

OFDM에서 Bitloading 알고리즘의 성능평가

최정식, 변건식
 동아대학교 공과대학 전자공학과

Performance Analysis of Bitloading Algorithm for OFDM

Choi jung-sik Byon kun-sik
 School of Electronic Eng., Dong-A University

요 약

고속으로 데이터를 전송하는 변조방법인 OFDM은 각 서브채널의 상태가 서로 다름에도 불구하고 같은 양의 데이터를 전송하게 되며 이때 일부 채널의 상태가 매우 나쁨에도 불구하고 같은 양의 데이터를 보내게 된다면 시스템의 성능은 나빠지게 된다. 본 논문에서는 Bitloading 알고리즘을 이용하여, 서브 채널의 상태에 따라 데이터 량을 조절할 수 있는 OFDM 시스템을 구현하고, 시뮬레이션을 통해 성능을 입증하였다.

I. 서 론

고속 데이터 통신을 위해 크게 주목 받고 있는 다중 반송파 시스템은 무선 채널 환경에서 다중 신호에 의한 페이딩 현상에 대해 강인한 특성을 가지고 있다. 이중 OFDM은 무선 근거리 통신망 및 광대역 무선 접속 등에 응용됨으로써 최근 널리 이용되고 있는 다중 반송파 시스템 중의 하나이다. 일반적인 OFDM 시스템은 각 서브채널의 상태에 상관없이 같은 변조율로 같은 양의 데이터를 송신함으로써 채널 상태가 서브 채널 당 다를 때 성능을 열화시키게 된다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 Bitloading 알고리즘을 사용해 상태가 좋은 서브채널에 더 많은 데이터를 송신한다면 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다. 본 논문에서는 이미 알고 있는 학습 심볼을 이용하여 모든 서브채널의 SNR을 추정한 후 Bitloading 알고리즘을 이용하여 각 서브채널에 할당할 비트수를 계산하여 비교한 후, 상태가 좋은 서브 채널에는 많은 비트를 할당하고, 나쁜 채널에는 적은 비트를 할당하여 시스템 성능을 개선하였다.

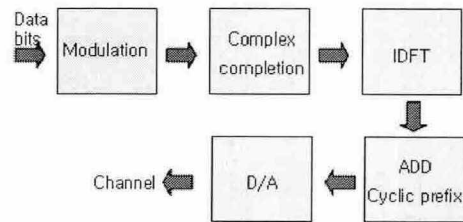


그림1. 송신기

그림1은 OFDM 송신기의 구성도이다. 처음 송신 시 변조법은 2PAM을 선택하여 송신한 후 비트 로딩 알고리즘에 의한 결과가 제한되면, 송신기는 데이터율을 조절하기 위해 2PAM, 4QAM, 16QAM, 64QAM과 같이 하나의 복소심볼에 1, 2, 4, 6 비트를 사상하여 데이터를 각 서브채널의 상태에 따라 다른 변조율을 적용하여 변조한다. 먼저 채널을 추정하기 위하여, 데이터 사이에는 2비트 1심볼로 변조된 16개의 학습 심볼을 일정 간격으로 삽입하게 된다. 또 OFDM 출력을 실수화 하기 위해서 공액 복소된 Mirror 이미지를 삽입한 후 IDFT로 OFDM 변조하게 된다.[2] 이때 사용하게 되는 서브캐리어는 총 256개이다. OFDM 변조된 데이터는 채널 전송 동안 직교성을 유지하기 위해 Cyclic prefix를 추가하고 프레임의 끝에 32비트의 0을 삽입함으로써 하나의 프레임을 완성하게 된다. Cyclic prefix는 프레임의 32개 마지막 심볼을 취해서 프레임의 앞에 복사해 삽입함으로써 ISI를 제거하는 효과를 가진다.

II. 송수신 시스템과 Bitloading 알고리즘

1. 송신기

2. 채널

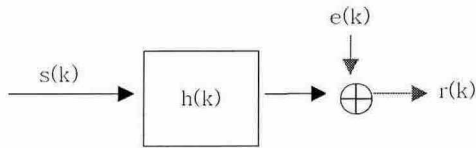


그림2. 채널 모델

그림2는 시뮬레이션에 사용된 채널 모델이다. 이는 6개의 필터 계수를 가지는 채널 임펄스 응답 함수 $h(k)$ 를 생성하여 송신 데이터와 콘볼루션 한 후, AWGN을 추가하는 것으로 구성하였다.

