

직교 주파수 분할 다중화 방식에서 데이터 전송률을 최대화 시키기 위한 송신 파워 및 비트 할당 기법 연구

최득수⁰, 박경민, 박효열, 김용석, 황금찬
연세대학교 전기전자공학과
cds21⁰@dreamwiz.com

Transmit Power and Bit Allocation scheme for data rate maximization in OFDM

Deuksoo Choi⁰ Kyungmin Park, Hyoyol Park, Yongseok Kim, KeumChan Whang
Dept. of Electrical & Electronics Engineering., Yonsei University

요 약

본 논문에서는 직교 주파수 분할 다중화 전송방식(OFDM:Orthogonal Frequency Division Multiplexing)에서 비트 오류율(BER)과 시스템에서 사용할 수 있는 총 송신 파워가 제한된 상태에서 데이터 전송률을 최대화 시키는 기법을 제안한다. 제안한 기법은 미리 계산된 비트수별 신호대잡음비 임계값(threshold)과 부반송파의 신호대잡음비를 비교한 후 부반송파별 송신 파워를 최적화 시켜 비트를 할당한다. 이 기법은 송신 파워 및 비트를 할당하는 최적의 기법이라고 알려진 Hughes-Hartogs 기법과 거의 동일한 데이터 전송률을 가질 수 있으면서, 부반송파의 송신 파워 및 비트수를 할당하기 위해 필요한 반복작업을 줄일 수 있다.

1. 서 론

무선 멀티미디어 서비스에 대한 요구 증가로 신뢰성 있는 고속 데이터통신에 대한 필요성이 증가되고 있으나, 고속 데이터 통신은 심볼간 간섭(ISI:InterSymbol Interference)에 의해 제한을 받는다. 이러한 심볼간 간섭 문제를 해결하고 고속 데이터 통신을 하기 위한 방법으로 높은 데이터 전송률을 갖는 데이터 스트림(stream)을 많은 수의 낮은 데이터 전송률을 갖는 데이터 스트림으로 분할하여 다수의 부반송파를 이용해 동시에 전송하는 다수 반송파(Multicarrier) 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있고, 그 중 직교 주파수 분할 다중화 방식(OFDM)이 가장 유력하게 검토되고 있다. 직교 주파수 분할 다중화 방식 시스템에서 각 부반송파에 대한 채널정보(CSI:Channel State Information)를 송신기가 알고 있다면 각 부반송파에 채널상태에 적합한 송신 파워 및 비트를 할당하여 데이터 전송률을 최대화시킬 수 있다.[1][2]

이와 같이 각 부반송파에 할당되는 송신 파워 및 비트를 채널 상태에 적합하게 할당하는 기법들이 로딩(loadng) 기법이라는 이름으로 다수 반송파 기법의 하나인 DMT(Discrete Multitone) 시스템에서 사용되고 있다. Hughes-Hartogs가 제안한 기법은 송신 파워 및 비트 할당을 최적화 할 수 있는 기법으로 알려져 있으나 할당하는 비트수 만큼의 많은 반복작업을 필요로 하고, Chow에 의해 제안된 기법은 Hughes-Hartogs 기법에 비해 반복작업은 감소되었으나 데이터 전송률또한 감소하게 된다. [3][4][5][6]

본 논문에서는 비트 오류율과 시스템에서 사용할 수 있는 총 송신 파워가 제한된 직교 주파수 분할 다중화 방식 시스템에서 송신 파워를 최적화 시켜 데이터 전송률을 최대화 시키는 기법을 제안하고, Hughes-Hartogs 및 Chow 에 의해 제안된 기법들과 성능을 비교하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 Hughes-Hartogs 및 Chow 가 제안한 기법들에 대해 알아보고, 제 3장에서는 본 논문에서 제안하는 기법에 대한 설명을, 그리고 제 4장에서는 제안한 기법과 Hughes-Hartogs, Chow 기법의 모의 실험 결과를 보여주며, 제 5장에서 결론을 맺는다.

