

# 지상파 디지털 TV 전송을 위한

## 전송 효율에 관한 연구

한 석 균\*, 최 성 진\*, 이 광 직\*

서울산업대학교 매체공학과\*

### A Study on the Transmission Efficiency for terrestrial Digital TV

S.G. Han\*, S.J. Choi\*, K.J. Lee\*

\*Seoul National Polytechnic-Univ

#### abstract

This paper suggests an OFDM scheme that can efficiently cope with the interference problem when a digital system is under the influence of NTSC analog broadcasting system.

#### 제 1 장. 서 론

전파에 정보를 실어 송·수신함에 있어 외부 전파원으로부터 발생하는 간섭은 정보의 전달 효율에 지대한 영향을 미치는 인자이다. 따라서, 이종(異種) 송신원이 발생시키는 전파로 인해 야기되는 간섭에 효과적으로 대응할 수 있는 대책을 마련하는 것은 양질의 방송 서비스를 위해 필수적이다. 새로이 도입되는 디지털 방송의 경우에도 마찬가지로 문제가 발생한다. 새로운 형태의 시스템이 도입되어 기존의 시스템과 완전히 교체되는 시점까지는 기존의 시스템과 새로운 시스템이 공존하여야 한다. 그러나 방송에 사용되어 질 수 있는 주파수 대역은 더 늘어나지 않고 한정되어 있으므로 새로운 시스템은 양자가 공존하는 기간동안 기존의 시스템과 대역을 공유하거나 기존의 시스템이 사용하지 않는 틈새의 대역을 사용해야 하고, 이 경우 각자가 사용하는 대역이 인접하게 되어 상호간에 간섭이 일어날 가능성이 높아진다.

이러한 상황에서 정보의 디지털 전송을 가능하게 하는 동시에 간섭을 적게 할 수 있는 대안으로 연구된 것이 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 전송방식이다.

OFDM 방식은 원래 군사용 무선통신을 위해 연구가 시작되었고, 1990년대에 이르기까지도

데이터 통신을 중심으로 연구가 진행되어 왔으나 최근에는 지상파 TV에 디지털 방식이 도입됨에 따라 TV 신호의 전송과 관련한 연구도 활기를 띠고 있다.

본 논문에서는 지상파 TV를 디지털 방식으로 송신할 때 기존의 방송시스템 즉, 아날로그 방송전파와 대역을 공유하게 됨으로써 발생하게 되는 신호의 열화를 막기 위한 방안을 제시하는 것을 목적으로 한다.

다시말해 아날로그에서 디지털 방식으로 전환하는 과도기에 아날로그 방식의 방송 시스템과 공존할 수 있는 전송시스템의 구현을 목적으로 한다. 따라서 이 시스템은 기존의 방송 시스템이 사용하지 않는 채널 및 각 채널들 사이에 존재하는 빈 영역을 사용해 전송한다고 전제한다. 그런데 이처럼 분산된 채널을 통해 신호를 전송하고 수신하게 되면 수신측에서 어떻게 다른 많은 신호들 사이에서 디지털 신호만을 분리해 낼 것인가가 문제가 된다.

본 논문에서는 수신기에서 조합필터를 사용해 전송영역 밖의 모든 신호를 소거하는 방식에 의한 시스템을 고찰의 대상으로 하며, 제한된 주파수 대역의 효율적 활용을 위해 아날로그 시스템과 디지털 방식이 공존할 때 문제가 되는 채널 상호간의 간섭이 가지는 특성을 바탕으로, NTSC방식의 전파가 OFDM 시스템에

대한 간섭원으로 존재하는 상황을 가정하고, NTSC 방식 TV의 color bar 신호가 나타내는 PSD(Power Spectrum Density)로 부터 NTSC 신호가 가지는 기본적인 특성을 파악한다.

OFDM 시스템이 간섭에 대해 강건성을 갖도록 하기 위해

- 1) OFDM 신호에 대해 필터를 이용한 Pulse Shaping을 한다.
- 2) Adaptive Bit Allocation - 각 송신채널의 상황을 고려하여 최적의 전송효율을 얻을 수 있도록 정보량을 일정한 계획에 의해 분배한다.