3. 수신기

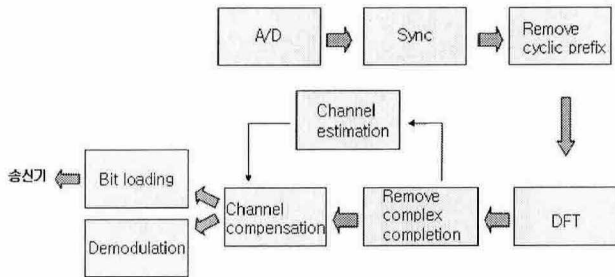


그림3. 수신기

그림3은 OFDM 수신기의 구성도 이다. 수신기는 먼저 동기를 확립하여야 한다. 본 논문에서는 동기를 확립하기 위하여 각 프레임에 추가된 Cyclic prefix를 이용했다. Cyclic prefix는 OFDM 프레임의 마지막 n 개의 심볼을 복사해서 프레임의 시작부분에 삽입한 것이다. 본 논문에서는 길이 32의 Cyclic prefix를 사용하였다. 이는 프레임의 처음과 마지막 부분에 양호한 상관성이 존재하게 되므로 수신기에서는 이를 동기화 사용하게 된다.

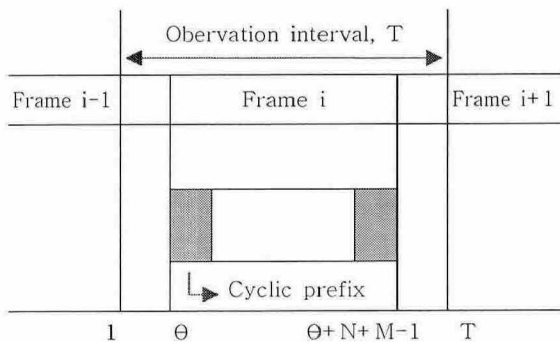


그림4. OFDM 프레임의 동기

동기를 찾는 방법은 OFDM 신호 $r(k)$ 중 T 개 연속 샘플을 관찰하여 저장한 후, 슬라이딩하여 상관치가 최대일 때 동기를 확립한다. 이 내용은 그림4와 같고, 이 때 버퍼의 크기는 OFDM 한 프레임 이상이어야 한다. 수신기

에서 미지인 채널의 지연 Θ 는 ML추정을 이용해 다음과 같이 계산 할 수 있다.[3]

$$\hat{\Theta} = \arg \max_{\Theta} |y(\Theta)| - \rho \phi(\Theta) \quad 1 \leq \Theta \leq T - N - M + 1 \quad (1)$$

$$y(\Theta) = \sum_{k=\Theta}^{\Theta+M-1} r(k)r^*(k+N) \quad (2)$$

$$\phi(\Theta) = \frac{1}{2} \sum_{k=\Theta}^{\Theta+M-1} |r(k)|^2 + |r(k+N)|^2 \quad (3)$$

$$\rho = \frac{SNR}{SNR+1} \quad (4)$$

이렇게 ML추정을 이용하여 프레임의 시작 부분을 알게 되면 각 프레임에 추가된 Cyclic prefix를 제거한 후 DFT를 수행하여 OFDM 복조한다. 복조된 신호는 채널에 의해 왜곡되어 있으므로 채널의 상태를 추정하여 보상을 해주어야 한다. 채널은 여러 프레임 전송 동안에 일정하다고 가정한 후 일정 간격으로 삽입한 학습 심볼과 데이터 심볼을 서로 분리하여 이미 알고 있는 값인 학습 심볼을 이용하여 채널의 주파수 응답을 추정 하였다. 이러한 학습 채널에서의 채널 응답은 채널 추정기를 사용하여 매 전송 당 계산된다. 채널응답 $H_{mean}(n,l)$ 을 추정하기 위해서 다음과 같은 계산을 반복하게 된다.[1]

$$H_{mean}(n,l) = \lambda H_{new}(n,l) + (1-\lambda)H_{old}(n,l) \quad 0 \leq \lambda \leq 1 \quad (5)$$

$$H_{new}(n, l) = \frac{Y(n, l)}{X(n, l)} \quad (6)$$

$$H_{old}(n, l) = H_{mean}(n, l-1) = \lambda H_{new}(n, l-1) + (1-\lambda)H_{old}(n, l-1) \quad (7)$$

