

## 디지털방송을 위한 OFDM의 개요

최성진

서울산업대학교 매체공학과 교수

### 1. 서론

일반적으로 넓은 의미에서 디지털 TV는 어떠한 영상 포맷이든지 디지털로 처리되는 것을 말하며, 최근 이러한 개념은 영상 포맷에 관계없이 디지털 압축기술과 디지털 전송기술을 적용한 TV 모듈을 포함하는 것으로 의미가 옮겨가고 있다.

디지털 TV 방송의 전송기술 분야는 다채널 프로그램의 다중화, 오류정정 부호화, 및 디지털 변조로 세분화 할 수 있다. 이 세 부분은 상호 연계된 것으로 방식의 규격을 결정할 때 같이 고려해야 할 사항이며, 하나의 수신기가 다양한 매체로부터 디지털 TV 신호를 수신할 때 이 기술들이 최대한 일관성을 유지하는 것이 바람직하다. 즉, 위성, 지상파, 유선매체에 있어서 공유부분이 가능한 만큼 할 필요가 있다. 물론 이에 대한 반론의 여지가 없는 것은 아니다. 이를테면 매체의 전파전파 특성과 방해요소에 따라 최적의 전송기술들을 적용하다 보면 어쩔 수 없이 그 일관성을 지키기 어려울 수도 있으나, 장기적으로는 수신기 고스트에 크게 영향을 미치지 않을 수도 있다.

디지털 TV 방송용의 변조기법은 여러가지가 있으나 최근 디지털 TV 방송을 위해 유럽 규격으로 확정된 OFDM 기법, 미국의 Grand Alliance 규격으로 제안된 8-VSB 기법으로 대별할 수 있다. 두 기법이 각기 일장일단이 있으나, 그 나라의 전파환경과 서비스, 채널계획, 산업정책에 따라 장단점의 가중치가 달라질 수 있다.

그러나 디지털 TV 방송에 대해서는 이동체 수신에서도 일정한 품질의 영상 및 음성 등을 확보하기 위해 다중경로 페이딩 등 장애에 강한 변조방식이나 방송과 중계에서 동일 주파수를 이용(SFN, Single Frequency Network)할 수 있는 점등, 주파수의 효율적 이용이 가능한 변조방식을 채택하는 것이 중요하다. 이들의 특징을 구비한 유력한 변조

방식으로는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식이 적합하며 이 방식의 개발 및 실용화가 요청되고 있다.

따라서 본 논문에서는 OFDM/COFDM 연구 및 개발에 관한 전반적인 내용이 다루어질 것이고, OFDM/COFDM 사용의 동기와 이의 응용이 논의될 것이다. 또한 기술의 원리가 상세히 논의되어지고, 더우기 불안정한 채널 조건하에서 OFDM이 디지털 TV에 적용될 경우 고려해야 할 기술요소들을 조사해 본다.

### 2. 디지털 전송 시스템

대표적인 디지털 전송 시스템의 블럭도가 그림 1에 나타나 있다. 신호의 특성은 그 신호를 발생하는 정보 원천(source)에 따라 다르게 나타나는데, 예를 들어 음성신호나 영상신호일 수도 있고 광학 처리에 의해서 얻어진 신호일 수도 있다. 일반적으로 이러한 신호를 아날로그 신호라 하며 신호를 발생시키는 곳을 아날로그 원천이라 한다.

디지털 전송 시스템에서는 신호원에서 발생한 신호가 먼저 디지털 형태로 변환되어 원하는 수신단으로 채널을 통해 전송된다. 이때 디지털 신호는 전송되기 전에 채널 특성에 부합되도록 디지털 변조기를 통해 변조되어야 한다.

그림 1의 상단은 포맷팅, 원천 부호화, 암호화, 채널 부호화, 다중화, 변조, 주파수 확산, 다중 접속을 통하여 신호원에서 송신기로 신호가 변환되어가는 과정을 나타낸 것이고, 하단은 블럭도의 상단에서 수행된 역과정으로 신호를 처리하는 것이며 수신기에서 신호를 재생하는 부분을 나타낸다. 점선으로 나타낸 블럭은 모뎀으로서 초기에는 변조기와 복조기만 구성되었으나, 지난 20년 동안 여러 신호 처리 기능이 추가된 결과 현재는 그림 1의 점선 블럭의 신호처리 단계들을 선택적으로 포함하는 기능을 갖게

되었다. 모든 신호처리 단계 중 포매팅, 변조, 복조과정은 모든 디지털 전송시스템에 필수적인 구성 기능이며 그 외의 신호처리 단계는 모뎀내에서 여러가지 시스템의 필요에 따라 사용 여부가 결정된다

결정되어진다.