Pulse shaping은 신호가 점유하는 대역을 제한하여 채널영역 외부의 신호를 차단하는 동시에 이중신호간에 발생하는 상호간섭의 가능성을 줄여줄 것으로 기대되며, Adaptive bit allocation 역시 간섭의 크기가 최소가 되는 채널에 대해 우선적으로 전력을 부가함으로써 간섭의 영향이 최소가 되는 채널군을 통한 전송을 가능하게 함으로써 대역의 사용효율을 극대화하는 역할을 하게 된다.

## 제 2 장. OFDM SYSTEM

### 1) OFDM의 개요

OFDM 방식은 사용하는 주파수대역 전체를 통해 신호가 순차적으로 전송되는 기존의 시스템과 달리 전체 사용 가능한 주파수 대역을 N 개의 부채널로 분할하고 순차적 데이터 성분을 일정 시간간격에 따라 샘플링하여 병렬로 처리하여 전송하는 방식으로 이 시스템은 여러 개의 신호를 병렬로 처리하므로 페이딩이나 임펄스 간섭에 의해 초래되는 신호의 열화가 넓은 신호 영역에 분산되어 희석되는 효과도 얻을 수 있다. 따라서 예러가 발생하는 시점의 신호가 완전히 파괴되는 대신 동시에 처리되는 여러 개의 신호가 조금씩 왜곡을 일으키게 된다.

또한 디지털 시스템은 아날로그 시스템에 비해 신호의 해독구조가 간단하므로 신호의 복원율을 높일 수 있으며, 디지털 방식으로 전송할 경우 아날로그 전송시보다 저출력으로 전송하여도 수신이 가능하다. 디지털방식 전송의 낮은 출력은 아날로그 신호에 대한 간섭을 발생시키는 가능성을 적게 하므로 아날로그 시스템이 사용하지 못하는 주파수 대역을 사용할 수 있

다. 기존의 아날로그 시스템에 OFDM의 채널을 설정할 때 그림 1과 같이 한다.

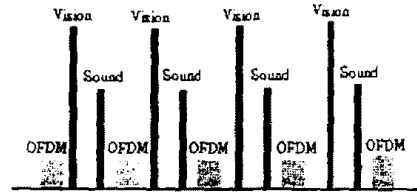


그림 1. OFDM의 채널설정

### 2) OFDM 신호의 생성

OFDM 변조의 첫 단계는 직렬로 입력되는 데이터 스트림을 일정한 시간간격  $T_s$ 에 의해 분할하는 것이다. 분할된 각각의 데이터열은 각각의 길이가  $T_s$ 인 정보 단위의 심볼을 구성한다. 사용하는 반송파의 총 수를  $N$ 이라 하고, 각각의 심볼이  $n$ 비트의 데이터로 구성된다면,  $K$ 비트의 데이터 블록이 변조될 때

$$K = n * M \quad (2-1)$$

의 관계가 성립한다.

$n$ 비트의 데이터열은 복소수 심볼  $a_i (i : 0, 1, \dots, N-1)$ 에 의해 표현할 수 있고 OFDM 신호  $[c(kT_A)]$ 는 여기에 복소수 반송파  $e^{j2\pi f k T_A}$ 를 합성한 것이다.

$$[c(kT_A)] = \sum_{i=0}^{N-1} a_i e^{j2\pi f k T_A} \quad (2-2)$$

위 식에서  $T$ 는 복소수 반송파의 샘플링 주기이며, 각 반송파들 사이에 직교성을 유지하려면

$$f_i = \frac{i}{T_s} \quad (2-3)$$

가 되어야 한다.

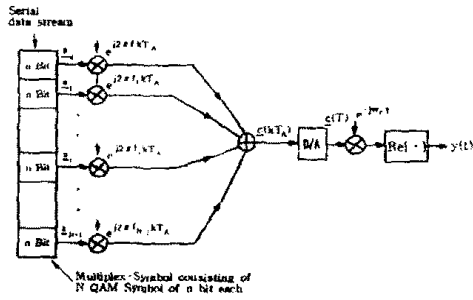
다시 합성신호  $[c(kT_A)]$ 는

$$[c(kT_A)] = \sum_{i=0}^{N-1} a_i e^{j2\pi \frac{ik}{N}} \quad (2-4)$$

심볼구간  $T_s$ 와 샘플링 주기  $T_A$ 간에  $T_A = \frac{T_s}{N}$ 라는 관계가 성립하므로

$$[c(kT_A)] = \sum_{i=0}^{N-1} a_i e^{j2\pi \frac{ik}{N}} \quad (2-5)$$

로 된다.  
 지금까지의 과정을 요약해 블록도로 표시하면 그림 2와 같다.