위 식에서 n 은 주파수 인덱스, l 은 프레임 인덱스, λ 는 망각 계수 이다. 망각 계수 λ 는 최근의 채널 추정 $H_{new}(n,l)$ 의 양을 결정하며, 총 추정 $H_{mean}(n,l)$ 을 계산하는데 사용된다. 식(5)의 $H_{mean}(n,l)$ 은 1번째 프레임까지의 채널응답의 평균값이고, 식(6)은 1번째 프레임의 현재 채널응답 값이다. 식(7)은 $l-1$ 번째까지의 채널응답의 평균값은 1번째 평균값을 구할 때의 $H_{old}(n,l-1)$ 이 됨을 보여준다. 계산한 $H_{mean}(n,l)$ 값은 학습채널의 채널 응답 값이므로 선형 보간을 이용하여 실제 데이터를 보내는 모든 서브채널의 $H_{mean}(n,l)$ 값을 계산할 수 있다. 수신 데이터 $Y(n,l)$ 에 계산되어진 서브채널의 채널응답 $H(n)$ 을 나누어 줌으로써 채널에 의해 왜곡되어진 신호를 보상해 줄 수 가 있다. 또한 채널 추정기는 Bitloading 알고리즘에서 사용하게 될 채널에 부가된 잡음의 분산을 계산하게 된다.[1]

$$E(n, l) = Y(n, l) - H(n)X(n, l) \quad (8)$$

$$\sigma^2(n) = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^L |E(n, l)|^2 \quad (9)$$

III. Simulation

잡음의 분산 값은 식(8)에서 계산된 오류계열 $E(n,l)$ 을 사용하여 추정한다. n 번째 서브채널상의 L 개의 잡음 샘플의 분산은 식 (9)와 같이 계산된다. 채널 보상된 데이터는 송신기에서 각 서브채널에 적용한 것과 동일한 변조율로 복조하여 심볼을 비트화 한다. 동시에 Bitloading 알고리즘은 서브채널에 새롭게 할당할 비트율을 계산하여 송신기로 반환하여 준다.

4. Bitloading 알고리즘

비트로딩의 원리는 현재의 SNR에 기초하여 각 서브 채널의 데이터율과 에너지를 조절하는 것이다. 큰 SNR을 가진 서브 채널은 작은 SNR을 가진 서브 채널보다 더 많은 비트와 더 큰 전력을 할당하게 된다. 본 논문의 Bitloading 알고리즘은 평균 심볼 에너지는 모든 변조에 대해 같도록 구현되었다. 송신기에서 보내진 평균 에너지를 일정하게 유지하며, 각 채널에서 사용된 변조에는 독립이다. 물론 이러한 방법은 Bitloading을 수행하는 최적의 방법은 아니지만, Bitloading의 성능을 평가하기에는 충분하다고 생각된다. Bitloading 알고리즘에 필요한 파라미터는 각 서브채널의 채널 응답과 잡음 분산이다. 이러한 파라미터는 채널 추정기에서 식(5)와 (9)로 이미 계산되어 졌으며 다음과 같은 Bitloading 알고리즘 식에 사용된다.[1]

$$b_n = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{\epsilon_n \cdot g_n}{\Gamma} \right) \quad (10)$$

$$g_n = \frac{|H_n|^2}{\sigma^2} \quad (11)$$

$$K = \frac{1}{N} \left[N \overline{\epsilon_x} + \Gamma \cdot \sum_{n=1}^N \frac{1}{g_n} \right] \quad (12)$$

$$\epsilon_n = K - \Gamma / g_n \quad \forall n = 1, \dots, N \quad (13)$$

여기서 식(11)의 g_n 은 채널특성 함수이고, 식(12)는 채널특성 함수와 채널에 할당된 전체 에너지의 합은 항상 일정한 상수 값인 K 가 됨을 보여준다. 식(13)의 ϵ_n 은 N 번째 서브채널에 할당된 에너지 이고, Γ 는 오류율을 조절할 수 있는 설계 파라미터이다. 이렇게 계산한 값들을 식 (10)에 대입하여 계산한 서브채널별 비트 수는 정수가 아닌 실수가 된다. 이러한 실수 비트 분포는 실제 구현에 적합하지 않으므로 정수화 하여 정수 비트 분포를 만든다. 계산된 각 서브채널별 비트 분포는 송신기에서는 데이터 비트를 심볼화하고, 수신기는 심볼을 비트화 하기 위해서 사용하게 된다.

