

적응비트로딩 알고리즘을 이용한 MIMO-OFDM시스템의 성능평가

*정 대 훈, *변 건 식
*동아대학교

Performance Analysis of MIMO-OFDM Systems using Adaptive Bitloading Algorithm

*Jung dae-hun, *Byon kun-sik
*Dong-A University

요 약

현재 무선 이동통신의 발달로 고속 신뢰성 높은 데이터 전송을 요구하고 있다. 그러나 무선 이동통신 환경은 데이터 전송 시 지연과 간섭 등에 의해 주파수 선택성 페이딩을 가진다. OFDM은 주파수 선택성 페이딩에 영향을 받는 통신 시스템에서 채용되는 강력한 기술이다. OFDM에 적응 변조와 함께 송수신기에 다중의 안테나를 설치함으로써 채널 지연 확산에 강력히 대응한다. 본 논문의 연구는 MIMO 시스템에 적용된 적응 변조를 가진 OFDM이다. OFDM 각 서브채널의 상태에 따라 최적의 비트값을 할당하고 전력을 제어한다. 본 논문에서 제안한 적응비트로딩 MIMO-OFDM 시스템을 사용하면 현재의 시스템보다 더 좋은 BER을 가지며 고속 통신할 수 있다.

I. 서 론

무선이동통신에서 다중로에 의한 간섭에 의한 페이딩에 의하여 데이터 전송의 신뢰도가 제약받고 있다. 이러한 주파수 선택성 페이딩을 해결하는 가장 강력한 기술은 FDM기술이다. FDM은 주파수 선택성 채널에서의 신호 전송으로 널리 사용되는 기술이다. FDM은 채널 대역폭을 서브 채널로 분할해서 각 신호를 별개의 캐리어 주파수로 수송함으로써 여러 개의 저속 신호를 송신한다. 수신기에서 신호를 분리하기 위해서 캐리어 주파수는 신호 스펙트럼이 중첩되지 않도록 충분히 이격된다. 또한 필터로 신호를 분리하기 위해 신호 사이에 빈 스펙트럼 영역이 놓여 있어서 시스템의 결과적인 스펙트럴 효율이 낮다. 대역폭 효율 문제를 해결하기 위해, OFDM이 제안되었으며, 이는 신호를 변조하기 위해 직교 톤을 사용한다. 톤은 심볼율과 같은 주파수 간격으로 이격되어 있으며 이는 수신기에서 분리할 수 있다.

이러한 OFDM기술에 적응비트로딩 기술의 적용과 동시에 송수신기에 다중의 안테나를 설치한 MIMO-OFDM은 페이딩뿐 아니라 데이터의 지연에 강력히 대응한다. 이렇게 설계되어진 시스템은 송수신기에 단일 안테나만을 가지는 SISO링크보다 비트 오류 성능이 현저히 개선

되어 데이터 율을 늘일 수 있다. 그러나 MIMO-OFDM은 각 서브채널의 상태는 고려하지 않고 같은 변조를 하여 같은 전력으로 전송함으로써 서브채널의 상태가 좋지 않은 곳에서는 많은 에러를 전송하는 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 본 논문에서는 적응비트로딩 알고리즘을 적용하였다.[1] 적응비트로딩 변조는 비적응 무변조 기술보다 데이터 율을 증가시키는 중요한 기술이다. 적응비트로딩에서 가정은 송수신기에서 채널 지식을 완전히 알고 있다고 가정한다. 이러한 채널지식이 있을 때 송수신기는 성능을 개선하기 위하여 적응비트변조 기술을 가질 수 있다. 즉, N개의 톤으로 구성되는 단일 OFDM심볼로 전송될 원하는 비트 수를 미리 정한다. 그리고 이러한 비트를 전체적인 전송에 최소 에너지가 할당되도록 제어한다.