2. Hughes-Hartogs 및 Chow 기법

2.1 Hughes-Hartogs 기법

Hughes-Hartogs 기법은 송신 파워 및 비트를 부반송파에 할당하는 최적의 기법으로 알려져 있다. 이 기법은 모든 부반송파에 할당된 비트수를 0 으로 초기화한 후 비트수를 1 비트 증가시키기 위해 추가적으로 필요한 부반송파들의 송신 파워를 계산하고, 가장 적은 추가 송신 파워를 필요로 하는 부반송파의 비트수를 1 비트 증가시키는 작업을 요구 데이터 전송률을 만족시킬 때까지 반복하는 기법이다. 이 기법은 송신 파워 소비를 최소화 시키는 로딩기법이나 비트수를 할당하기 까지 무수히 많은 반복작업을 필요로 한다.[3][4][6]

2.2 Chow 기법

Chow 기법은 요구 비트 오류율 및 사용하는 부반송파에 동일한 송신 파워를 할당한다는 조건하에서 데이터 전송률을 최대화 시키는 부반송파 개수를 찾고, 찾은 부반송파에 동일한 송신 파워를 할당하는 기법이다. Hughes-Hartogs 기법에 비해 비트를 할당하기 위한 반복작업 수는 감소하지만 사용되는 부반송파들에 최적이지 아닌 동일한 송신 파워를 할당하기 때문에 데이터 전송률도 감소한다.[5][6]

3. 제안된 기법

이 장에서는 Hughes-Hartogs와 동일한 데이터 전송률을 얻을 수 있으면서, 비트 할당을 위한 반복작업을 줄일 수 있는 기법을 제안한다. 제안한 기법의 동작순서는 다음과 같다.

1. 요구 비트 오류율을 만족시키면서 할당 가능한 비트수에 대한 신호대잡음비의 임계값을 결정한다. MQAM 시스템에서 신호대잡음비의 임계값은 비트 오류율 임계값(bound)[6][7]을 이용하여 계산할 수 있다.

$$BER \leq BER_{target}$$

$$BER \leq \frac{1}{5} \exp\left[-1.5 \frac{\gamma}{2^b - 1}\right]$$

여기서 γ 은 부반송파의 신호대잡음비를 b 는 부반송파에 할당된 비트수를 나타낸다.

2. 계산된 신호대잡음비 임계값과 채널을 통과한 후 수신기로 입력된 각 부반송파의 신호대잡음비를 비교하여 각 부반송파에 대한 비트 할당을 우선 실시한다.

3. n 번째 부반송파의 현재 신호대잡음비와 우선 할당된 비트수를 송신하기 위한 신호대잡음비 임계값과의 차이를 이용하여 추가로 할당할 수 있는 여분의 송신 파워 ($P_{EP}(n)$)를 계산한다.

$$P_{EP}(n) = \frac{(SNR(n) - SNR_{TH}(b_i)) \times \sigma_n^2}{g_n}$$

여기서 $SNR(n)$ 은 n 번째 부반송파의 신호대잡음비를 $SNR_{TH}(b_i)$ 는 비트수 b_i 에 대한 신호대잡음비 임계값, σ_n^2 은 n 번째 부반송파의 잡음파워, g_n 은 n 번째 부반송파의 채널이득을 각각 나타낸다.

4. n 번째 부반송파의 현재 신호대잡음비와 우선 할당된 비트수를 1비트, 2비트, 3비트, 4비트 증가시켰을 때의 신호대잡음비 임계값과의 차이를 계산하여 비트수를 증가시키기 위해 추가적으로 필요한 송신 파워 ($P_{ATP_MB}(n)$)를 각각에 대해 계산한다. 그림 1은 위에서 언급한 부반송파별 우선 비트 할당 및 할당된 비트수를 증가시키기 위해 필요한 추가 송신 파워를 계산하는 방법의 개념을 보여준다.

$$P_{ATP_MB}(n) = \frac{(SNR_{TH}(b_i+1/2/3/4) - SNR(n)) \times \sigma_n^2}{g_n}$$

5. 위에서 계산된 추가적으로 필요한 송신 파워를 가장 적은 추가 송신 파워부터 가장 많은 추가 송신 파워 순(오름차순)으로 정렬한다.

6. 추가적으로 필요한 송신 파워를 가장 적게 필요로 하는 부반송파부터 필요한 송신 파워를 추가 할당하여 비트수를 증가시키는 작업(파워 로딩)을 시스템이 사용할 수 있는 총 송신 파워 제한을 만족시킬 때까지 반복한다.

$$\sum_{n=1}^N \hat{P}_n \leq P_0$$

여기서 \hat{P}_n 은 파워로딩 작업 후 각 부반송파에 할당되는 송신 파워, P_0 는 시스템이 사용할 수 있는 총 송신 파워를 나타낸다.