1. 고정변조와 Bitloading 알고리즘의 BER 성능

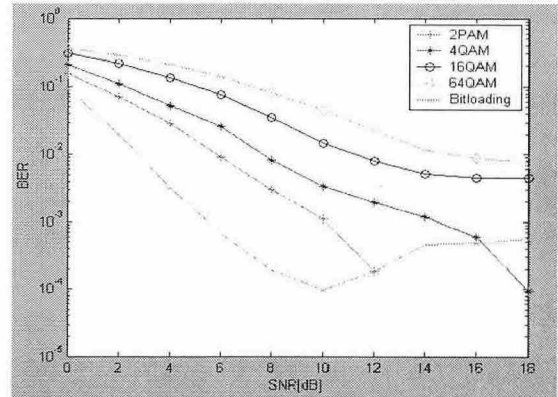


그림5. 고정변조와 비트로딩 알고리즘의 SNR에 따른 BER

그림5는 여러 가지 SNR에 대해, 고정된 변조를 사용하는 시스템과 Bitloading 알고리즘의 사용한 시스템의 BER을 보여준다. 본 Simulation에서는 256개의 서브 채널이 사용되었고, Cyclic prefix 길이와 가드비트의 수는 32이다. 그림5에서, 고정변조는 전통적인 변조법과 마찬가지로의 특성을 보여줌을 확인할 수 있다. 하지만 Bitloading 알고리즘을 적용한 OFDM 시스템의 BER은 넓은 SNR 대역에서 전반적으로 좋은 성능을 보여주고 있다. 이는 채널의 상태가 나쁜 곳에는 데이터를 송신하지 않거나 변조율을 줄이는 Bitloading 알고리즘의 특징을 잘 보여주고 있다. 또한 SNR이 매우 좋은 채널에서는 Bitloading 알고리즘을 사용한 시스템의 BER이 조금씩 나빠지고 있다. 이는 높은 변조를 적용하는 서브채널에 많은 에너지를 할당하는 전력제어 시스템을 생략하였기 때문이다. 이는 Bitloading을 수행하는데 있어서 최적의 방법은 아니지만, DSP를 구현하기 위한 알고리즘을 간단화 하는데 있어서 는 타당한 방법이다.