II. 본 론

1. 시스템 구성도

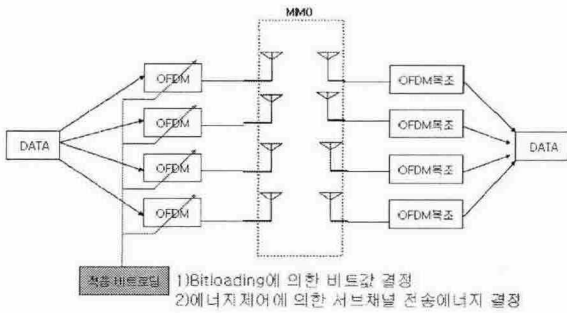


그림. 1 전체적인 시스템 구성도

전체적인 시스템 구성도는 그림. 1에서 보는 바와 같다. 다중의 송수신 안테나를 사용함으로써 MIMO채널을 구성하고 송수신단에 각각 OFDM변조와 복조를 함으로써 MIMO-OFDM시스템을 구성하였다. OFDM변조시 적응비트로딩 기술을 사용하였다.

2. MIMO-OFDM 시스템의 해석

1) 특이치 분해

m 개의 송신 안테나와 n 개의 수신 안테나를 사용하는 MIMO 시스템을 생각하자. 이때, MIMO 채널 응답은 크기 $m \times n$ 행렬로 표현할 수 있다. 여기서 행렬 원소 $h_{j,k}$ 는 송신 안테나 k 에서 수신 안테나 j 까지의 채널 이득을 나타낸다. 만약 여기서 송신기와 수신기에서 완전한 채널 상태 정보를 알고 있다면 간단한 SVD분해를 통하여 MIMO 채널을 병렬의 비간섭 SISO 채널로 분해할 수 있다. 본 논문에서는 채널의 상태 정보를 알고 있다고 가정하고 시스템을 설계하였고 채널정보를 이용하여 SVD분해를 하여 해석하였다. i 번째 톤의 순시 채널 행렬이 특이치 분해를 가지면 다음과 같다.

$$H_i = U_i S_i V_i^* \quad (1)$$

식 (1)에서 U_i, V_i 는 unitary 행렬이고, S_i 는 H_i 의 특이치 대각 행렬이다. 식 (1)을 이용하여 송신기에서 전송하기 전에 먼저 V_i 의 송신 precoding 필터를 사용하고, 수신기에서 복조하기 전에 U_i^* 의 수신 성형 필터를 사용하면 다른 안테나의 간섭을 주는 MIMO채널을 독립적인 SISO채널로 분리 가능하다.[1]

2) 적응비트로딩 알고리즘

가. chow's 알고리즘

- (1) 서브 채널 신호 대 잡음비를 계산하라.
- (2) 다음 식으로 i 번째 서브 채널 비트 수를 계산하라.

$$\tilde{b}(i) = \log_2(1 + SNR(i)/GAP)$$

- (3) $\tilde{b}(i)$ 를 $b(i)$ 이하로 반올림하라.
- (4) $b(i)$ 를 0,1,2,4,6,8(이용할 수 있는 변조 차수에 해당하는)를 취하도록 제약하라.
- (5) 다음 식을 사용하여 초기적으로 할당된 비트 수에 기초한 i 번째 서브 채널의 에너지를 계산하라.[2]
 $e_i(b(i)) = (2^{b(i)} - 1)/GNR(i), \quad GNR(i) = SNR(i)/GAP$
- (6) 각 서브 채널의 에너지 증가표를 만들어라.[2]

