

MATLAB을 통한 OFDM 통신 시스템 설계 및 구현

김재성 20142280*

*호서대학교

**자동차 ICT공학과

요 약

모바일, 클라우드, 빅데이터 등 IT 산업의 패러다임의 변화로 인해 매년 증가하는 트래픽 추세에 따라 광 가입자망의 전송기술도 빠르게 진화하고 있다. 증가하는 가입자 망의 영역의 확장이 진행되어가면서 기술의 고도화와 표준화가 이어지고 있다. OFDM-PON(PON: Passive Optical Network) 기술은 multi-carrier 방식으로 대용량, 장거리 전송이 가능하며 각 carrier에 서비스 부가와 동적 대역 할당이 가능하여 융합 가입자 망에 적합한 기술로써, 기존 광 분배망의 구조 및 시설 교체 없이 사용할 수 있는 이점으로 현재 보편적으로 사용되고 있는 WIMAX, LTE등 가입자 망에서 지속적인 개발되고 있는 통신 방식이다. 현재 통신개발의 방향은 OFDM기술을 기반으로 기술의 영역이 확장 중에 있으며 이는 고속화, 대용량, 안정성을 목표로 더욱 기술의 고도화가 이루어질 것이다.

Abstract

Due to the paradigm shift in IT industries such as mobile, cloud, and big data, transmission technology of optical subscriber network is rapidly evolving as traffic trends increase every year. As the expanding domain of subscriber networks continues, technology upgrades and standardization continue. OFDM-PON (Passive Optical Network) technology is a multi-carrier method that enables high-capacity, long-distance transmission, and is suitable for converged subscriber networks due to the availability of service additives and dynamic bandwidth allocation to each carrier, and is currently being developed by WIMAX and LTE subscriber networks, which are widely used without the need for structure and facility of existing optical distribution networks. Currently, the direction of communication development is expanding the scope of technology based on OFDM technology, which will further enhance the technology with the aim of high speed, high capacity and stability.

KEY WORDS: OFDM, BER, (DE)MODULATION

1. 서 론

이동전화의 보급 증가율이 지속적으로 증가하고 모바일 유저의 평균 트래픽은 계속해서 증가하고 있다. 기존 문자/음성 서비스에서 스트리밍, 유튜브 등 동영상 콘텐츠의 대용량 서비스가 활성화되며 이에 따라 트래픽의 폭증을 수용할 수 있는 무선 네트워크의 용량 증대 기술이 절실히 필요성이 부각되고있다. 이동 통신 사업자들이 3G 서비스에 대한 투자와 상용화를 연기하는 상황에서 정보통신의 시장에서 초고속 서비스에 대한 사용자의 필요성이 부각되면서 기존의 데이터를 빠르고 효율적으로 전송하기위해 고속 데이터 통신이 불가능한 CDMA 기술을 대체할 수 있는 새로운 기술을 필요로 했다.

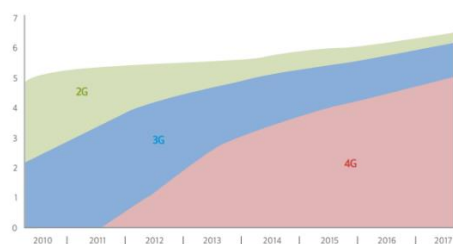


Figure 1. 시간-주파수 영역에서 OFDM 신호 표현

2004년 3GPP에서 발표한 OFDM기술의 표준화는 기존의 3세대 정보통신 기술의 새로운 방향을 제시하였으며 이는 현재 4세대 통신 기술 LTE의 기본이 되었다. 그리고 2020년 상반기 본격적으로 5G 통신기술을 적용하면서 동시에 주변 디바이스의 동시다발적인 기술 발전이 이루어졌다. 5G 기술의 바탕이 되는 OFDM 기술은5G에서 OFDM의 파형을 채택하여 사용할 정도로 완성도가 높은 기술력으로 인정받고 있다.

본 논문에서는 4G 통신기술부터 차세대 통신기술의 기본이 되

는 OFDM 기술에 대해 이전 기술과 차별된 기술의 구조를 확인하고 시각적으로 구현한다.