- $a_i$  : complex QAM symbol
- $T_A$  : sampling period
- $T_s$  : multiplex symbol period
- $c(kT)$  : OFDM signal
- $y(t)$  : OFDM bandpass signal
- $W_c$  : angular frequency of 1st IF-carrier

그림 2. OFDM 신호의 생성과정

그림에서 D/A 변환기를 거쳐  $[c(kT_A)]$ 는 복소수신호  $c(t)$ 로 변환된다. 여기서 발생한 복소수신호  $c(t)$ 에 의해 RF반송파 변조를 한다.

시간 영역에서 하나의 심볼주기  $T_s$  에 대한 다중 반송파 신호는

$$S(t) = \text{rect}\left(\frac{t}{T_s}\right) \sum_{i=0}^{N-1} e^{j2\pi f_i t} \quad (2-6)$$

로 주어지며 아래 그림에 보인 것들과 같은 형태를 띤다.

그림 3 에서  $f_i = f_c + \frac{i}{T_s}$  이며  $f_1$ 은 사용되는 가장 낮은 주파수 이다.

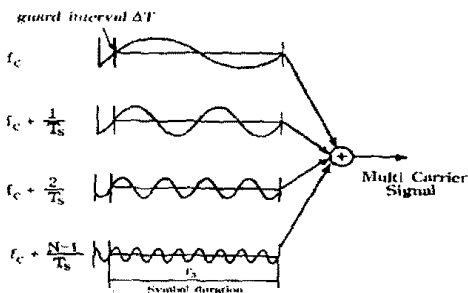


그림 3. 시간 영역에서의 OFDM 신호

$s(t)$ 에 대하여 푸리에 변환을 하여 주파수 영역의 신호  $s(f)$  를 생성한다.

$$S(f) = T_s \sum_{i=0}^{N-1} S_i[\pi T_s(f-f_i)] \quad (2-7)$$

주파수 영역에서  $s(f)$ 의 파형은 그림 4와 같은 형태이다.

직각과 형태를 갖기 때문에 이용 가능한 대역폭을 효과적으로 사용할 수 있으며, 반송파들 간에 누하가 적게 발생하고 선형왜곡에 대해 강건성을 유지할 수 있다.

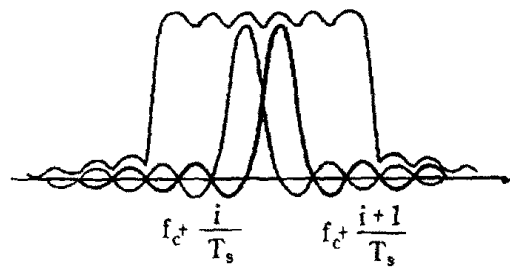


그림 4. 주파수 영역에서의 OFDM

그림 5는 OFDM시스템의 전형적인 신호처리 과정을 설명하는 블록도 이다. 맨 먼저 병렬 데이터가 입력되는 첫 단계에서 병렬 데이터로 변환된다.

변환된 데이터들은 일정한 비트수로 그룹을 형성하여 복소수 신호로 만들어 지며, 여기서 그룹화되는 비트수는 부반송파의 클러스터를 결정하는 요인으로 작용한다.

복소수들은 IFFT에 의해 기저대역에서 변조되고, 다시 직렬 데이터로 변조되어 전송되는 형태로 만들어 지고, 데이터열 내의 각 심볼들 사이에는 보호구간이 삽입되어 이 보호구간에서 디지털 신호는 다시 아날로그 신호로 변화되어 RF 채널을 통해 전송된다. 수신단에서는 송신과정의 역처리가 행해지는데, 처리과정 중에 등화기를 추가하여 송·수신 과정에서 발생하는 왜곡을 정정한다.

