

MOBILE WIMAX 기반 향상된 다중 안테나 시스템의 고정소수점 설계

김 학 민, 안 치 영, 윤 유 석, 정 재 호, 최 승 원*
(Seung-Won Choi, Hak-Min Kim, Chi-Young Ahn, Yu-Suk Yun and Jae-Ho Jung)

Abstract : In this paper, we introduce a platform of advanced multiple antenna system based on orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM). The advanced multiple antennas have beamforming gain using array antenna. In array antenna systems, received signal has phase delay caused distance of each antennas, therefore it should compensate with optimum weight vector which calculated by Lagrange algorithm. To implement the presented above procedures using Digital Signal Processor (DSP), we should fixed-point design. The performance of implemented platform is verified through MATLAB® simulations with various signal environments.

Keywords: OFDM, array antenna systems, beamforming, fixed point, DSP, MATLAB

I. 서론

OFDM 기반의 이동통신 규격인 IEEE 802.16e는 이동 중 고속의 인터넷 서비스 제공을 목표로 하고 있다. 이 규격은 초고속 멀티미디어 서비스 제공을 위하여 데이터 전송률 (Throughput)과 데이터 전송속도 (Data rate)를 높이기 위한 다중안테나 송수신기술을 포함하고 있다. MIMO기술은 송수신 단에서 다수의 안테나를 사용하여 추가적인 주파수 할당이나 송신 전력 증가 없이도 데이터 전송률을 높이는 기술이다. 하지만 SM환경에서의 MIMO기술은 클러스터 구조상의 특징 때문에 SISO에 비해 채널 추정기 불리하다. 이러한 단점을 보완하기 위해 다양한 채널 추정 알고리즘이 고안되고 있다.

MIMO에서는 하나의 클러스터 당 하나의 파일럿만이 존재하기 때문에 linear interpolation으로 얻은 채널 정보는 정확하지 않다. 클러스터의 파일럿 개수를 늘려 linear interpolation의 정확도를 높이기 위해 인접 심볼에 있는 파일럿을 복사하는 방법을 고려할 수 있다. 고속의 이동통신 환경에서 심볼간에는 주파수 선택적 페이딩을 겪기 때문에 시간 축으로 linear interpolation을 이용하여 파일럿을 복사한다. 이것이 바로 2D linear interpolation이다. 이렇게 되면 부반송파의 채널 정보를 보다 정확하게 추정하기 때문에 BER 성능의 개선을 기대할 수 있다.

또한 업링크에서 얻은 단말의 웨이트 정보를 이용하여 라그랑주 알고리즘으로 웨이트 벡터를 계산하고 다운링크에서 이를 송신에 이용한다. MIMO 인코딩은 Spatial Multiplexing을 이용하였고, MIMO 디코딩 알고리즘은 Zero Forcing을 이용하였다. 채널 추정 알고리즘은 Two-dimensional Interpolation을 사용하였다.

일반적으로 부동 소수점 설계의 BER성능보다 고정 소수점 설계의 BER성능이 더 나은 성능을 보이는데 앞에서 기술한 부분을 DSP로 구현하여 시뮬레이션 결과를 고정 소

수점 설계와 부동 소수점 설계로 나누어 비교하였고 채널 추정에 따른 성능의 변화를 그래프로 그려보았다.

II. 시스템 모델링

MIMO 시스템의 고정 소수점 설계를 위해 8개의 송신 안테나에서 2개의 수신 안테나로 각각 4개의 빔을 형성하는 8x2 MIMO 시스템의 모델을 구상하였다. 본 논문의 시스템은 IEEE 802.16e 에서 Mobile WiMAX 기반으로 설계 되었다.

1. MIMO 시스템

MIMO 시스템은 송신 안테나와 수신 안테나가 여러 개로 구성되어 적절한 디코딩 기술을 통해 다이버시티 이득을 얻거나 데이터 전송률을 높일 수 있다. Space Time Coding(STC)는 다이버시티 이득을 얻을 수 있고 Spatial Multiplexing(SM)은 시스템의 데이터 전송률을 높일 수 있다.