### 3. OFDM의 기술

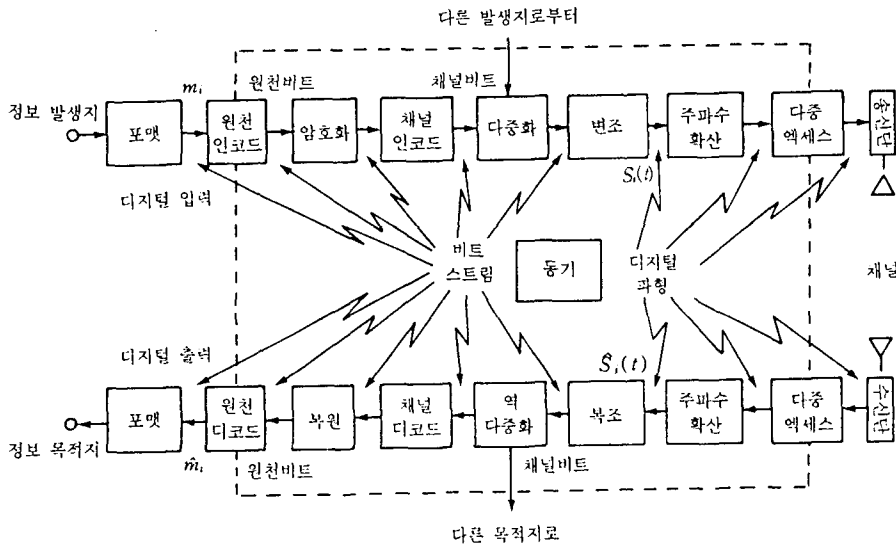


그림 1. 디지털 전송 시스템의 개요도

원천 부호화는 효율적으로 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하는 과정이다. 암호화는 신호를 도청하거나 거짓 신호를 채널에 삽입하는 것을 방지하기 위하여 사용된다. 채널 부호화는 주어진 전송 속도에서 전력이나 대역폭 효율이 감소되더라도 데이터의 오율이 개선되도록 하거나, 전력이나 데이터의 오율이 나빠지더라도 시스템의 대역폭을 감소시키거나, 혹은 대역폭이나 데이터의 오율을 희생하더라도 요구되는 전력을 감소시키는 역할을 한다. 주파수 확산은 자연적이거나 인위적으로 발생하는 간섭 영향을 줄여서 사용자의 통신 내용에 비밀을 보장하는데 이용될 수 있다. 다중화와 다중 접속은 다른 특성을 갖는 신호원에서 발생된 신호를 결합하는 역할을 수행한다.

그림 1에 나타난 신호처리의 과정은 대표적인 배열 순서로서 때에 따라 그 순서를 변형하여 설치할 수도 있다. 예를 들어 다중화 기능을 채널 부호화 앞에 놓을 수도 있고 또는 변조기의 앞에 놓을 수도 있다. 신호처리를 할 때 각 기능 요소들의 정확한 위치는 신호처리에 사용되는 기술에 따라

FDM의 연구 및 개발이 시작되지 30년이 지난 후, OFDM은 고속 디지털 통신에서 광범위하게 실행되고 있다. 최근에 디지털신호처리(DSP) 및 반도체 기술의 진보에 기인하여 대용량의 복잡한 계산과 고속 메모리와 같은 OFDM 실행의 초기 장애들이 이제는 더 이상 존재하지 않는다. 한편, 고속 푸리에 변환(Fast Fourier

Transform) 알고리즘의 사용은 병렬 데이터 시스템에서 요구되는 정현파 발생기 어레이나 coherent 복조와 같은 문제점들을 제거하였다. OFDM에 대한 인기가 성장하는 또 다른 이유는 최근에 OFDM의 최적 성능이 이론적으로 증명되었기 때문이다.

비록 OFDM이 디지털 데이터 전송을 위해 오랜기간 동안 사용되어 왔지만, 이것이 잠재성 있는 디지털 HDTV 방송을 위해 유럽과 여러 다른 나라에서 연구해 왔다. OFDM/COFDM 시스템에 대한 다양한 연구들과 기본형들이 개발되고 있으며 공식적으로 시범 보이고 있다.

이들 중에는 북유럽국가들이 개발한 HD-DIVINE(Digital-Video Narrowband Emission), Thomson-CFS/LER이 개발한 DIAMOND, CCETT에 의한 STERNE(Systeme de Television en Radiodiffusion NumeriqE), CEC(Commission of the European Communities)에 의한 dTTb(digital Terrestrial Television broadcasting), 영국의 NTL에 의한 SPEC TRE(Special Purpose Extra Channels for Terrestrial Radiocommunication Enhancements), 독일에 의해

HDTV(Hierarchical Digital TV Transmission) 등이 있다. 또한 COFDM에 대한 연구가 일본의 NHK에 의해 연구되고 있다.

북미에서는 FCC의 ACATS(Advisory Committee on Advanced Television Service)가 Zenith/Grand Alliance가 개발한 8-VSB 변조기술을 공식적으로 받아들였다. 어쨌든 이 위원회는 OFDM의 개발을 연구하고 주시할 것이라고 지적했다.

OFDM의 잠재적인 잇점에 고무된 미국과 캐나다의 몇몇 방송인들은 이 기술을 조사 연구할 것을 결심해 왔고, 최근에 미국과 캐나다의 여러 방송인 협회들은 콘소시움을 형성하고 이를 연구하기 시작했다. OFDM 대 VSB 변조 또는 HDTV 방송을 위한 QAM에 대한 토의는 과거에 시작되었고, 끝날 조짐을 보이지 않고 있다. 이러한 이유 중의 하나는 OFDM과 VSB 모두가 특별한 시스템에서의 실행을 기초로 하면 약간의 차이는 있을 수 있으나, 모든 성능면에서는 분명한 잇점을 가지고 있지 않기 때문이다. 또 다른 이유는 어떤 접근방법도 광범위하게 필드에서 테스트되지 못했다는 것이다. 최근에 제안된 8-VSB 변조 서비스 시스템이 PBS, MSTV, CableLab에 의해 Charlotte에서 테스트 되어졌다.

### 3-1. OFDM의 연구 현황

병렬 데이터 전송과 주파수 분할 다중화의 이용에 대한 개념이 1960년대 중반에 R. W. Chang에 의해 발표되었다. 이것보다 약간 이른 개발은 1950년대에 R. R. Mosier and R. G. Clabaugh에 의해 이루어졌다. 병렬 데이터 전송과 주파수 분할 다중화에 대한 미국 특허가 1966년에 Orthogonal frequency division multiplexing의 제목으로 신청되었고 1970년 1월에 발표되었다. 이것의 방법은 고속 등화(equalization)의 사용을 피하고, 이용 가능한 대역폭을 완전히 사용할 뿐만 아니라 다중경로 왜곡과 임펄스 잡음을 줄이기 위해 서브 채널들을 중첩하는 FDM과 병렬 데이터를 이용하는 것이다. 초기에는 군사용 통신에 이용되었다. 전기통신 분야에서는 이산 다중-톤(DTM:discrete multi-tone), 다중채널 변조, 다중반송파 변조(MCM:multicarrier multi-tone)로 널리 사용되었고 때때로 OFDM과 혼용해서 사용되었다. OFDM에서 각 반송파는 다른 반송파들과 직교하지만 이러한 상태가 MCM에서 항상 유지되지는 않는다.