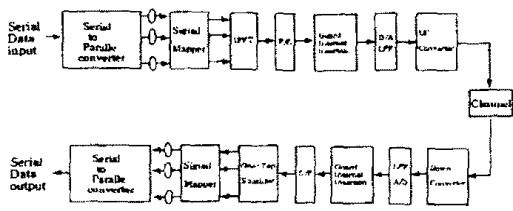


그림 5. OFDM system의 신호처리 블록도

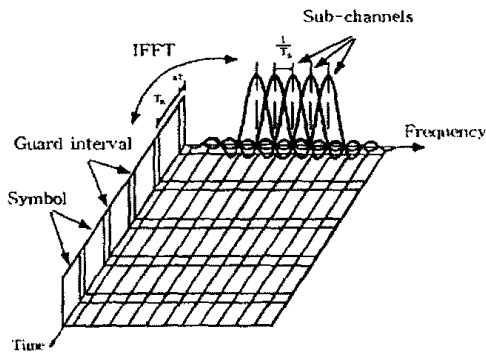


그림 6. Guard Interval을 이용한 OFDM 신호의 2차원 표현

### 제3 장. OFDM의 구현

본 장에서는 간섭에 강건한 OFDM을 구현하기 위해 앞에서 언급한 2가지 방법에 대하여 논한다.

#### 1. Pulse Shaping에 의한 OFDM의 구현

채널이 허용하는 제한된 대역폭을 보다 효율적으로 사용하려면 송신되는 각 부채널이 가능한한 대역을 적게 차지하도록 해야 한다. 그러나, 부채널들이 좁은 구역안에 지나치게 밀집하거나 간섭신호에 근접하게 되면 필연적으로 간섭의 가능성이 증가된다. 그러므로, 간섭을 일으키지 않는 동시에 각 부채널의 PSD를 정보신호에 필요한 필수 영역 이내로 제한하는 조치가 요구된다.

신호의 스펙트럼을 인위적으로 설정한 조건에 맞추어 조작하는 가장 용이하고 효율적인 방법은 필터를 사용하는 것이다. 실험 시스템에 조합필터를 사용함으로써 다음과 같은 효과를 얻을 수 있다.

- 1) 채널 간격을 작게할 수 있는 동시에 보호구간 근처에서 발생하는 대역폭 손실 및 S/N 비 열화를 적게할 수 있다.
- 2) 전송에 필요한 채널의 수가 적어지며 그에 따라 시스템의 구조도 더 간단하게 할 수 있다.
- 3) 간섭신호의 최대치에 근접한 위치에도 채널을 설정할 수 있다.

이러한 OFDM 신호에 대한 필터를 설계함에 있어 고도의 필터링 효과를 얻을 수 있도록 필터의 특성을 결정하는 이산차함수의 최적화 기법을 제안한다.

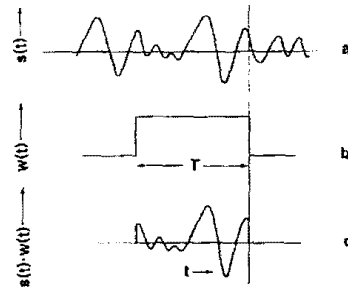


그림 7. 창 함수에 의한 Pulse Shaping

그림 7은 기본적인 형태의 직각창을 예로 창함수의 작용을 나타낸 그림으로 임의의 신호함수  $s(t)$ 에 창 함수  $w(t)$ 를 곱하면  $s(t)$ 는 창 함수  $w(t)$ 가 0이 아닌 값을 갖는 구간에서만 파형이 유지되고 그 외부의 영역에서는 신호의 전 스펙트럼이 소거된다.

#### 2. Adaptive Bit Allocation

채널용량은 특정 채널을 통해 전송 가능한 정보량의 상한선으로 이 장에서는 아날로그 TV신호에 의한 채널간 간섭이 존재하는 상황에서 이론적 채널용량을 계산한다.

이러한 가정하에 NTSC 방식의 아날로그 TV신호를 유일한 간섭원이라 가정하고 그 TV전송신호의 PSD에 WFT(Water Filling Theorem)을 적용해 최대 채널용량을 구한다.

신호  $S_x(f)$ 와 간섭신호  $S_n(f)$ 에 대하여

$$S_x(f) = (v_0 - S_n(f))^+ \text{ 이며,}$$

여기서  $v_0$ 는 전송신호의 출력 P에 대해

$\int S_x(f)df = F$  가 되도록 정하면,

$$(x) = \begin{cases} x & x > 0 \\ 0 & x = 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases}$$

를 의미한다.