2. Spatial Multiplexing

SM은 각각의 송신 안테나에 서로 다른 데이터를 동시에 전송하여 추가적인 대역폭 없이 시스템의 데이터 전송률을 증대시킬 수 있는 방법이다. SM에 직렬로 입력되는 심볼은 SM 인코더를 거쳐 병렬로 변하여 각각 전송된다. 수신 측의 SM 디코더는 적절한 알고리즘을 사용하여 수신된 신호로부터 전송된 신호를 추정한다.

복호 알고리즘으로는 maximum likelihood detection 알고리즘과 zero forcing detection 알고리즘이 있다. ML 알고리즘은 수신된 신호와 송신 가능한 신호의 correlation이 가장 큰 신호를 추정하는 것으로서, 최적의 성능을 가지는 알고리즘이다. 그러나 correlation이 가장 큰 신호를 추정하기 위한 연산량이 많아진다. ZF은 채널 행렬의 역행렬을 곱하여 송신 신호를 검출하는 알고리즘이다. ML에 비해 연산량이 적지만 잡음이 추정된 채널 값에 의해 증폭되어 시스템의 성능이 저하된다. 본 논문에서는 알고리즘 수행 시의 연산량을 고려해서 Zero Forcing을 이용해서 시스템을 구현하였다.

III. 채널 추정

MIMO는 여러 가지 요인으로 단일 안테나인 SISO보다 성능의 우위에 있지만, 클러스터의 구조상의 이유로 채널 추정

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2008. x. xx., 채택확정 : 2008. x. xx.

최승원 : 한양대학교 전자통신컴퓨터대학원

(choi@dsplab.hanyang.ac.kr)

※ 본 연구는 대학 IT 연구센터 육성지원사업의 연구결과로써 HY-SDR연구센터의 연구비 지원으로 수행되었음.

에 불리하다.

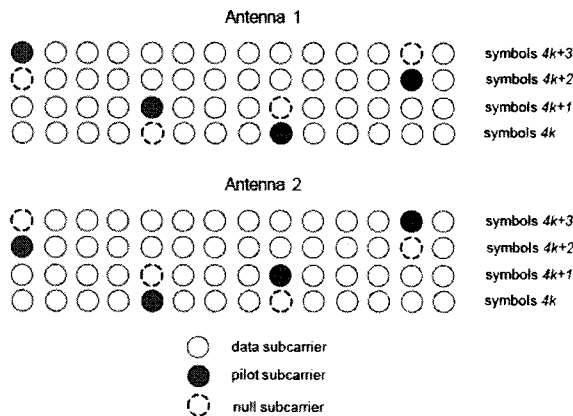


그림 1. MIMO 시스템의 클러스터 구조

클러스터는 주파수 축으로 14개, 시간 축으로 2개의 부반송파로 이루어져 있다. SISO 시스템은 14개의 부반송파 중 2개의 부반송파에 파일럿을 할당하여 클러스터 당 총 4개의 파일럿 신호를 가지고 있다. 반면에 두 개의 안테나를 사용하여 데이터를 송수신하는 MIMO에서는 파일럿이 심볼에 1개씩 하나의 클러스터에 총 2개의 파일럿만 존재하게 된다. 이것은 채널 추정하기 위해 필요한 정보가 SISO에 비해 절반으로 줄어드는 것을 의미한다. 이러한 단점을 보완하기 위해서 2D linear interpolation 알고리즘이 고안되었다. 2D linear interpolation은 파일럿을 이용해 시간 축으로 채널 추정을 실행한 후 추정된 채널 값을 이용해 주파수 축으로 채널 추정을 함으로써 채널 전체에 대한 채널 값을 추정하는 방식이다.