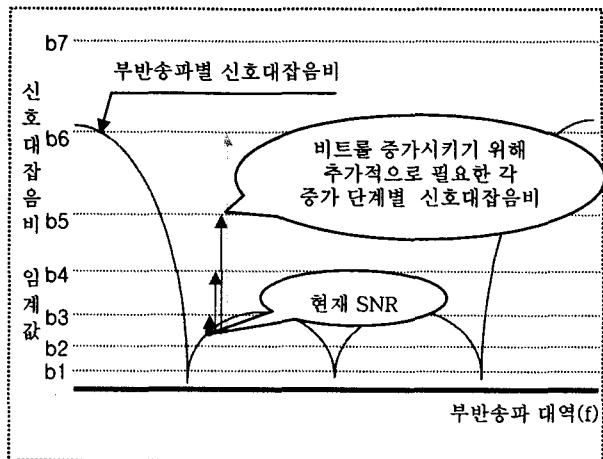


그림 1. 비트 할당 및 추가적으로 필요한 송신 파워 계산 개념

4. 모의실험 및 결과

이 장에서는 제안한 기법의 성능을 요구 비트 오류율 및 시스템이 사용할 수 있는 총 송신 파워가 제한된 조건에서 할당 비트수와 할당을 위해 필요한 반복작업수로 Hughes-Hartogs 및 Chow가 제안한 기법과 모의실험을 통해 비교하였다. 모의실험의 직교 주파수 분할 방식 시스템이 사용하는 부반송파의 개수는 256개이고, 보호구간(Cyclic prefix)의 길이는 다중 경로 페이딩(multipath fading)에 의한 지연확산(delay spread) 보다 충분히 크게 부여했다. 채널환경은 다중 경로 및 레일리(Rayleigh) 페이딩 채널이다. 송신기는 부반송파의 채널 정보를 정확히 알고 있고, 부반송파의 평균 채널이득은 1인 것으로 가정하였다. 채널 부호화(channel coding) 기법은 사용하지 않았다. 요구 비트 오류율은 10^{-5} , 시스템이 사용할 수 있는 총 송신 파워는 256, 그리고 각 부반송파에 할당 가능한 최대 비트수는 7로 제한하였다.

Chow가 제안한 기법과는 Hughes-Hartogs와 상대적인 데이터 전송률 감소량 [6]을 이용해 데이터 전송률을 비교하였다.

$$\text{데이터 전송률 감소량} = \frac{\hat{B}_{HH} - \hat{B}}{\hat{B}_{HH}} \times 100(\%)$$

여기서 \hat{B}_{HH} 는 Hughes-Hartogs 기법을 통해 할당한 비트수를 나타낸다.

그림 2는 요구 비트 오류율을 만족시키며 할당 가능한 비트수를 나타낸다. 제안한 기법이 최적의 송신 파워 및 비트 할당 기법인 Hughes-Hartogs와 거의 동일한 데이터 전송률을 가짐을 볼 수 있다. 이것은 우선 할당된 비트수에서 1비트부터 4비트까지 증가시키는데 필요한 추가 송신 파워를 동시에 계산한 후, 오름차순 정렬을 통해 적은 추가 송신 파워를 필요로 하는 부반송파부터 비트수를 증가시키기 때문이다. 그림 3은 송신 파워 및 비트를 할당하기 위해 필요한 반복 작업수를 나타낸다. 제안한 기법은 여분의 송신 파워를 부반송파에 할당하기 위한 반복작업만 필요하여 반복작업을 줄일 수 있음을 보여준다. 그림 4는 제안한 기법과 Chow 기법의 데이터 전송률 감소량으로 비교한 것으로 제안한 기법에서는 데이터 전송률 감소가 거의 없음을 보여준다.

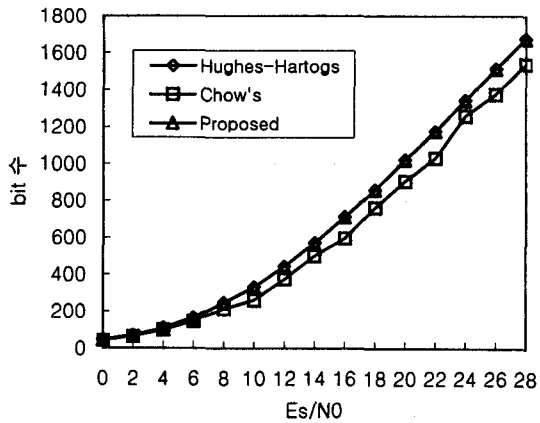


그림 2. 요구 비트 오류율을 만족시키면서 할당 가능한 비트수 (요구 비트 오류율 = 10^{-5})

