fig. 13 Integrated Hybrid Beamforming System

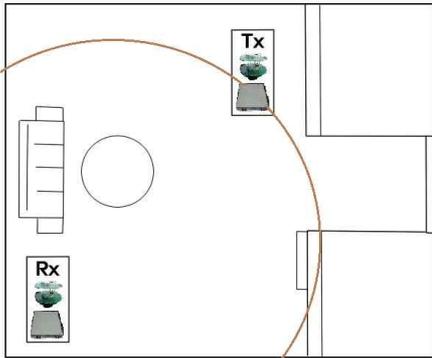


Fig. 14 Test Environment

8평 크기의 사무실 안에 책상, 의자 등의 장애물이 중간에 존재하는 환경에서 송신부 출력을 조절하여 수신부와의 거리가 통달거리에 근접하도록 하였다. 송신부라 할지라도 빔 탐색 및 추적을 위하여 앞에서 설명한 LTE TDD 프레임 구조에 기반하여 상향링크를 통한 제어 정보를 수신이 가능하도록 하였다. 하향링크에는 동일한 LTE TDD 프레임 구조에 기반한 HD급 동영상을 송신한다.

2x2 MIMO를 위한 다중 경로 확보를 위하여 송신부 2x9 능동위상배열안테나 중 하나는 수신부와 LOS 방향으로 설정하고, 다른 하나는 LOS 방향과 90도를 이루는 벽면을 향하도록 설정하였다.

시험 결과 Fig. 15에서 보는 바와 같이 QPSK변조 방식으로 통신이 가능하던 환경에서 16QAM으로 고용량 HD 동영상을 2개의 스트림으로 문제없이 부드럽게 전송됨을 확인할 수 있다. 수신 성상도를 볼 때 약 25dBc에 준하는 EVM을 얻을 수 있었다.

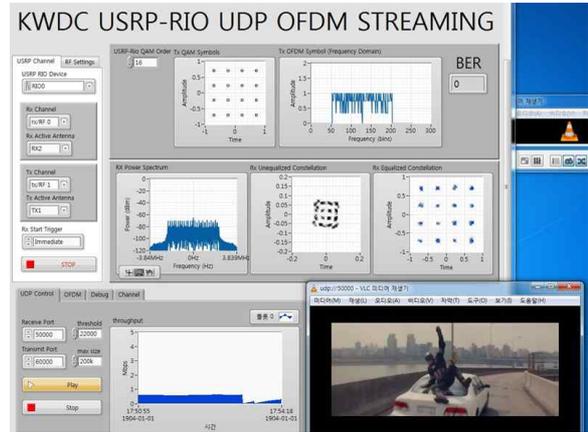


Fig. 15 HD Video Transmission Test

7. 결론

본 논문에서는 1.7 GHz의 주파수 대역에서 3G PP LTE 시스템을 기반으로 한 하이브리드 빔 포밍 통신시스템을 구현하여, 안정적인 고속의 양방향 HD 비디오를 스트리밍 할 수 있을 정도로 높은 EVM 성능을 보여주는 것이 가능함을 보였다. 추후 논문에는 현재 시스템에서 구현되지 않은 파워 앰프와 빔포밍 기술을 적용한 연구 결과를 게재할 것이다. 현재의 시스템에서도 뛰어난 성능을 보여주었기에 추후의 연구에서 통합된 시스템은 통신거리 증대와 성능 향상이 기대된다.

본 연구를 통해 1.7 GHz 및 그 이상의 밀리미터파 대역에서도 능동위상배열안테나에 기반한 하이브리드 빔포밍 시스템이 실제 이동통신 분야에 적용 가능할 수 있음을 기대할 수 있게 되었다. 따라서 해당 시스템과 같은 능동위상배열안테나 관련 기술 연구를 통해 핵심 기술을 확보한다면, 경쟁력 있는 5G 원천 기술을 확보할 수 있는 기대효과를 얻을 수 있다.

References

- [1] 3GPP Spec Series 38.200 Series. [Online]. Available : <http://www.3gpp.org>
- [2] Kim M, Park J, Nah M, and Cho S

“Development Trend of 5G Mobile Communication,” The Journal of KICS, Vol. 32, 9(1), pp. 46-54, 2015.

[3] Liu D, Wang L, Chen Y, Elkashlan M, Wong K, Schober R, and Hanzo L “Use Association in 5G Networks: A Survey and an Outlook,” IEEE Communications Surveys and Tutorials, Issue 99, pp. 1-27, 2016.

[4] 3GPP Spec Series 36.200 Series. [Online]. Available : <http://www.3gpp.org>

[5] Park S, Kim S, Son J, and Shin H “Design of 4x4 Butler Matrix Based 28GHz Switching Beam Forming Antenna Systems,” The Journal of KIEES, Vol. 26, No. 10, pp. 876-884, 2015.

[6] Deepa T and Kumar R, “Performance of Comparison Metrics on M-QAM OFDM Systems with High Power Amplifier,” 2012 World Congress on Information and Communication Technologies, pp. 909-914, 2012.

[7] NI USRP RIO Page. [Online]. Available : <http://www.ni.com>

[8] Wang Y, Wang J, Yi K, and Tian B, “PAPR Reduction of OFDM Signals with Minimized EVM via Semidefinite Relaxation,” IEEE Trans. on Vehicular Technology, Vol. 60, Issue. 9, pp. 4662-4667, 2011.

[9] Jung M, Lee J, and Jung T, “High Performance Mobile Transmission Rate and Physical Layer Linear Error Correction Performance Verification,” Journal of KSIIS, Vol. 22, No. 3, pp. 19-26, 2017.

[10] Won H, “Channel Selective Relay-based Transmission System for Broadband Wireless Communications,” Journal of KSIIS, Vol. 14, No. 4, pp. 8-15, 2009.



이 광 석 (Kwang-Suk Lee)

- 광운대학교 전자통신공학과 공학사
- 광운대학교 전자통신공학과 석사과정

• 관심분야 : 레이더 신호처리, 빔포밍시스템, 무선통신, 통신신호처리



김 동 현 (Dong-Hyun Kim)

- 연세대학교 전기전자공학과 공학사
- 연세대학교 전기전자공학과 공학석사

• 국방과학연구소 2기술연구본부
• 관심분야 : 공중 중계 시스템, 데이터링크



오 혁 준 (Hyuk-Jun Oh)

- 정회원
- 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학사
- 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학석사

• 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학박사
• 미국 Stanford University 박사후과정
• 미국 퀄컴 QCT 세계최초 3GPP UMTS 상용화 팀 멤버
• 광운대학교 전자통신공학과 교수
• 관심분야 : 무선통신, 통신신호처리, 군통신시스템, 데이터신호처리, 레이더 신호처리