초기 OFDM의 응용의 예로서, 높은 주파수율을 위해 만들어진 AN/GSC-10 데이터 모뎀이 있었다. 이것은 34개의 병렬까지 PSK 변조를 이용하는 낮은 율의 채널들이 다중화된 서브채널들의 주파수에 의해 발생되었다. 직교 주파수 배정은 연속적인 신호 성분 사이에 보호대역을 주기 위해 82Hz의 채널간격을 가지고 사용되었다. 또한 OFDM은 KINEPLEX와 ANDEFT와 같은 다른 고주파수 군사용 시스템에 사용되었다.

많은 수의 서브채널들을 위해, 병렬 시스템에서 요구되는 coherent 복조기와 정현파 발생기의 배열들이 불합리하게 고가이고 복잡하였다. 수신기는 서브채널들 사이에서 발생하는 누화를 수용하기 위해 복조하는 반송파의 정확한 위상과 정확한 샘플링 시간을 요구한다. Weinstein과 Ebert는 DFT(discrete Fourier transform)를 변복조과정의 일부로서 병렬 데이터 전송 시스템에 적용하였다. 또한 FDM에 의해 요구되는 반송파와 발진기와 coherent 복조기 열을 제거하는 것을 추가하여 완벽한 디지털 실행이 FFT를 수행하는 특수목적의 하드웨어에 의해 구축될 수 있었다. 최근에는 VLSI 기술의 진보로 고속의 대용량 FFT칩이 상업적으로 사용되게 되었다.

1980년대에 OFDM은 고속 모뎀, 디지털 이동통신, 고밀도 기록들을 위해 연구되었다. Hirosaki는 DFT를 이용한 다중화된 QAM을 위해 OFDM 기술을 연구하였다. 또한 그는 다중화된 QAM을 이용하여 19.2kbps의 음성대역(voiceband) 데이터 모뎀을 설계하였다. 이 시스템에서 파일롯-톤(pilot tone)이 반송파와 클럭 주파수 제어를 안정화하기 위해 사용되었고, trellis coding이 요구되는 CNR(carrier-to-noise)비를 줄이기 위해 적용되었다. 다양한 속도의 모뎀이 전화망을 위해 개발되었다.

이동 채널에서 발생하는 주파수 선택적 페이딩과 도플러 효과에 대처하기 위해 OFDM이 많은 심볼들상에 페이딩을 확산 시키기 위해 사용되어 왔다. OFDM은 레일레이(Rayleigh) 페이딩에 의해 초래되는 돌발적(burst) 에러를 효율적으로 임의 추출할 수 있다. 그 결과 완전히 파괴되는 여러 인접한 심볼들 대신에 많은 심볼들이 단지 약간만 왜곡된다. 따라서 이것은 심볼들의 대다수를 정확히 재복원하도록 한다.

1990년대에는 이동 라디오 FM 채널에서 광대역 데이터 통신, HDSL(high-bit-rate digital subscriber line), ADSL(asymmetric digital subscriber line), VHDSL(very high-speed digital subscriber line),

DAB(digital audio broadcasting), 디지털 TV와 HDTV 방송을 위해 OFDM이 연구되고 있다.

Casas는 이동라디오 채널에서 데이터 통신을 위한 OFDM/FM을 제안했다. 그는 기존의 FM 라디오 시스템을 개량함으로써 OFDM/FM 시스템을 값싸고 쉽게 구현시킬 수 있다고 주장하였다. 또한 Chow는 DFT를 가지고 다중톤 변조를 연구하였고, 성능과 가격의 모든면에서 고속의 데이터를 시청자에게 전송하는 ADSL(1.536Mbps), HDSL(1.6Mbps), VHDSL(100Mbps)을 위한 훌륭한 방법을 연구하였다.

가장 최근에는 OFDM 특히 COFDM이 연구되고 있으며, 디지털 오디오 지상파/위성 방송 뿐만 아니라 디지털 TV 및 HDTV 방송을 위해 수행되고 있다. DAB의 성공적인 실연으로 연구자들은 TV 방송을 위한 OFDM과 COFDM의 연구를 더욱 활성화 하고 있다. 방송을 위해 OFDM을 사용하는 목표는 고정 수신 뿐만 아니라 휴대용 및 이동수신기를 위해서 이다.

### 3-2 OFDM의 원리

기존의 직렬 데이터 시스템에서는 심볼들이 주파수 스펙트럼의 전체 이용 가능한 대역폭을 점유하면서 순차적으로 전송된다. 병렬 데이터 전송 시스템은 직렬 시스템에서 직면하는 많은 문제들을 완화할 수 있는 가능성을 제공한다. 병렬 시스템은 여러 순차적인 데이터 스트림을 동시에 전송함으로써 임의의 순간에 많은 데이터 성분들이 전송되어진다. 따라서 이런 시스템에서는 각각의 데이터 성분의 스펙트럼은 이용 가능한 대역폭의 적은 부분만을 점유하게 된다.

병렬적 접근방식은 주파수 선택적 페이딩을 많은 심볼상에 확산시키는 잇점을 갖는다. 이것은 페이딩이나 임펄스 간섭에 의해 초래되는 돌발적 에러를 효율적으로 임의의 추출할 수 있게 한다. 그 결과 완전히 파괴되는 여러 인접 심볼들 대신에, 많은 심볼들이 약간씩만 왜곡되게 된다. 이것은 FCC(forward error correction)없이도 대다수의 심볼들을 성공적으로 복원하게 한다. 전체 채널 대역폭이 많은 좁은 서브대역들로 분할되어지기 때문에 각각의 서브대역들에 대한 주파수 응답은 비교적 균일하게 된다. 각 서브채널이 원래 대역폭의 적은 부분만을 점유하기 때문에, 등화(equalization)는 잠정적으로 직렬 시스템보다 쉽다. 간단

한 등화(equalization) 알고리즘은 각 서브채널에서의 평균 제곱왜곡(mean square distortion)을 감소시킬 수 있고, 미분 엔코딩(differential encoding)의 실행은 전체적으로 등화(equalization)를 피하도록 하는 것을 가능하게 한다.

