

DUSTs OFDM의 성능분석

*이상천, 오대원

고려대학교 (akiralsc@korea.ac.kr)

1. 서론

OFDM은 사용하고자 하는 주파수 대역을 여러 개의 작은 주파수 대역(부반송파)으로 분할하여 데이터를 전송하는 주파수 분할 다중화(FDM : Frequency Division Multiplexing) 방식의 일종이기 때문에 대역폭을 효율적으로 사용하게 하고, ISI에 강한 장점을 가지고 있다. 그러나 OFDM은 deep 페이딩과 interference에 대해 좋지 않은 성능을 보이는 문제점이 있다. OFDM 시스템에서 채널 특성 상 deep fading과 interference는 어느 특정 부반송파들의 진폭을 감쇄시킴으로써 높은 SNR을 초래하고 이러한 결과는 전체 OFDM 시스템의 BER 성능을 저하시킨다. 이러한 이유로 본 논문에서는 OFDM의 문제점 중에서 deep fading과 interference에 대해 OFDM system의 BER 성능을 향상시킬 수 있는 spreading 기술인 Walsh-Hadamard Transform (WHT)과 Disambiguating Unitary Spreading Transforms (DUSTs)을 소개하고 그에 따른 모의실험을 통하여 성능분석을 한다.

2. 요약

2.1 WHT

Mapping된 QPSK 또는 QAM symbol들 $u_i(t)$ 의 block은 complex 심볼 $x_i(t)$ 의 "spread" block을 얻기 위해서 먼저 $N \times N$ WHT 행렬 W^N 에 의해서 곱해지게 된다.

$$x_i[t] = \sum_{m=1}^N W_{im}^N u_m[t]. \quad \dots (2.1)$$

where $N =$ 부반송파의 개수

WHT transform 과정을 거치게 되면 모든 가능한 부반송파 전역에 걸쳐서 각 심볼들에 대한 정보가 확산되게 된다. 그러나 Walsh-Hadamard spreading transforms를 사용한 OFDM 시스템은 수신 단에서 중요한 두 가지 문제점을 가지고 있다. 첫째는 각 부반송파에 대해 equalization한 후, inverse WHT를 하기 위해 통상 사용되는 선형성을 가지는 detector와 관련되어있다. Fading에 의해서 낮은 SNR을 갖게 되는 부반송파에서 데이터는 물론 그에 따른 잡음까지도 equalization 과정에 의해서 증폭되고 그 후 모든 부반송파에 증폭된 잡음까지 분산되게 됨으로써 이러한 선형성을 가지는 detector는 잡음의 향상을 야기시킨다. 이러한 문제점은 반복적인 detection 기법을 사용하거나 linear detectors를

maximum-likelihood detectors로 대신 함으로써 해결되어질 수 있으나 maximum-likelihood detectors가 가지는 계산상의 복잡성으로 인해서 차수가 높은 WHT 행렬에서는 사용이 제한되는 단점을 가지고 있다. 두 번째 문제점은 WHT행렬 자체에 관련된 문제이다. WHT 행렬은 아주 정확한 unitarity의 특성을 가지고 있으나 deep fading과 interference에 의해서 야기되는 여러 개의 부반송파들이 가지는 데이터들의 손실을 복구하는 데에는 좋은 특성이 되지 못하고 또한 정확한 데이터를 복구하는데 모호성을 가지게 된다. 이는 QPSK 변조 후에 data 들은 $\pm 1 \pm j$ 라는 점들로 mapping 되는데 WHT spreading 변환 후의 signal points의 위치가 '0'(에너지가 '0'임을 의미)에 위치하는 경우가 발생하게 되는 것을 보고 detection에 대한 모호성을 함께 설명할 수 있다. 이런 모호성이 가지는 단점을 극복하기 위해 본 논문에서의 핵심인 DUSTs / OFDM을 소개한다.

2.2 DUSTs

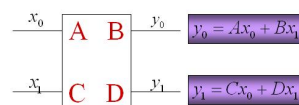
WHT가 가지고 있는 spreading 효과의 장점은 모두 가지고 있으면서도, 앞에서 언급한 WHT 행렬이 가지는 문제점을 다루기 위해서 DUSTs 행렬을 소개한다. 다음 식과 같은 흥미로운 비대칭적인 변환행렬은 Ojard에 의해서 제안되어졌다. 다음 식은 2×2 의 기본적인 DUSTs 행렬을 표현한 것이다.

$$D = \frac{1}{Z} \begin{pmatrix} 2 & 1 \\ -1 & 2 \end{pmatrix}$$

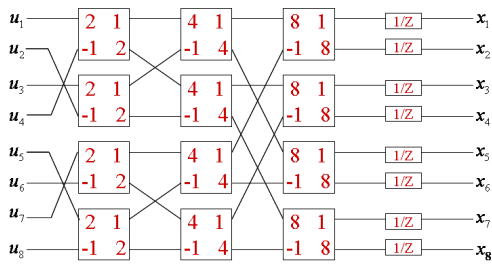
where, $Z = \sqrt{\sum_{i=0}^{2I-1} 2^{2i}} \quad \dots (2.2)$
 $(N = 2^I, N = \text{DUSTs's length})$

위와 같은 spreading 특성을 가진 비대칭적인 행렬을 사용하게 되면 어떤 부반송파의 데이터들이 deep fading이나 interference에 의해서 손실되었다고 가정했을 때, 입력 심볼들을 복구함에 있어서 모호함이 없이 정확하게 데이터를 복구할 수 있는 장점을 가지고 있다.