2. 본 론

2.1 OFDM 기술

2.1.1 시간-주파수 영역 신호표현

FDM 기술과 달리 인접 반송파의 직교성을 유지하고 있어 주파수 이용률이 높으며, 단일 주파수에 비교한다면 FADING에 강한 특성을 나타내기 때문에 CDMA를 대체할 수 있는 기술이다. 주파수 간 직교성을 통해 지연 확산으로 인해 발생하는 서브 채널 간 *ICI를 줄일 수 있으며, 주파수 대역에서 주파수 대역폭의 효율적 배치를 가능하게 한다. 기존 데이터 전송 방식은 일정 시간으로 나누어 전송하는 TDM 방식으로 이용했으나 (FFT)IFFT는 시간대역의 데이터 정보를 주파수 대역으로 변환하여 빠른 신호 처리를 가능하게 하고, 시간당 데이터 전송률을 향상시켰다.

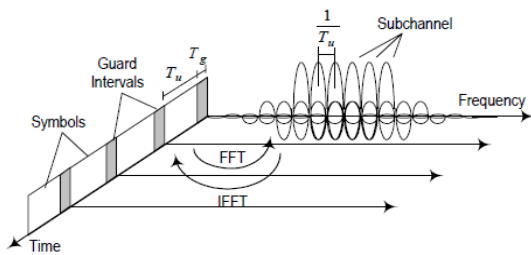


Figure 1. 시간-주파수 영역에서 OFDM 신호 표현

OFDM의 특징으로 직교성을 보자면 각 채널의 서브-캐리어를 약 50% 오버래핑 시키는 것으로 주파수 대역폭의 활용과 크로스 토크를 줄이기위한 해결방안으로 각 서브-캐리어는 심볼주기 T의 정수배 만큼의 차이를 가지게 함으로써 대역폭을 확보할 수 있는 방안을 적용하였다. 이는 외부환경에 매우 강하며 정보 전달능력이 우수한 하여 3G 데이터 전달량 보다 14배 더 많은 데이터 전송이 가능하다. 동시에 FDM(주파수 다중 전송)의 특성을 가지고 있어 전송로의 효율이 매우 높다.

2.1.2 Fast Fourier Transform

푸리에 변환(FT)은 시간에 대한 함수를 구성하고 있는 주파수 성분으로 분해하는 작업으로 함수 $x(t)$ 가 복소수 범위에서 정의되어 있고 르베그 적분이 가능할 때 이 함수의 푸리에 변환 $X(w)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$X(w) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-2\pi i \omega t} dt$$

이산 푸리에 변환(DFT)의 계산량 시간을 줄이기 위해 적용된 알고리즘으로 디지털 신호처리에서 사용되며 DFT 사용된다. 정의에 따라 계산하면 $O(n^2)$ 의 연산이 필요하지만, FFT를 이용하면 $O(n \log n)$ 의 연산만으로 가능하다.

일반적으로 사용되는 고속 푸리에 알고리즘은 **Cooley-Tukey algorithm**으로 보통 크기 n 을 재귀적으로 2등분하여 분할 정복을 적용하기 때문에 $n = 2k$ 인 경우에 많이 적용된다. 하지만 일반적으로 n_1 과 n_2 는 같을 필요가 없으며, 따라서 n 이 임의의 합성수일 때에도 적용 가능하다.

$$f_j = \sum_{k=0}^{n-1} x_k e^{-\frac{2\pi i}{n} jk}$$

$n=4$

$$\begin{bmatrix} f_0 \\ f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_0 & W_0 & W_0 & W_0 \\ W_0 & W_1 & W_2 & W_3 \\ W_0 & W_2 & W_4 & W_6 \\ W_0 & W_3 & W_6 & W_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & W_0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & W_1 \\ 1 & 0 & W_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & W_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} W_0 & W_0 \\ W_0 & W_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ x_2 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} W_0 & W_0 \\ W_0 & W_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_3 \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

2.2 OFDM 시스템의 구현

4세대 통신 시스템의 기초가 되어지는 OFDM 시스템은 LTE 통신의 기초 기술로서 응용되어 왔지만 과정과 변수에 따른 결과차이를 이해하기 위해서는 구조를 파악해야 한다. MATLAB은 Math Works사에서 개발한 수치해석 및 프로그래밍 환경을 제공하는 공학 소프트웨어로 데이터 혹은 함수의 그래프(시각화)를 구현기능을 제공한다. MATLAB을 통해 OFDM 통신기술의 구조와 시각적 결과를 확인할 수 있는 프로그램을 구현하고 SNR, FFT-Level변수에 따른 변화를 분석한다.