고전적 병렬 데이터 시스템에서는 전체 신호 주파수대역이  $N$ 개의 중첩되지 않는 주파수의 서브채널들로 분할된다. 각 서브채널은 분리된 심볼을 가지고 변조된다. 그리고 나서  $N$ 개의 서브채널들은 주파수 분할 다중화가 이루어진다. 서브대역들을 분리하기 위해 사용되는 3가지 방법이 있고 이들은 다음과 같다.

1. 서브대역들을 완벽하게 분리하기 위해 필터를 사용한다.

이 방법은 기존의 FDM 기술을 모방한 것으로, 필터 실행의 한계는 각 서브대역의 대역폭을  $(1+a)fm$ 으로 제한한다. 여기서  $a$ 는 roll-off 계수이고,  $fm$ 은 Nyquist 대역폭이다. 또 다른 단점은 반송파의 수가 많을 때 이에 대응하는 정합필터들을 배열하는 것이 어렵다는 것이다.

2. 대역 사용의 효율성을 증가시키기 위해 stagger QAM을 사용한다.

이 방법에서 변조된 반송파들의 각 스펙트럼들은 계속해서 초과 대역폭  $a$ 를 사용한다. 그러나 이들은 3-dB 주파수에서 중첩된다. 잇점은 합성 스펙트럼이 균일(flat)하다는 것이다. 분리성 또는 직교성이 데이터를 심볼의 절반에 의해 데이터를 옅색함에 의해 구현된다. 따라서 필터 설계를 위한 요구가 첫 번째 방법을 위한 요구보다 훨씬 덜 심각하다.

3. 병렬 데이터를 변복조하기 위해 DFT(discrete Fourier transform)를 사용한다.

이제 각 스펙트럼들은 sinc 함수이고, 대역이 제한되지 않는다. FDM은 대역통과 필터에 의해서가 아니라 기저대역 처리에 의해 구현된다. 이 방법을 사용하여 송수신기 모두는 DFT에서  $N^2$ 의 연산수를 약  $N \log N$ 의 연산수로 줄일 수 있는 효율적인 FFT를 사용하여 실행될 수 있다.

잘 알려진 바와 같이 직교 신호들은 수신기에서 코릴레

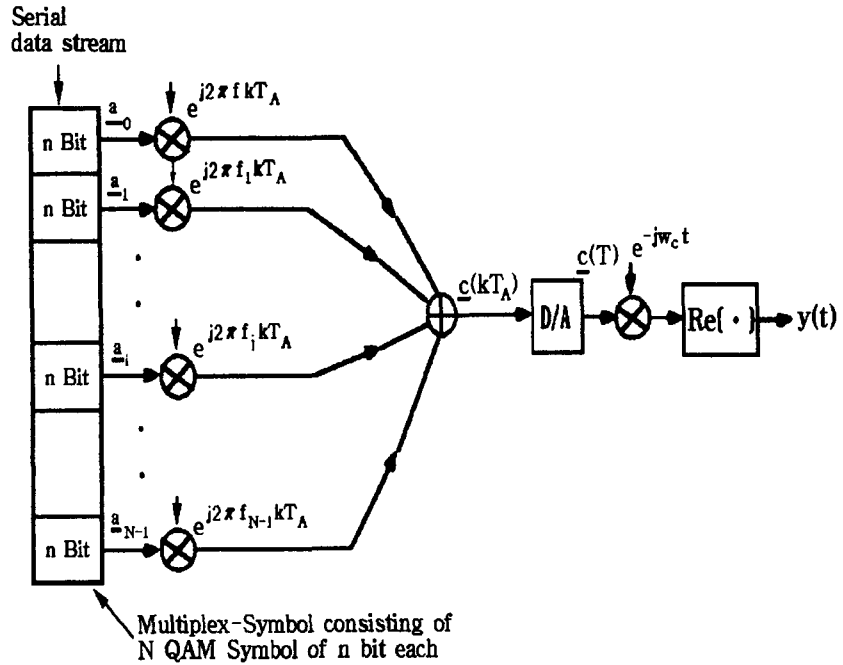
이선 (correlation) 기술에 의해 분리될 수 있다. 그러므로 채널들 사이에서 발생하는 심볼 간 간섭 (ISI)이 제거될 수 있다. 이것은 반송파 간격을 유용한 심볼 주기의 역수와 같도록 하는 것과 같이 반송파 간격을 조심스럽게 선택함으로써 실현된다.

OFDM은 다중반송파 변조의 형태로 간단히 정의할 수 있다. 여기서 반송파의 간격은 각 부반송파가 다른 부반송파들과 직교를 이루도록 조심스럽게 선택되어야 한다.

3-3 OFDM의 신호 표현

OFDM 변조의 기본원리는 서로서로 매우 근접한 상당히 많은 협대역 직교 반송파에서 진폭과 위상을 변조하는 것이다. 변조된 반송파들의 합은 시간 영역에서 하나의 신호를 형성한다. 각 단일 반송파를 변조하는 복소수 QAM 심볼들은 직렬 입력 데이터 스트림으로부터 유도된다. 이러한 목적을 위해 데이터 스트림은  $K = N * n$  정보 비트를 구성하기 위해  $T_s$  시간 구간으로 분리된다. 여기서  $N$ 은 반송파의 총수이다. 후단의 신호처리에서 이 비트들은  $K$ 비트의 데이터 블록을 얻기 위해 직렬/병렬 변환기에 의해 변환되어진다. 이러한 각각의 블록에서 하나의 복소수 심볼  $a_i$ 을 표현하기 위해  $n$  비트의 그룹들이 형성되어진다.