그림[2.1]과 [2.2]에서는 DUSTs의 기본적인 2×2 의 행렬과 그를 확장한 8×8 의 factor 그래프를 보여주고 있다.



[그림 2.1] 2×2 "butterfly" factor 노드



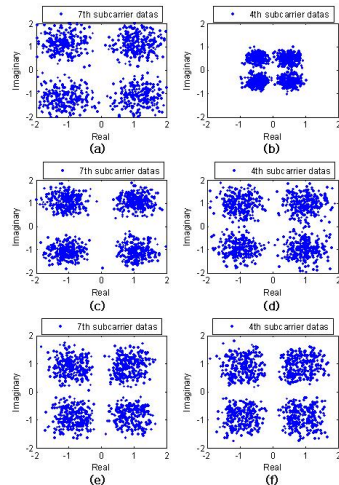
[그림 2.2] 8x8 DUSTs 구현에 대한 factor graph

DUSTs가 가지고 있는 비모호성의 성질은 아주 효과적인 spreading transform을 가지고 설명할 수 있다. 예를 들어 2개의 QPSK symbol이 있다면 DUSTs를 수행한 후에 2개의 출력은 4²개의 서로 구별되는 값들 중에서 서로 다른 두 개의 값을 가질 수 있다. WHT와는 다르게 spreading 변환 후 신호의 points가 '0'인 위치에 오는 경우가 없어 detection을 비교적 정확하게 할 수 있는 비모호성의 성질을 가지고 있는 것이다.

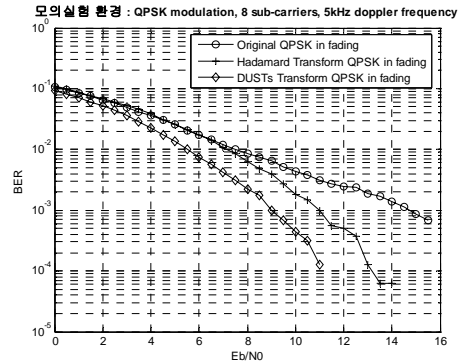
3. 실험결과

WHT / DUSTs의 spreading 효과에 따라 채널의 deep fading이나 interference에 의해서 어떤 부반송파가 훼손되었을 때, 각 부반송파에서 관찰된 신호의 성능은 전체 부반송파의 성능에 대해서 평균화 되는 현상을 보인다. [그림 3.1]은 demodulation 전 단에서 7번째 부반송파가 deep fading 현상을 겪게 되었을 때 심한 fading을 겪지 않은 4번째 부반송파와의 signal points의 차이를 실험한 것이다. 일반 OFDM 시스템에서 7번째 부반송파와 같이 deep fading을 겪게 되면 낮은 SNR을 가지게 되고 결과적으로 에러가 생길 확률은 높아지게 된다. 하지만 대조적으로 deep fading을 겪지 않은 4번째 부반송파는 높은 SNR을 가지게 되어 에러가 생길 확률은 현저히 적지만 OFDM의 전체 시스템은 가장 감쇄가 심한 부반송파의 성능으로 결정지어지게 되므로 OFDM 시스템의 성능은 저하된다. 이와는 대조적으로 “spreading transforms”을 수행하게 되면 [그림 3.1]에서 보는 바와 같이 deep fading을 겪은 부반송파와 그렇지 않은 부반송파의 SNR은 전체 부반송파의 평균적인 SNR에 따름을 알 수 있다. 이에 따라 기존의 OFDM 시스템보다는 fading이 심할수록 좋은 성능을 기대할 수 있다. [그림 3.2]는 일반적인 OFDM 시스템과 WHT / OFDM, DUSTs / OFDM 시스템의 BER성능을 분석한 것이다. 일반적인 OFDM 시스템과 “spreading transforms”를 사용한 OFDM 시스템의 BER을 추정해보면 약 4dB의 deep fading에 따른 시스템의 성능차이가 있다는 것을 알 수 있다. 또한 DUST / OFDM과 WHT / OFDM을 비교해보면, 손실된 입력 심볼의 정확한 복구를 위한 비모호성의 성질을 가지는 “spreading”변환 행렬을 사용한

DUSTs OFDM 시스템이 WHT OFDM 시스템에 비해서 약 2dB 정도 BER 성능향상이 있다는 것을 알 수 있다.



[그림 3.1] 각 시스템에 대한 spreading 효과



[그림 3.2] 각 시스템에 대한 BER성능