2.2.1 수직(직교)성(Orthogonality)

수직성은 OFDM 시스템에서 핵심이 되는 기술로서 주파수 대역폭의 용량을 줄이고 같은 시간동안 FDM의 2배의 정보 전송을 가능하게 한다. 동일 주파수 대역폭에서 각각의 서브캐리어 주기를 심볼 주기의 크기만큼 배치해주는 것으로 통신 시스템의 데이터 전송 효율 향상과 동시에 왜곡 문제를 해결할 수 있다.

$$\text{Symbol period} = \frac{1}{\Delta f} \quad (1)$$

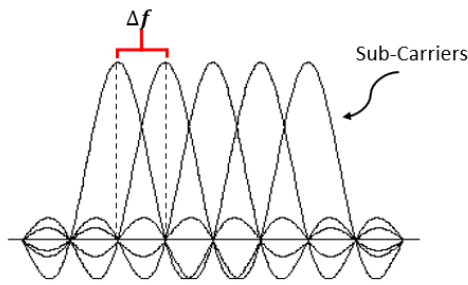


Figure 2. 서브-캐리어 수직성

2.2.2 Guard Interval

주파수분할전송방식(FDM)은 시간에 따른 주파수를 일정 대역으로 분할하여 전송하는 방식으로 기존 통신방법에서는 서브 캐리어 간의 혼합 방지를 위해 Guard Band를 각 서브-캐리어에 배치해주는 방식으로 문제를 해결했지만 OFDM시스템에서는 주파수의 수직성을 통해 주파수 대역의 효율을 개선시켰다.

반면 시간 대역에서 시간 간격에 따른 주파수 대역의 전송 방식에도 문제가 발생하는데 페이딩, 데이터확산 등 신호 전송의 문제가 여기에 해당한다. 주파수 대역이 서로 영향을 미치는 경우를 대비하여 시간과 시간의 간격(버퍼)을 두어야한다. 버퍼를 데이터 행렬의 헤더에 배치하는 것으로 주파수 대역 시간대를 구분 지을 수 있다. 버퍼는 NULL값이 아닌 데이터 행렬 후측 25%를 헤더에 복사하는 순환 확장(Cyclic Extension) 방식을 적용하는 것으로 페이딩, 데이터 확산율을 감소시킬 수 있다.

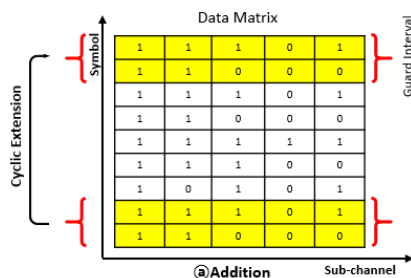


Figure 2. Data Cyclic Extension

3. 결과 및 해석

3.1 FFT레벨과 SNR 값에 대한 BER변화

데이터의 이동에는 변조와 선로이동시 잡음 성분이 순수 데이터에 함축되면서 수신 데이터의 데이터는 송신한 데이터와 비교했을 때 완전한 데이터라고 볼 수 없다. 잡음성분이 데이터의 비트(bit)로부터 발생시키는 error의 비율 BER(Bit Error

Ratio)이 프로세스를 거치면서 함축되게 되는데 본래의 데이터가 손상되거나 사라지는 문제를 일으킨다. FFT LEVEL를 높이는 것으로 BER을 감소시킬 수 있다.