그림 2는 OFDM 변조의 원리를 나타낸다. 복소수 심볼  $a_i$ 는 복소수 반송파 신호들인  $e^{j2\pi f_i k T_A}$  과 곱하여지고, 결국 다음과 같은 신호를 형성하기 위해 합하여진다.



- $a_i$  : 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 변조의 원리

$$c(kT_A) = \sum_{i=0}^{N-1} a_i * e^{j2\pi f_i k T_A}$$

여기서  $T_A$ 는 복소수 반송파들의 샘플링 주기이고, 반송파 신호들의 직교성이 유지되도록 하기 위해  $f_i$ 는 다음과 같아야 한다.

$$f_i = \frac{i}{T_s}$$

이러한 관계들이 성립될 경우, 합성된 신호는 다음과 같

다.

$$c(kT_A) = \sum_{i=0}^{N-1} a_i * e^{j2\pi \frac{i}{T_s} kT_A}$$

심볼 구간  $T_s$ 와 샘플링 주기  $T_A$ 가 다음과 같이 선택 될 경우

$$T_A = \frac{T_s}{N}$$

최종적으로 합성된 신호는 다음과 같다.

$$c(kT_A) = \sum_{i=0}^{N-1} a_i * e^{j2\pi \frac{ik}{N}}$$

이러한 합성신호가 그림 2에서와 같이 후단의 D/A변환 기에 의해 처리되면, 시간함수인 연속적인 복소수 신호  $c(t)$ 가 형성된다. 이것은 RF 반송파를 변조하기 위해 사용된다.

위의 식에 의한 표현은  $1/N$ 의 성분을 제외하고는 IDFT(inverse discrete Fourier transformation)와 동등하다. OFDM 변조가 어떻게 실현되는지는 이 식으로부터 나타낼 수 있다.

OFDM 변조의 특징은 전송되는 OFDM 신호를 주파수 영역에 표현함으로서 나타낼 수 있다. 그림 3에 나타난 것과 같이 시간영역에서 하나의 심볼 주기  $T_s$ 에 대한 다중 반송파 신호는 다음과 같이 주어진다.

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

여기서  $f_i = f_c + \frac{i}{T_s}$  이고  $f_c$ 는 사용되는 가장 낮은 주파수이다.

푸리에변환을 사용하여 다음과 같이  $s(t)$ 에 대한 주파수 영역의 함수를 구할 수 있다.

$$S(f) = T_s \sum_{i=0}^{N-1} s_i[\pi * T_s * (f - f_i)]$$

결국 초래된 스펙트럼은 그림 4와 같이 직각형태(rectangular shape)이다.

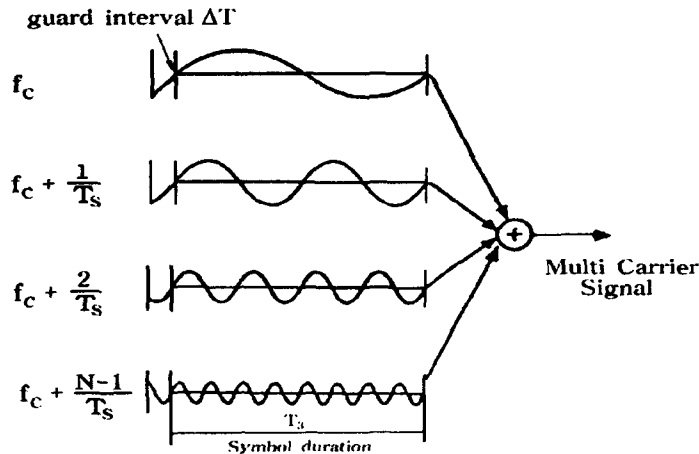


그림 3. 시간영역에서의 OFDM 표현

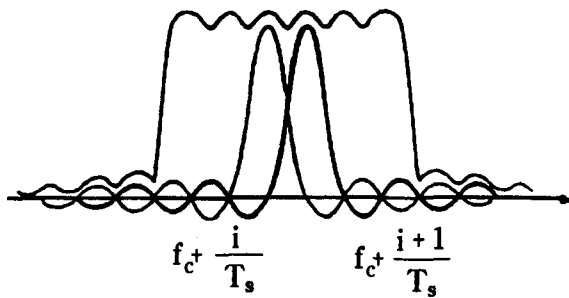


그림 4. 주파수 영역에서의 OFDM 표현

이것은 이용 가능한 대역폭의 효율적인 사용을 유도하고, 신호는 선형 왜곡에 대해 강건(robust)하도록 한다. 또한 반송파들 사이에서 일어날 수 있는 누화(crosstalk)를 거의 발생시키지 않는다.

반사에 의한 왜곡에 대해 OFDM 신호를 보호하기 위한 수단으로 그림 5와 같이 보호구간을 두개의 연속적인 심볼 사이에 삽입한다.

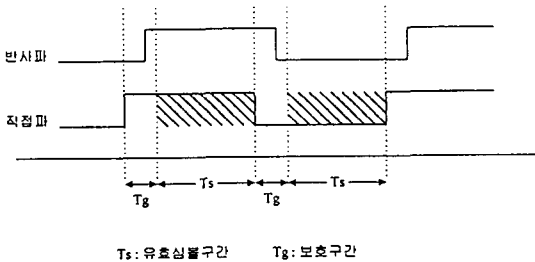


그림 5. 보호구간의 원리

간격  $T_s$  동안 신호가 해석되거나 복조되기 전에, 단일 주파수망(SFN)에서 공동 채널 간섭에 의해서 또는 신호의 지연에 의한 반향에 의해서 초래되는 왜곡이 해결되도록 보호구간  $\Delta T$ 가 선택되어야 한다.