IV. 고정 소수점 디자인

1. 시스템 블록 다이어그램

매트랩에서 전송되는 데이터는 부동 소수점 형태의 변수인 반면, TI(Texas instrument)사에서 제공하는 TMS320C6416T DSP 보드에서는 고정 소수점 연산으로 이루어지게 된다. 따라서 매트랩에서 생성된 부동 소수점 형태의 변수를 고정 소수점 형태의 변수로 바꾸어 줄 필요가 있다. 그림 2에 부동 소수점 연산에서 고정 소수점 연산으로 바꾸는 원리를 간략하게 나타내었다.

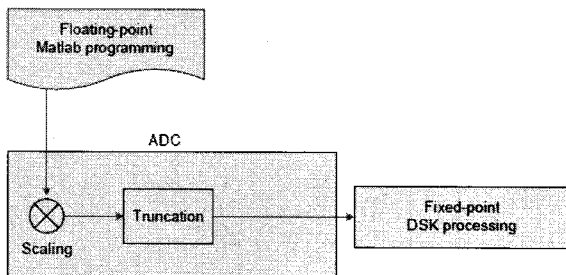


그림 2. 부동 소수점 변수의 고정 소수점 변환

이상의 내용을 바탕으로 채널 추정과 SM 디코딩의 구현을 위한 블록 다이어그램을 그림 3에 나타내었다.

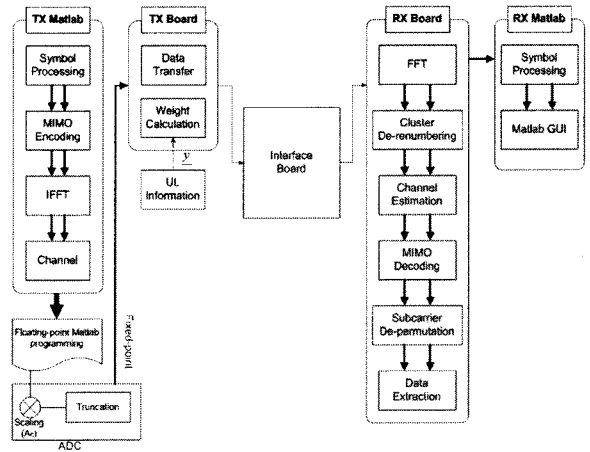


그림 3. 시스템 블록 다이어그램

구현된 시스템은 크게 5개의 부분으로 나눌 수 있다. 송신 측 매트랩, 송신 측 DSP보드, 인터페이스 보드, 수신 측 DSP보드, 수신 측 매트랩으로 이루어져 있다.

송신 측 매트랩(PC)에서는 심볼 프로세싱, MIMO 인코딩, IFFT를 한 후에 채널을 거쳐서 송신 측 DSP로 데이터를 전송한다. 데이터를 받은 송신 측 DSP는 수신 측 DSP로 전송하기 위해 인터페이스 보드로 데이터를 전송한다. 인터페이스 보드를 거쳐 수신 측 DSP로 넘어 온 데이터는 FFT, 채널 추정, MIMO 디코딩 등을 거쳐 수신 측 매트랩으로 보내진다. 마지막으로 수신 측 매트랩에서는 수신한 데이터를 송신 데이터와 비교하여 성상도(constellation), BER 성능 등의 시뮬레이션 결과를 볼 수 있게 해준다.

2. 고정 소수점 디자인 시의 고려 사항

$$x(k) \rightarrow Q \rightarrow x'(k) \rightarrow x(k) + n_{q,\alpha}(k) \rightarrow x'(k) = x_q(k) + n_{q,\alpha}(k)$$