$$\Delta e_i(b) = e_i(b) - e_i(b-1) = \frac{2^{b-1}}{GNR}$$

나. B-tighten 알고리즘

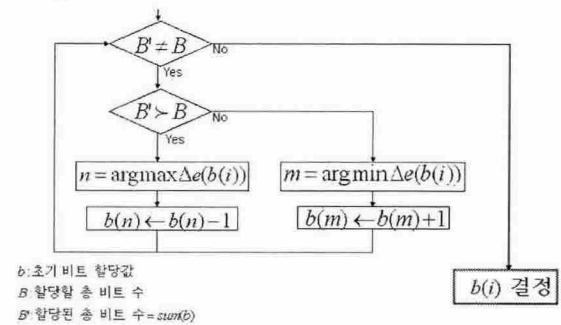


그림2. B-tighten 알고리즘 순서도

그림. 2에서 보는 바와 같이 chow's algorithm에 의해 계산되어진 $b(i)$ 값을 이용하여 최종적인 검토를 한다. 각 서브채널마다 할당되어진 $b(i)$ 값의 합을 B' 로 나타낸다. B 는 할당할 총 비트 수로써 하나의 안테나로 한 번의 전송 시 총 몇 비트를 전송 할 것인가를 설계자가 정한다. 다음의 그림의 예제로 살펴보면 쉽게 이해된다.



그림. 3 B-tighten 알고리즘 예제

그림. 3에서 보이는 것과 같이, 각 서브채널은 n 개로 구성된다. 여기서 각 서브채널의 비트 값에 따른 에너지 증가 값이 dB로 나타나 있다. 먼저 결정된 $b(i)$ 값은 1서브채널은 1bit, 2서브채널은 4bit, 3서브채널은 4bit 그리고 계속하여 n 서브채널은 1bit를 할당받았다고 가정하자. 이들 총 합(B')은 10bit이다. 여기서 우리가 한 번에 전송하

고자 하는 총 비트수(B)는 9bit라고 가정하면 1bit의 값이 더 많이 할당되었다. 따라서 위의 B-Tighten 알고리즘에 의해 할당되어진 1bit의 값을 줄여야만 한다.

여기서 각 채널의 에너지 증가표를 살펴보면 각각 1bit를 줄이는데 시스템이 가질 수 있는 에너지의 여유분은 3번째 서브채널이 8dB로 최대가 됨을 볼 수 있다. 따라서 다른 서브채널의 비트할당 값을 유지한 채 3서브채널의 비트 값을 1bit감소시켜서 최종적으로 할당된 비트 값 b(i)를 얻는다. 새롭게 할당되어진 비트 값 b(i)를 살펴보면 1서브채널이 1bit, 2서브채널이 4bit, 3서브채널이 3bit, n서브채널이 1bit임을 볼 수 있다. 그러나 새롭게 생성된 b(i)값을 살펴보면, 3서브채널의 비트 할당 값이 3bit로써 우리가 M-QAM변조시 정한 0,1,2,4,6,8bit의 값에 일치하지 않음을 볼 수 있다.

따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 마지막으로 resolveTheLastBit 알고리즘을 사용한다.

다) ResolveTheLastBit 알고리즘

resolveTheLastBit 알고리즘은 하나의 비트 위반이 있을 경우 수정해주는 알고리즘이다. 알고리즘의 순서도는 다음과 같다.

- (1) 입력 비트 할당이 비트 제약의 경우 하나 위반을 가진 것을 조사하라.
- (2) 만약 서브채널 v에 하나의 위반이 있다면 서브 채널 v의 값을 강제적으로 조건에 맞는 비트 값으로 재조정 하여라.
- (3) 0이나 1 비트만이 할당된 다른 서브 채널에서 가장 작은 증가를 나타내는 비트를 구하라. 이런 제약을 가지는 이유는, 모든 다른 서브 채널은 2,4,6,8 비트를 가지며, 이들에 단일 비트를 할당하는 것은 비트 제약을 위반하는 것이다. 다음과 같이 놓자.[2]

$$E = \Delta e_j(b(j) + 1) - \Delta e_v(b(v))$$

- (4) 가장 작은 E값을 선택하고 비트 값을 재 할당 하여라.

위의 과정들은 그림. 4에서 더욱 쉽게 이해된다.