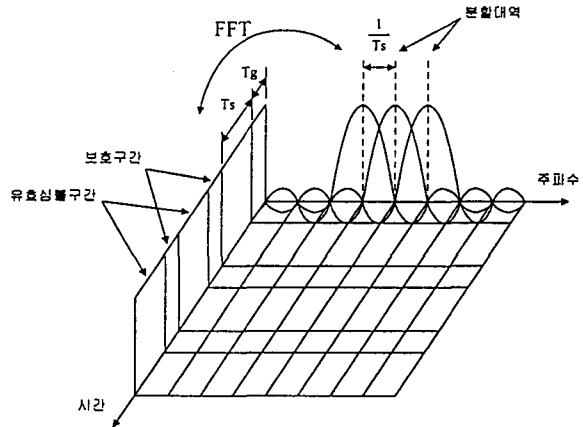


그림 6 시간-주파수 영역에 대한 OFDM 신호 표현

그림 6은 시간-주파수 영역 대한 OFDM 신호의 완벽한 표현을 나타낸다.

그림 7은 전형적인 FFT를 기초로 한 OFDM 시스템의 신호처리 과정을 나타낸다. 첫 번째 과정으로 입력되는 직렬 데이터는 직렬-병렬 변환기에 의해 직렬에서 병렬로 변환되어지고, 복소수를 형성하기 위해 각각  $x$ 비트로 그룹화된다.  $x$ 의 수는 16QAM 또는 32QAM과 같이 대응되는 부반송파의 신호 클러스터를 결정한다. 복소수들은 역 FFT(inverse FFT)에 의해 기저대역에서 변조되고, 전송을 위해 병렬 데이터에서 다시 직렬데이터로 변환된다.

보호구간(guard interval)이 다중경로 왜곡에 의해 초래되는 심볼간 간섭(ISI, intersymbol interference)을 피하기 위해 심볼들 사이에 삽입된다. 이산(discrete) 심볼들은 아날로그 형태로 변환되고 RF upconversion을 위해 저역필터링 된다. 수신기에서는 송신기에서의 처리와 역과정인 처리가 이루어진다. 하나의 탭등화기(one-tap equalizer)가 채널 왜곡을 정정하기 위해 사용된다. 필터의 탭계수들은 채널 정보를 기초로 하여 계산된다.

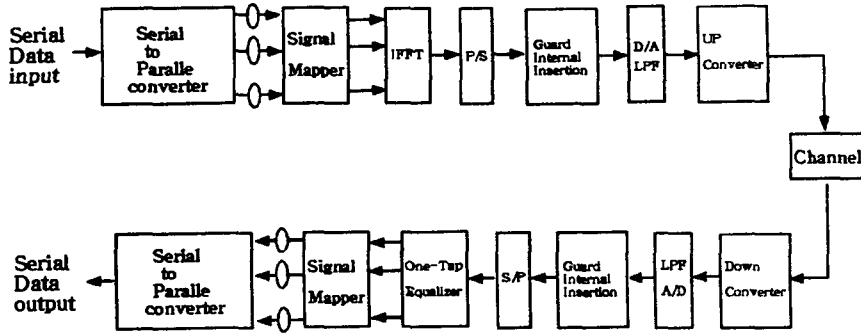


그림 7. FFT를 기초로 한 OFDM 시스템

#### 4. OFDM을 위한 기술요소

디지털 방송에 OFDM을 적용하기 위해서는 다음과 같은 채널 대역폭, 보호구간, 데이터 처리량, 심볼구간, 반송파의 수 등 중요한 요소들이 결정되어야 한다.

##### 4-1. ISI와 ICI 방지를 위한 보호구간

전송채널 왜곡에 의해서 유도되는 반송파간 간섭(ICI, intercarrier interference)과 심볼간 간섭(ISI, intersymbol interference)이 발생되지 않을 때, OFDM에서 서브채널들의 직교성은 유지될 수 있고, 수신기에서 각각의 서브채널들이 FFT에 의해 완벽히 분리될 수 있다.

그러나 실제 상황에서는 이러한 조건들은 얻어질 수 없다. OFDM 신호의 스펙트럼들이 엄격하게 대역 제한되지 않기 때문에, 다중경로와 같은 선형왜곡들이 인접채널에 에너지를 확산 시키고 그 결과 각 서브채널 사이에 심볼간 간섭(ISI)이 발생된다. 간단한 해결책은 왜곡이 중요하지 않도록 하기 위하여 심볼 구간 또는 반송파의 수를 증가시키는 것이다. 그러나 이 방법은 반송파의 안정도, 도플러 효과, FFT 크기의 관점에서 실행하기에 어려울 것이다.

심볼간 간섭을 방지하기 위한 한가지 방법은 주기적으로 확장된 보호구간(guard interval)을 만드는 것이다. 여기서 각 OFDM 심볼은 신호 자체의 주기적 확장에 앞서게 된다. 전체 심볼 구간은  $T_{total} = T_g + T$ 이다. 여기서  $T_g$ 는 보호구간(guard interval)이고,  $T$ 는 유용한 심볼 구간이

다. 보호구간이 채널 임펄스 응답 또는 다중경로 지연보다 길때, 심볼간 간섭은 제거될 수 있다. 그러나 반송파간 간섭 또는 대역내 페이딩은 계속적으로 존재한다. 보호구간 내 유용한 심볼 구간의 비는 응용 분야에 따라 변화될 수 있다. 보호구간의 삽입은 데이터 처리량을 감소시키기 때문에,  $T_g$ 는 일반적으로  $T/4$ 보다 작게한다.

보호구간을 위해 주기적 prefix를 사용하는 이유는 다음과 같다.

1. 수신기에서 반송파 동기를 유지하기 위해서, 장기간 silence 대신에 어떤 신호라도 항상 전송되어야 한다.
2. 주기적 콘볼루션이 전송 시스템을 모델하기 위해 OFDM 신호와 채널응답 사이에 계속 적용될 수 있다. 그림 6은 보호구간(guard interval)을 사용한 OFDM의 시간과 주파수에 대한 2차원적 표현을 나타낸다. 2차원적 신호 표현에서 심볼들은 주파수 영역에서는 중첩되어지고, 시간영역에서는 보호구간(guard interval)에 의해 분리되어진다. 또한 이러한 배열은 텔레비전 채널 특성과 잘 정합된다. 예를 들어 텔레비전 채널에서 시간 분산(dispersion)은 크고 주파수 분산은 덜 심각하다.