그림 4. 양자화 오류

위 그림4는 부동 소수점 변수를 고정 소수점으로 변환함으로써 발생하는 양자화 오류를 나타낸 그림이다. $X(k)$ 는 정보 데이터, $x'(k)$ 는 고정 소수점으로 변환하면서 발생된 잡음이 섞인 정보 데이터이다. 고정 소수점 연산을 위해 곱해지는 스케일 (Scale)값은 실험을 통해서 찾게 되는데 특히 채널 추정을 할 때 스케일 값의 영향을 많이 받게 된다. Linear interpolation을 통해 구해지는 채널 값은 잘못된 스케일 값을 곱하여 오버플로우가 발생하게 되면 그 주변의 채널 값도 같이 영향을 받기 때문에 성능의 저하가 생기게 된다. 따라서 양자화 오류를 줄이기 위해 각각의 채널 값을 고려하여 최적의 스케일 값을 곱하고 소수점 이하를 제거함으로써 양자화 오류로 인해 손실되는 정보를 최소화하게 된다. 이 때 양자화 오류로 인해 발생하는 잡음과 오버플로우로 왜곡되는 정보는 채널 추정의 정확도를 떨어뜨리고 전체적인 성능저하로 나타난다. 이러한 오류로 인해 왜곡되는 것은 트레이드

오프 관계에 놓여있기 때문에 여러 시행착오를 거쳐 적당한 최적의 스케일 값을 찾는 것이 중요하다.

3. 빔형성 알고리즘(beamforming algorithm)의 고정 소수점 설계

본 절에서는 정규 라그랑제 빔형성 알고리즘을 고정 소수점으로 설계하는 방법을 간략히 설명한다. 자세한 사항은 참고문헌을 참고한다. [5]

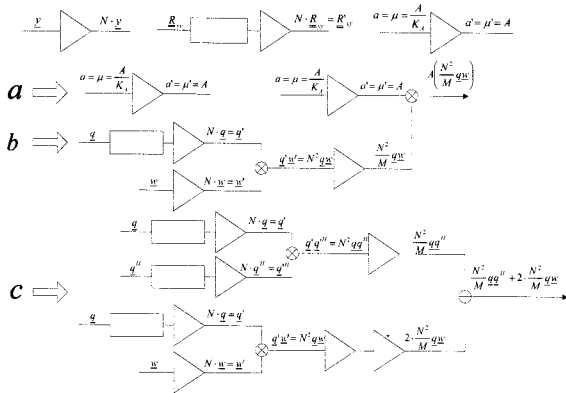


그림 5. 정규 라그랑제 알고리즘의 고정 소수점 설계

그림 5에서 N은 입력된 수신 신호 y의 부동소수점 값을 고정 소수점 값으로 변형하기 위해 곱해주는 정수(Integer)이다. K_A 역시 스케일을 위한 정수이다. 그리고 M은 스케일된 값이 고정 소수점 형태의 변수가 표현할 수 있는 범위를 넘지 않도록 하기 위해 나눠주는 값이다. M을 2의 승수로 하면 간단한 쉬프트(Shift)연산으로 나눴기를 할 수 있다.

실제 구현 시에 중요한 것은 N, M 등과 같은 스케일링 파라미터(Scaling Parameter)를 알고리즘에 맞춰 최적의 값으로 구하는 것이다. 그리고 최적의 스케일링 파라미터를 구하기 위해서는 수많은 시행착오가 필요하다.

V. 시뮬레이션 결과

앞에서 소개한 플랫폼의 성능을 분석하기 위해 부동소수점 연산 결과와 고정 소수점 연산 결과를 비교하였다.

시스템은 IEEE 802.16e 기반의 8개의 전송 안테나와 2개의 수신 안테나가 있는 8x2 MIMO 시스템이고 Spatial Multiplexing 환경이다. 데이터는 1개의 싱글패스로 수신하는 경우와 6개의 멀티패스로 수신하는 경우를 고려하였다. MIMO 디코딩은 Zero Forcing detection 알고리즘을 이용하였고 변조 방식은 16QAM, 채널 코딩은 컨볼루션 터보 코딩(convolutional turbo coding), 코딩 레이트(coding rate)는 uncoded 와 1/2 code rate 를 고려하였다. 다음 그림 6, 7은 동일한 시뮬레이션 환경에서 부동 소수점 연산과 고정 소수점 연산의 BER 결과를 나타낸 그래프이다.