왜냐하면, 채널용량의 관점에서 간섭에 의한 잡음이 신호의 크기보다 크다는 것은 곧 그 영역의 채널로 정보를 전송하는 것이 불가능함을 의미하기 때문이다. 그림 8은 출력분포 곡선에 WFT를 적용하는 그림이다.

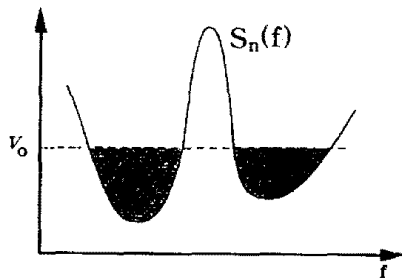


그림 8. WFT에 의한 채널용량 계산

사용 가능한 양질의 TV 신호를 얻으려면 BER이  $10^{-9}$  수준이어야 한다. 부호화를 거치며 적절한 에러 정정을 하는 경우  $10^{-3}$ 수준의 신호를  $10^9$ 으로 만들 수 있으므로 여기서는 BER을 10으로 정하여 실험한 결과 그림 10과 같이 NTSC방식의 PSD로부터 채널의 BPS(Bit per symbol)을 할당 할 수 있다.

그림 9의 두 그림을 비교해 보면 간섭이 약한 부분에서 constellation이 커지는 공통점을 발견할 수 있는데 이것은 allocation 과정에서 간섭이 작은 채널에 우선적인 정보 분배가 이루어지므로 당연한 결과이다.

#### 제 4 장 결론

아날로그 방식에서 디지털 전송방식으로 전환하는 과도기에 아날로그 방식의 방송 시스템과 공존할 수 있는 전송시스템을 구현하기 위해 기존의 방송 시스템이 사용하지 않는 채널과 채널의 사이에 존재하는 빈 영역에 디지털 OFDM 전송방식을 사용하여 주파수 대역을 효율적으로 사용할 것을 제시하였으며, NTSC color bar 신호의 PSD를 측정하여 두 주파수 간의 상호간섭을 측정한 결과 각 채널 사이에

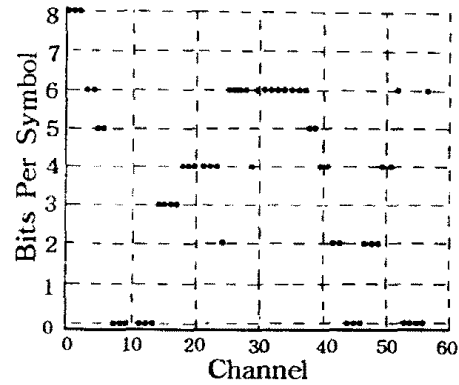


그림 9. 각 채널의 BPS

존재하는 비사용 대역과 아날로그 전송 대역 중 영상신호와 음성신호 대역 사이에 간섭의 크기가 최저치로 감소하는 부분에서 전송하는 방안의 현실성을 발견할 수 있었다.

그러나 OFDM 방식은 신호를 전송할 때 다중 경로 페이딩이나 채널등화가 여전히 해결해야 할 중요한 과제이며, 제한된 채널의 효율성이라든가 높은 신호 복원율과 같은 OFDM 방식이 가지는 장점을 살리기 위해서는 이러한 문제들에 대해 지속적인 관심과 연구가 요구된다.

#### \*참고 문헌\*

- [1] R. V. Paiement, "Evaluation of single carrier and multi-carrier modulation techniques for digital ATV terrestrial broadcasting," CRC report No. CRC-RP-004, Ottawa, Dec. 1994.
- [2] E. F. Casas and C. Leung, "OFDM for data communication over mobile radio FM channels-part 1: analysis and experimental results," IEEE Trans. Commun., vol. COM-39, No.5, May 1991.
- [3] R. W. Chang, "Synthesis of band-limited orthogonal signals for multichannel data transmission," Bell syst. tech. J., vol. 45, pp. 1775-1796, Dec. 1966.
- [4] E. Bidet, C. Joanblanq and P. Senn, "A fast 8K FFT chip for large OFDM single frequency networks," Proc. of the Intl. conf. on HDTV 94, Torino, Italy, Oct. 1994.
- [8] S. Hirotsaki, S. B. Hasegawa and A. Sabato, "Advanced groupband data modem using orthogonally multiplexed QAM technique," IEEE Trans. Commun., vol. COM-34, pp. 587-592, June 1986.