##### 4-2. 유용한 심볼구간

유용한 심볼 구간  $T$ 는 반송파 간격(spacing)과 coding latency에 영향을 미친다. 데이터 처리량을 유지하기 위해, 더 긴 유용한 심볼 구간은 신호 클러스터를 고정시킬 경우 반송파의 수와 FFT 크기의 증가를 초래한다. 실제로 반송파 오프셋(offset)과 위상 안정도는 2개 반송파가 얼마나 근접되어 위치될 수 있는나에 영향을 미친다. 만약 이동 수



신에 응용할 경우 반송파 간격(spacing)은 도플러 효과를 무시할 수 있을 정도로 충분히 커야만 한다. 일반적으로 유용한 심볼 구간은 채널이 하나의 심볼 구간 동안 안정되도록 선택되어야 한다.

#### 4-3. 반송파의 수

서브반송파의 수는 채널 대역폭, 데이터 처리량, 유용한 심볼 구간을 기초로 하여 결정되어진다. 반송파들은 유용한 심볼 구간의 역수 만큼의 간격으로 배열되어진다. 반송파들의 수는 FFT에서 처리되는 복소수 점들의 수에 대응한다. HDTV에 응용할 경우, 서브반송파들의 수는 데이터율과 보호구간의 요구사항을 수용하기 위해 수 천개의 범위가 된다.

#### 4-4. 변조방법

OFDM 시스템에서 사용되는 변조방법은 전력 또는 스펙트럼 효율성의 요구사항에 기초하여 선택되어진다. 변조의 형태는 앞에서 정의된 복소수  $d_n = a_n + jb_n$ 에 의해 지정되어질 수 있다. 심볼  $a_n$ 과  $b_n$ 는 신호 클러스터 내의 신호 점들의 수에 의존하여  $\pm 1, \pm 3, \dots$ 의 값을 갖는다.

예를 들어 16QAM에서는  $a_n$ 과  $b_n$ 이  $(\pm 1, \pm 3)$ 이고, QPSK에 대해서는  $\pm 1$ 로 선택되어질 수 있다. 일반적으로 각 서브채널에 적용되는 변조 방법의 선택은 데이터율의 요구사항과 전송의 강건성(robustness) 사이의 절충에 오로지 의존한다. OFDM의 또 다른 잇점은 다른 변조방법들이 계층화된 서비스(layered service)를 위해 다른 서브채널들 상에서 사용될 수 있다는 것이다.

시간과 주파수 다이버시티(diversity)를 이용함으로써 OFDM은 주파수 선택적채널에 데이터를 전송하는 수단을 제공한다. 어쨌든 이것은 페이딩 그 자체를 억압하지는 못한다. 주파수 영역에서 그들의 위치에 의존하는 각각의 서브채널들은 페이딩에 의해서 영향을 받을 수 있다. 이것은 전송되는 데이터를 더욱 더 보호하기 위해서 채널코딩의 사용을 요구한다. 이러한 채널코딩 기술 중에서 주파수와 시간 인터리빙(interleaving)과 결합된 TCM(trellis coded modulation)이 주파수 선택적 페이딩 채널을 위한 가장 효율적인 방법으로 간주되고 있다.

TCM은 신호 대역폭에 영향을 미치지 않고 높은 코딩

이득을 얻기 위해 코딩과 변조를 결합한다. TCM 엔코더에서,  $n$  비트의 각 심볼들은 set-partitioning 규칙을 사용하여  $n+1$  비트의 클러스터로 맵핑(mapping)된다. 이러한 처리는 클러스터의 크기를 증가시키고, 효율적으로 추가적인 redundancy를 trellis-code 신호에 추가한다. TCM 코드는 수신된 신호의 soft decision nature을 이용하는 soft decision viterbi 디코딩 알고리즘을 가지고 디코딩될 수 있다. 가우시안 채널상에 2차원적 TCM 코드를 위한 코딩 이득은 비트에러율(BER, bit error rate)  $10^{-5}$ 에 대해 약 3 dB 이다.

OFDM 이점들 중 하나는 광대역 주파수 선택적 페이딩 채널을 병렬이고 다중반송파 전송을 사용하여 연속적인 협대역 주파수 비선택적 페이딩 서브채널들로 변환시킬 수 있다는 것이다. 주파수 비선택적 페이딩 채널을 위해 특별히 설계된 TCM 코드를 사용함에 의해 연속적으로 OFDM 서브반송파들을 코딩하는 것이 지상파 방송을 위해 COFDM이 사용되는 주된 이유가 된다. 어쨌든 최상의 TCM 코드에 대한 연구가 현재 활발히 연구 중에 있다.

비록 trellis 코드들이 신호대 잡음비(S/N)를 개선한다 할지라도, 이 코드들은 임펄스 잡음 또는 돌발(burst) 잡음에서는 잘 수행되지 않는다. 돌발(burst) 잡음을 발생시키는 전기기계적 원천(source) 이외에도, 돌발 잡음은 NTSC co-channel 간섭과 데이터 누화에 의해 발생하는 위상 잡음에 의해 초래될 수 있다. 일반적으로 전송 에러들은 강한 시간/주파수 코릴레이션을 갖는다. 인터리빙은 시간영역에 다이버시티를 제공함으로써 채널 코딩에 중요한 역할을 한다. 인터리빙은 코릴레이션을 중단시키고, 디코더가 대역 전체를 통해 국부 페이딩을 줄이거나 제거하는 것을 가능하게 한다. 인터리빙 깊이는 긴 직선 에러들을 중단시키기에 충분할 정도로 커야만 한다.

### 5. OFDM이 디지털 TV방송에 적용될 경우 고려해야 할 요소

이 부분에서는 디지털 TV 방송에 OFDM이 적용될 경우 고려해야 할 사항들을 조사해 본다.