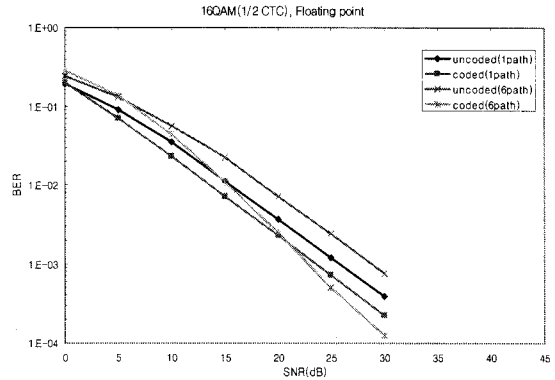


그림 6. 부동 소수점 시뮬레이션 결과

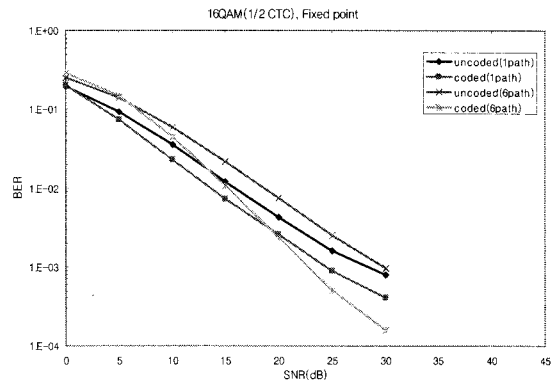


그림 7. 고정 소수점 시뮬레이션 결과

시행착오를 거쳐 얻은 최적의 스케일 값을 이용하여 구현된 고정 소수점 플랫폼의 BER 성능과 컴퓨터 시뮬레이션의 부동 소수점 연산의 BER 성능을 비교해 보면 성능차이가 약 1dB 차이 나는 것을 살펴볼 수 있다. 구현된 고정 소수점 플랫폼의 성능이 컴퓨터 시뮬레이션 결과보다 나쁜 것은 양자화 잡음과 채널 추정 시에 오버플로우에 의해서 추정 에러가 발생한 결과이다.

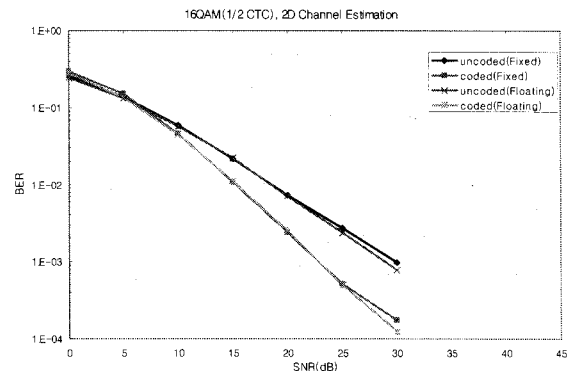


그림 8. 부동 소수점과 고정 소수점 연산의 비교

위 그림 8은 부동 소수점 연산과 고정 소수점 연산을 비교한 그래프이다. 실제 위 그래프를 비교해 보면 30dB 지점에서는 두 결과의 차이가 나타나는 걸 알 수 있다. SNR이 좋지 않은 지점에서는 양자화 오류가 큰 영향을 나타내지 않지만 SNR이 좋아짐에 따라서 채널 잡음의 영향이 줄어들어 고정

소수점 연산 시 발생하는 양자화 오류의 영향이 나타난다고 볼 수 있다.

VI. 결론

이 논문에서는 IEEE 802.16e 기반의 MIMO 시스템에서 고정 소수점 설계 방법을 소개하고 고정 소수점 기반의 플랫폼의 시뮬레이션 결과와 부동 소수점 기반의 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 비교하였다. 고정 소수점 기반 플랫폼의 성능이 부동 소수점 기반 컴퓨터 시뮬레이션의 성능 결과보다 약간의 성능 저하가 있는 것으로 나타나는데, 이것은 고정 소수점 디자인을 위한 양자화에서 발생하는 양자화 잡음과 오버플로우에 의해 발생하는 절삭 오류에 의해 나타나는 현상이다. 고정 소수점 설계를 함으로써 설계의 복잡도가 증가하고 양자화 오류가 발생하게 되지만 고정 소수점 연산이 부동 소수점 연산의 경우보다 데이터 처리 속도 면에서 월등히 우수하기 때문에 실제 구현 시엔 고정 소수점 설계가 전체 시스템의 속도 향상 측면에서 유리하다. 또한 FPGA를 사용하여 설계를 할 경우에도 부동 소수점으로 설계하게 되면 더 많은 내부 게이트를 필요로 하게 되어 성능저하와 가격상승의 요인이 된다.