그림. 4 ResolveTheLastBit 알고리즘의 예제
 그림. 4는 그림. 3과 연속된 그림으로 살펴볼 수 있다. 새롭게 할당되어진 비트 값 b(i)값에 3서브채널의 값이 3bit로써 원하지 않은 비트수를 가짐을 볼 수 있었다. 따라서 3서브채널의 값을 2bit로 결정하여야 한다. 그러나 우리가 원하는 비트수는 총 9bit가 되어야 하므로 다른 하나의 비트 값을 증가시켜야 한다. 따라서 각 서브채널의 에너지 증가표를 조사한다. 이때 현재 할당되어진 비트 값이 0bit, 1bit값을 가지는 서브채널만 조사할 필요가 있다.

다른 서브채널의 1bit의 값을 증가시킨다고 하여도 시스템 설계 사양인 0,1,2,4,6,8bit의 값이 아닌 홀수 비트의 값이 되어 잘못된 비트할당이기 때문이다. 따라서 그림. 4에서 보는바와 같이 1서브채널과 n서브채널의 1비트 증가시킬 때 필요한 에너지 증가 값을 조사한다. 그리고 적은 에너지 증가값을 선택하여 1bit값을 증가시킨다. 최종적인 최적의 비트할당 값은 그림. 4에서 보는바와 같이 1서브채널이 1bit, 2서브채널이 4bit, 3서브채널이 2bit, n서브채널이 2bit로 선택한다.

III. 시뮬레이션 및 결과

OFDM 심볼당 데이터 수	128 bit
변조방법	적용비트로딩 M-QAM
채널 환경	레이리 페이딩 환경
부가 잡음	백색 가우시언 잡음
OFDM 서브채널의 수(N)	64
안테나의 수(M × N)	송신안테나 : 2 수신안테나 : 2

표.1 시뮬레이션 조건

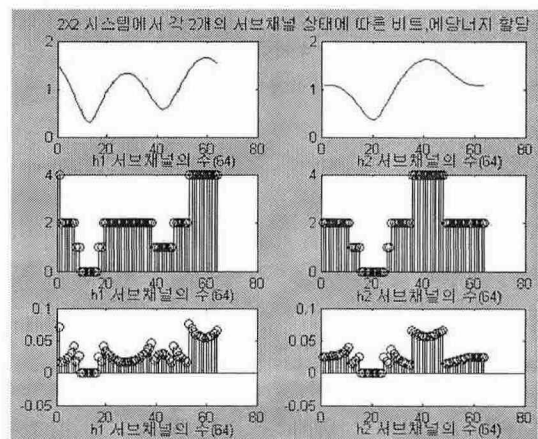


그림. 5 채널의 상태에 따른 최적의 비트, 전력 할당

그림. 5는 MIMO 시스템에서 각기 다른 채널의 상태에

따라 최적의 비트 값과 에너지 값을 할당함을 보여준다. 그림. 5의 왼쪽채널 값이 첫 번째 안테나의 OFDM 서브 채널의 특성 값이며 오른쪽채널 값이 두 번째 안테나의 특성 값이다. 채널이 좋은 곳에 많은 비트가 할당되고 에너지도 많이 할당됨으로써 적응비트로딩의 특성을 보여준다.

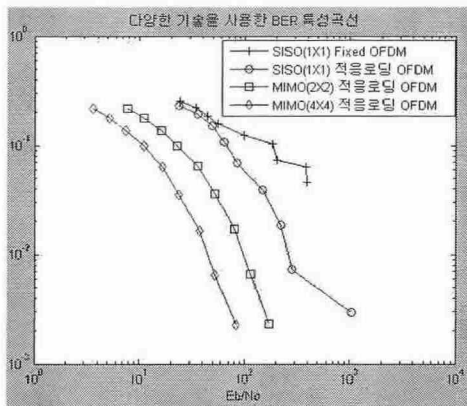


그림. 6 다양한 기술에 따른 BER 특성 곡선

그림. 6에서는 다양한 기술을 사용하여 시뮬레이션 한 BER 특성 곡선을 보여주고 있다. 먼저 SISO(1×1) 시스템에서 성능이 가장 우수한 2QAM 변조를 OFDM하여 전송한 시스템의 BER을 나타내었다. 비교를 위하여 나머지 조건은 같이 하고 2QAM 변조가 아닌 채널의 특성을 고려한 적응비트로딩 알고리즘을 사용하여 두 개의 특성을 비교하였다. 그림. 6에서 나타난 것과 같이 적응비트로딩을 사용하면 고정변조를 사용하는 것보다 BER 특성 이 좋게 나타남으로써 시스템의 성능이 향상됨을 볼 수 있다.