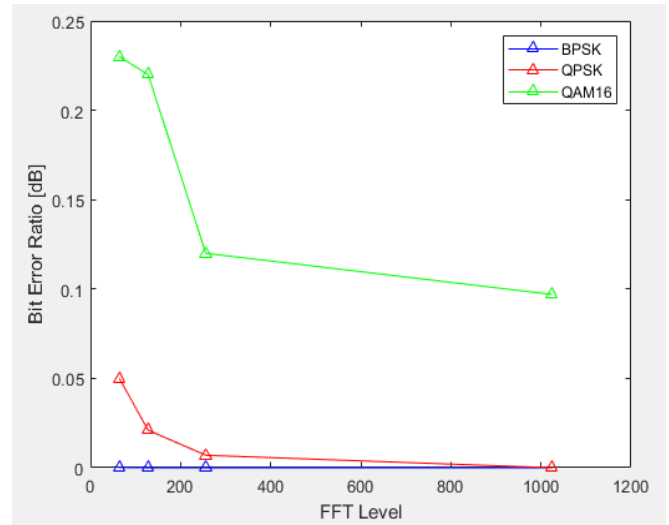


Figure 1. FFT Level-BER 상관 그래프

Figure1은 FFT-Level과 BER의 상관 관계를 그린 그래프로 각 Modulation 방식에 따라 BER 발생량이 다르며 같은 FFT Level에서 볼 수 있듯이 Symbol의 수가 많을 수록 많은 에러를 함축하며 Level을 증가시킬 수록 BER이 감소하는 것을 볼 수 있다. Level을 증가시킬 수록 데이터 Matrix의 행을 늘리게 되어 각 행에 속해 있는 데이터를 모두 변조하여 전송하는 과정을 거치게 된다. 결과적으로 한 행당 처리해야할 데이터량은 감소하게 되지만 처리해야할 많은 행이 생기게 되어 연산 시간이 소요하게 된다.

Figure 2를 본다면 높은 FFT LEVEL을 가질 수록 더욱 선명한 이미지를 출력하는 것을 확인할 수 있는데 결과적으로 BER의 수치가 낮아지면서 Demodulation 데이터 복원과정에서 Noise가 적은 이미지로 즉, 데이터 손실이 적은 결과를 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 논문은 OFDM기술을 MATLAB CODING을 통해 구현하고 특징과 구조를 확인하였다. 5G 이동 통신을 이해하기 위해서는 OFDM 시스템의 파형 구조를 이해할 수 있어야한다. 파형의 수직성은 데이터를 고속으로 송수신을 유지하는 동시에 데이터를 외부 요인으로부터 보호하기 위해 부주파수를 교차적으로 배치하는 것으로 페이딩, 데이터 확산 등 혹독한 환경에서도 데이터를 보호할 수 있게 되었고 OFDM 기술의 핵심으로 사용되어 지고 있다. 2020년부터 상용화된 5세대(5G) 이

동통신 네트워크 기술은 이동 통신의 동시성, 고속화, 대용량성 등 많은 기술을 혁신적으로 이끌어 냈다. 많은 기술에서 4G와 5G의 기술적 차이를 알 수 없다는 의견이 있지만 이는 5G 시스템의 OFDM 파형을 채택하고 있고 5G의 이용률이 2020년 현재까지는 본격적으로 100% 활용되어 지고 있지 않기 때문이다. 무선 통신이 가능 한 구역을 CELL이라고 하며 5G 통신을 이용하기 위해서는 5G 전용 MODEM을 설치해야 하지만 CELL의 반경이 1km라는 점에서 기존 4G CELL 보다 반경이 좁아 CELL을 설치해야 하는 구역을 늘려야만 한다.

통신기술의 흐름에 따라 IOT, 인공지능, ICT 등 많은 기술들이 동시 다발적으로 개발 및 발전되어지고 있다. OFDM을 기반으로 통신 기술이 개발될 것에 따라 통신 방식의 구조와 특징을 확인하고 빅데이터 시대에서 더욱 빠르고, 정확한 데이터 통신을 목표로 연구를 진행해야 한다.