2. Bitloading을 사용한 경우의 시스템 성능

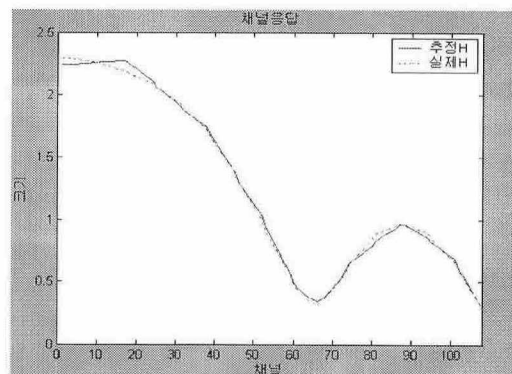


그림6. 추정된 채널응답과 실제 채널응답

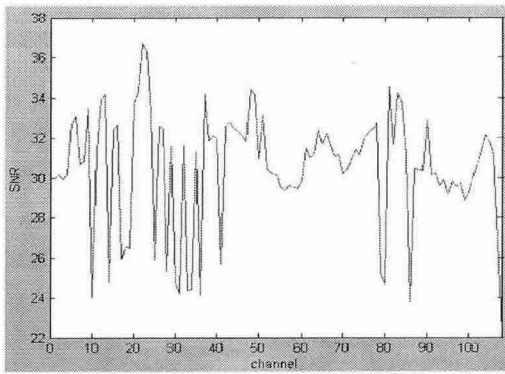


그림7. 각 서브채널의 SNR 추정값

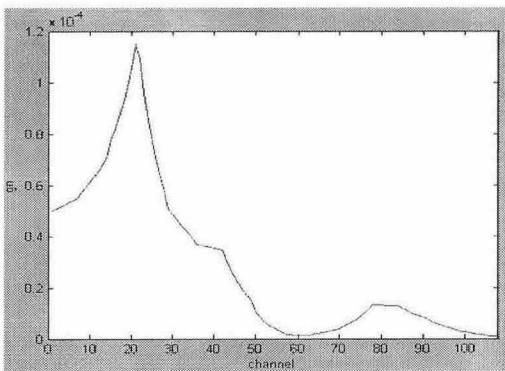


그림8. 각 서브채널의 g_n

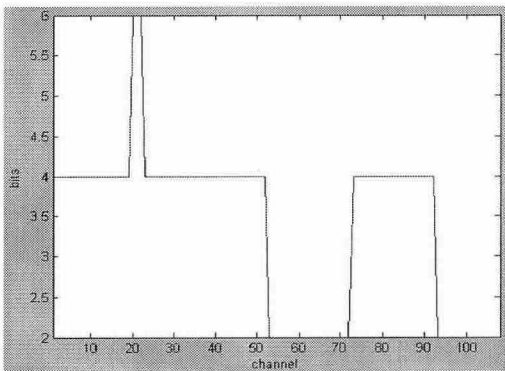


그림9. 서브채널당 비트수

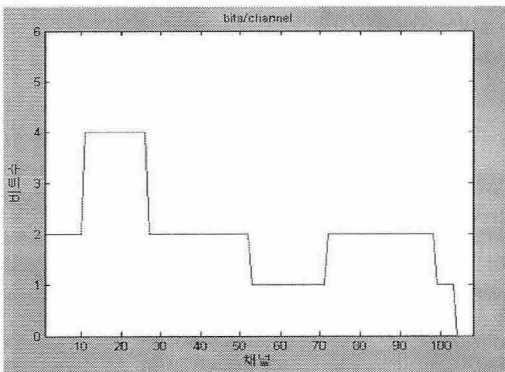


그림10. 채널의 상태에 따라 변한 비트수

비트 로딩 알고리즘을 사용한 시뮬레이션 결과는 위와 같다. 그림6은 시스템의 실제 채널 응답값과, 채널 추정기에서 추정된 채널 응답 값으로, 채널 추정기에서 올바르게 채널을 추정하고 있음을 알 수 있다. 또한 그림7은 수신기에서 추정된 각 서브채널의 SNR값이고, 채널의 영향에 의해 서브 채널의 SNR이 서로 다를 수 있다. 그림8은 식(11)에서 계산한 채널의 특성함수 값이며, 이 값에 의해 비트 할당이 되며, 실수를 정수로 변환함으로써 비트 할당값을 얻을 수 있다. 그림9는 Bitloading 알고리즘으로 계산한 각 서브채널에 할당할 비트수이며, 그림에서 알 수 있듯이 각 서브채널에 할당할 비트수는 추정된 서브채널의 SNR에 비례함을 알 수 있다. 그림10은 채널의 상태가 변하여 Bitloading 알고리즘에서 새롭게 할당된 비트수를 보여주고 있다. 그림9에 비해 전체적으로 할당된 비트수가 작은 것으로 보아 채널의 상태가 나빠졌음을 알 수 있다.

IV. 결론

일반적으로 OFDM은 서브채널의 상태에 상관없이 모든 채널에 같은 양의 데이터를 송신하게 된다. 하지만 상태가 나쁜 채널에도 계속해서 데이터를 송신하게 된다면 시스템의 성능은 나빠질 것이 틀림없다. 따라서 본 논문에서는 각 서브채널의 채널응답과, 잡음 분산을 추정하여 채널의 상태에 따라 데이터의 양을 조절하는 Bitloading 알고리즘을 OFDM에 접목하여 그 성능을 평가 하였다. Bitloading 알고리즘을 사용하면 수신 SNR에 따라 비트/심볼은 증가하기 때문에, 결과적으로 서브 채널의 SNR에 따라 비트를 비례적으로 할당할 수 있다. 결과적으로, 시간에 따라 채널의 상태가 변하여도, Bitloading 알고리즘을 사용하면 고정된 변조 방법보다 우수한 성능을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 본 논문에서는 각 서브채널의 평균 에너지는 고정으로 두고, SNR에 비례하여 비트를 할당하였다. 향후 이 알고리즘을 이용하여, 상태가 좋은 채널에 는 더 많은 에너지를 할당하도록 개선한다면 시스템의 성능은 더욱 향상될 것으로 예상된다.

참고 문헌

[1] John M. Cioffi, Advanced Digital Communication, Stanford University, 2000
 [2] J.G.Proakis and D.G. Manolakis, Digital Signal Processing, Prentice Hall, 1996
 [3] John.G.Proakis, "digital communication", 2001, McGraw-Hill