다음으로 SISO 시스템과 MIMO 시스템을 비교하기 위하여 적응비트로딩 SISO-OFDM과 적응비트로딩 MIMO-OFDM 시스템의 성능을 평가하였다. 안테나의 수를 제외한 다른 조건들은 일치시켰다. 그림. 6에서 보듯이 MIMO를 사용하면 SISO의 사용보다 더 좋은 BER 특성 곡선을 얻음으로써 더욱 뛰어난 시스템을 설계할 수 있다. 또한 2×2 안테나를 사용하는 MIMO 시스템보다 4×4를 사용하는 MIMO 시스템의 성능이 더 우수함을 볼 수 있다.

이는 같은 MIMO 시스템에서도 안테나의 개수가 증가 할수록 시스템의 성능이 더욱 향상됨을 말해준다.

IV. 결 론

본 논문에서는 SISO와 MIMO 시스템의 성능을 비교 평가 하였으며, 또한 OFDM의 성능을 향상시키기 위하여

적응비트로딩 알고리즘을 제안하여 그 성능을 평가 하였다.

OFDM의 단점인 채널의 상태를 고려하지 않고 같은 변조와 같은 전력으로 전송하는 시스템의 성능을 향상시키기 위하여 적응비트로딩 알고리즘을 시스템에 적용시켰다. 알고리즘의 유효성을 확인하기 위하여 먼저 SISO 시스템으로 시뮬레이션 한 후 유효성을 확인하였다. 적응비트로딩 기술을 사용하면 서브채널의 상태에 따라 최적의 비트 값을 할당하고 최적의 전력제어가 가능하다. 따라서 시스템의 성능은 현저히 향상된다.

시스템을 확장시켜 MIMO 채널에 적용하기 위하여 채널의 특성을 이해하고 특이치 분해를 사용하였다. 특이치 분해를 사용하면 서로 간섭을 주는 다중 송수신 안테나 시스템이 병렬의 비간섭 SISO 채널로 분리할 수 있다. 따라서 적응비트로딩 기술을 현재 고속 신뢰통신을 위해 활발히 연구 중인 MIMO 시스템에 적용하여 시스템의 성능 향상을 확인하였다.

MIMO 시스템에서도 적응비트로딩 알고리즘은 최적의 성능을 발휘함으로써 적응비트로딩 SISO-OFDM 시스템보다 적응비트로딩 MIMO-OFDM 시스템의 성능이 우수함을 보였다.

또한 적응비트로딩 MIMO-OFDM 시스템 중에서도 송수신 안테나의 개수를 증가시키면 채널용량이 증가하며 시스템의 성능이 향상됨을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 제안한 적응비트로딩 MIMO-OFDM 기술은 시스템 성능을 효과적으로 개선시키며 향후 주목받을 것으로 기대된다.

향후 계획으로써 설계한 시스템에 채널추정 기술을 적용하여 실제 이동통신 환경에 더욱 적합한 시스템을 설계할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] J. Campello de Souza, "Discrete Bit Loading for Multicarrier Modulation Systems," PhD Thesis. May, 1999
- [2] P. Chow et al, "A Practical Discrete Multitone Transceiver Loading Algorithm for Data Transmission Over Spectrally Shaped Channels," IEEE Trans. Comm, Vol. 43, No.2, February 1995, Page 773-775.
- [3] K. Wong et al, "Adaptive Spatial-Subcarrier Trellis Coded MQAM and Power Optimization for OFDM Transmission", VTC2000, Page 2049-2053
- [4] A. Bahai, B. Saltzberg, Multicarrier Digital Communications: Theory and Applications of OFDM. Kluwer Academic, New York, 1999