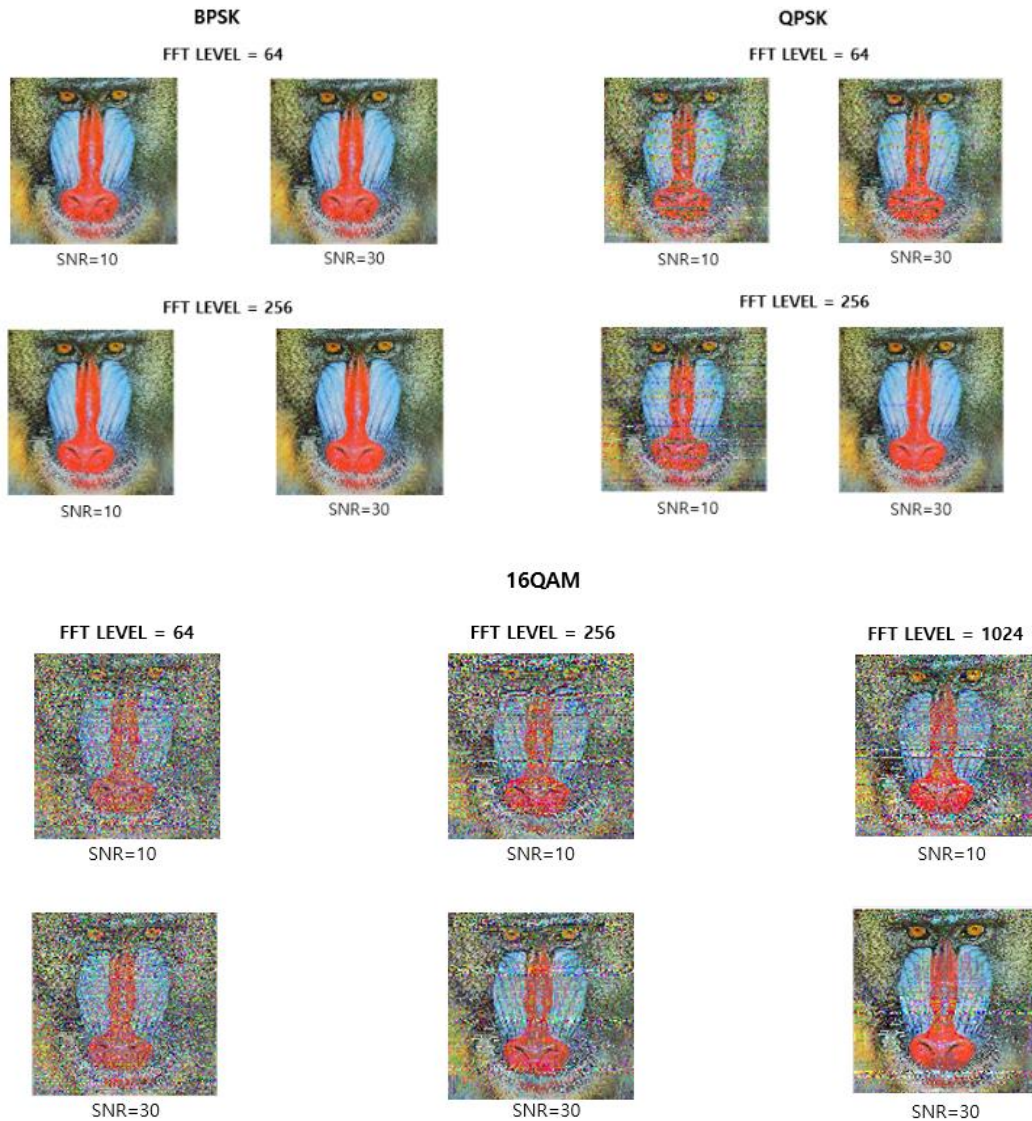


Figure 2. FFT Level, SNR에 따른 이미지 출력

참 고 자 료

- [1] Linear Companding Transform for the Reduction of Peak-to-Average Power of OFDM Signals / IEEE TRANSACTIONS ON BROADCASTING, VOL. 55 NO. 1, MARCH 2009 / Sulaiman A. Aburakhia
- [2] Linear Companding Transform for the Reduction of Peak-to-Average Power of OFDM Signals / IEEE TRANSACTIONS ON BROADCASTING / Yong Wang
- [3] ICI reduction technique by split OFDM / IEICE Communications Express, Vol.2, No.4, 154-160 / Kei Obara

참 고 문 헌

- [4] 국내 모바일 트래픽 현황 및 전망 / 2017.12 / 한국전자통신연구원 ETRI