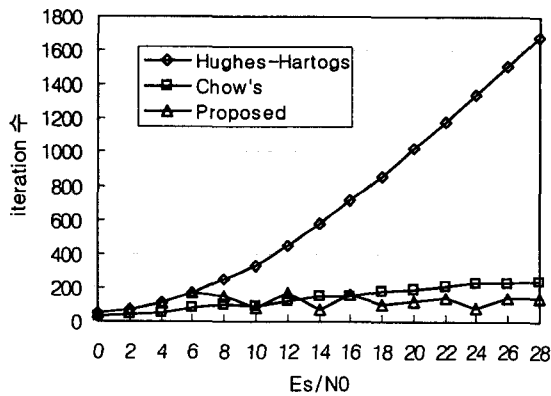


그림 3. 송신 파워 및 비트를 할당하기 위해 필요한 반복작업수 (요구 비트 오류율 = 10^{-5})

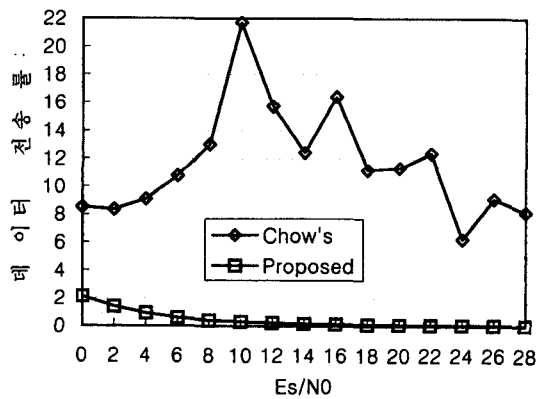


그림 4. Chow 및 제안한 기법의 데이터 전송율 감소량(%) (요구 비트 오류율 = 10^{-5})

5. 결론

본 논문에서 제안한 기법을 다수 반송파 시스템의 하나인 DMT 시스템에서 부반송파에 할당하는 송신 파워 및 비트를 결정하는 기법중 Hughes-Hartogs가 제안한 기법과, Chow가 제안한 기법을 요구 비트 오류율과 시스템이 사용할 수 있는 총 송신 파워가 제한된 직교 주파수 분할 다중화 시스템의 데이터 전송률을 최대화 시키는 것에 관심을 두고 비교하였다. 모의 실험결과 본 논문에서 제안한 기법이 송신 파워 및 비트를 할당하는 최적의 기법이라고 알려진 Hughes-Hartogs 기법과 동일한 데이터 전송률을 가질 수 있으면서, 부반송파의 송신 파워 및 비트수를 할당하기 위해 필요한 반복작업을 줄일 수 있음을 확인하였다.

6. 참고문헌

- [1] Richard van Nee, *OFDM for wireless Multimedia Communications*, Artch House Publishers, 2000
- [2] Cheong Yui Wong, Roger S. Cheng, " Multiuser OFDM with Adaptive Subcarrier, Bit, and Power Allocation" , *IEEE Journal on selected areas in communications*, vol. 17, No.10, October 1999
- [3] S.K.Lai, R.S.Cheng, K.Ben Letief, and R.D.Murch " Adaptive trellis coded MQAM and power optimization for OFDM transmission," *in proc. IEEE Vehicular Technology Conf.(VTC' 99)*, Houston, TX, May 1999
- [4] D. Hughes-Hartogs, " Ensemble modem structure for imperfect transmission media," U.S.Patents Nos. 4 679 227, July 1987; 4 731 816, Mar.1988; and 4 833 796, May 1989
- [5] P. S. Chow and J. M. Cioffi, " Bandwidth optimization for high speed data transmission over channels with severe intersymbol interference," *in proc. IEEE Globecom' 92*, pp. 59-63, 1992
- [6] J.Jang, K.B.Lee, and Y.-H.Lee, " Transmit Power and Bit Allocations for OFDM Systems in a Fading Channel," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Jan 2003
- [7] A.J.Goldsmith and S.-G.Chua, " Variable rate Variable Power MQAM for fading Channel," *IEEE trans. Commun.* Vol.45, pp. 1218-1230, OCT.1997