따라서 본 논문에서는 최적의 스케일값을 구해 양자화 오류를 최소화 함으로써 부동 소수점 설계와의 BER 성능의 오차를 줄이고 시스템의 처리 속도를 향상시키는 고정 소수점 기반 플랫폼을 구현하였다.

VI. Acknowledgement

본 연구는 대학 IT 연구센터 육성지원사업의 연구결과로써 HY-SDR 연구센터의 연구비 지원으로 수행되었음.

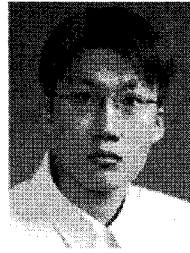
참고문헌

- [1] Naofal Al-Dhahir and John M. Cioffi, "On the Uniform ADC Bit Precision and Clip Level Computation for a Gaussian Signal," IEEE Trans. on Signal Processing, Vol. 44, No. 2, Feb. 1996.
- [2] Marijan Leban and Jurij F. Tasic, "A Fixed-Point Quantization Model in the Statistical Analysis of Adaptive Filters," 1998.
- [3] Jan-jaap van de B., Ove Edfors, Magnus Sandell, Sarah Kate Wilson, Per Ola Borjesson, "On Channel Estimation in OFDM Systems," IEEE Vehicular Technical Conference, Vol. 2, pp. 815-819, Jul. 1995.
- [4] Daniel Larsson, Analysis of Channel Estimation Methods for OFDMA, Master Dissertation, KTH, Sweden, 2006.
- [5] Jae-Hwan Kim, "Fixed-Point Design and Performance Analysis of Smart Antenna System for WiBro", 2007.



김 학 민

2007년 남서울대학교 전자전기공학부 졸업
2007년~현재 한양대학교 전자통신컴퓨터대학원 석사과정 재학중.
관심분야는 DSP, SDR, MIMO



안 치 영

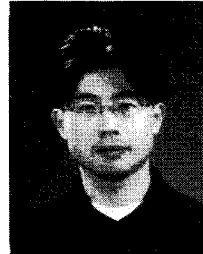
2007년 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 졸업
2007년~현재 한양대학교 전자통신컴퓨터대학원 석사과정 재학중.
관심분야는 MIMO, LTE



윤 유 석

1995년 2월 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 졸업.
1997년 2월 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 석사.
1997년~2004년 삼성전자 통신 네트워크 사업부 수석 연구원

2004년 3월~현재 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 박사과정 재학 중.
관심분야는 SDR, 스마트안테나



정 재 호

1994년 중앙대학교 전자공학과 졸업
1994년 1월~2001년 4월 (주) 데이콤
2001년 University of Minnesota at Twin Cities 전기 및 컴퓨터공학과 석사 졸업

2001년 8월~2005년 7월 삼성전자 디지털미디어연구소 책임 연구원
2005년 8월~현재 KT 인프라연구소 책임연구원
2008년 2월~현재 한양대학교 전자통신컴퓨터대학원 박사과정 재학중.
관심분야는 다중 안테나 기술 (MIMO, Beamforming), 통신시스템 설계, WiBro 및 3G/4G 기술.



최 승 원

1980년 한양대학교 전자공학과(공학사). 1982년 서울대학교 전자공학과(공학석사).
1985년 Syracuse University(공학석사).
1988년 Syracuse University(공학박사).
1992년~현재 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 교수.

관심분야는 Smart antenna, SDR, MIMO