#### 5-1. ATV 채널 모델

백색 가우시안 잡음 채널에 대해 OFDM과 단일 반송파

변조는 동등한 성능을 가진다는 것에 주목하여 한다. 어쨌든 HDTV를 위한 방송 채널들은 여러가지 다른 손상(impairment)들로 인해 영향을 받는다. 즉, 수신기에 도착한 신호들은 랜덤 잡음, 임펄스 잡음, 다중경로 왜곡, 페이딩, 및 간섭들에 의해 영향을 받는다. 이론적 분석들과 필드 측정들을 통해, HDTV 전송 채널 모델들이 설정되어 왔다. 디지털 전송은 아날로그 전송보다 랜덤 잡음과 간섭 면에서 훨씬 좋은 성능을 나타냄이 잘 알려져 있고 증명되어 있다. 어쨌든 다중경로 왜곡과 페이딩과 같은 채널에 영향을 미치는 요소들을 어떻게 처리하느냐가 디지털 TV 방송의 성공을 위한 중요한 열쇠로서 고려된다. 다중경로 전파에 기인하여 다른 경로의 감쇠(cancellation)는 수 dB에서 50 dB 이상의 범위에서 다양한 페이딩의 홀(hole)에 의해 분리되는 적절한 피크의 필드를 발생시킨다. FCC에 의해 지적된 바와 같이, 대다수의 ATV 채널들은 UHF 채널에 할당될 것이다. UHF 대역의 최고 주파수에서 파장은 약 0.5m 정도로 매우 짧다. 이러한 hole과 peak의 특성은 레일리(Rayleigh) 분포로 알려진 통계적 분포에 의해 모델될 수 있다.

## 5-2. 다중경로 및 페이딩

적절히 설계된 보호구간, 인터리빙, 및 채널코딩을 가진 OFDM은 매우 강한 반향(echo)을 다룰 수 있다고 믿는다. 다중 반향들로부터 초래되는 BER 증가는 컴퓨터 시뮬레이션과 연구실 실험에 의해 계산되어질 수 있다. 강한 다중경로 전파에 잘 견딘다는 가정하에 OFDM은 도시 지역과 C/N이 충분히 높은 이동수신에서 전방향성 안테나의 사용을 가능하게 한다. 채널 페이딩 이외에도 송신기 탑의 진동(swaying), 비행기의 불규칙적인 움직임에 의한 진동(fluttering) 및 나무의 흔들림 등에 의해 초래되는 시변(time-variant) 신호들은 다이내믹 고스트들을 발생시키고 결국은 디지털 전송에서 에러를 유발시킨다. trellis 코딩의 사용 뿐만 아니라 병렬 전송구조를 가진 OFDM 시스템들은 페이딩 및 시변 채널 환경에서 이점을 나타낸다.

## 5-3. 위상 잡음 및 지터(jitter)

OFDM 시스템은 반송 주파수 에러에 의해 훨씬 더 영향을 받는다. 수신기에서 작은 주파수 오프셋은 시스템 성능

면에서 서브반송파들의 수와 주파수 오프셋을 급속히 증가시키는 성능의 저하를 가져오면서 서브채널들 사이에서 직교성을 손상시킨다. 송신기 업-컨버터, 수신기 다운-컨버터 및 튜너는 위상 잡음과 지터에 영향을 미친다. 가능한 해결책은 복조에서 위상 잡음을 추적하기 위해 파일럿을 사용하는 것이다. 어쨌든 이것은 유효 데이터 처리량을 감소시키는 댓가를 치루면서 행하여진다.

## 5-4. 반송파 복구(recovery) 및 등화

낮은 C/N, 강한 간섭 및 페이딩과 같은 심각한 채널 조건하에서도, OFDM 신호는 강건한 반송파 복구(recovery)를 제공하기 위해 설계되어야 한다. 반송 주파수 검출은 OFDM 설계에서 가장 큰 제한점들 중의 하나가 된다. 파일럿과 참조 심볼(reference symbol)들의 사용은 반송파 복구와 서브채널 등화를 위한 효율적인 방법들이다. 파일럿은 사인파 또는 알려진 2진 데이터가 될 수 있고, 참조 심볼은 chirp 또는 의사 랜덤(pseudo-random) 데이터가 될 수 있다. OFDM에서 2차원적 신호 특성은 파일럿과 참조 심볼의 삽입이 매우 유연(flexible)하다는 것이다. 파일럿들은 주파수 영역(고정 반송파)에서 삽입될 수 있고, 참조 심볼들은 시간 영역(고정 데이터 패킷)에서 삽입될 수 있다. 이들이 신호 프레임 구조속의 미리 정해진 위치에서 전송되기 때문에, 프레임 동기가 복구될 때는 언제든 수신기에서 이들이 검출될 수 있다. 주파수 선택적 채널에서는 파일럿들과 데이터의 복소수 페이딩 포락선들 사이에 높은 코릴레이션이 보장되어야 한다. 적절한 복소수 정정은 파일럿들 사이에서 보간(interpolating)에 의해 이루어질 수 있다. Cimini는 복소수 페이딩 포락선의 실수부와 허수부에서의 보간은 진폭과 위상에서의 보간을 능가한다고 연구 보고했다. 단일 반송파 시스템에서는 등화가 시간 영역에서 행하여진다. N-tap 등화기를 가진 QAM 시스템에서는 입력 심볼당 약 N개의 복소수 곱 또는 4N 실수 곱-누적(accumulation)이 이루어진다. VSB 시스템에서는 심볼들이 같은 데이터 처리량에 대해 QAM 시스템보다 2배 이상 필요하다. QAM 시스템과 같은 반향 범위를 갖었다고 가정하면, 2N-tap 실수 등화기가 요구된다. 이것은 입력 심볼당 약 2N개의 곱-누적의 복잡한 계산이 필요하다. OFDM 시스템에서 다중경로 지연이 보호구간보다 작다고 가정하면, 주파수 영역 1-tap 등화기가 진폭과 위상

왜곡을 정정하기 위해 각 서브채널에 사용될 수 있다. 이것은 데이터 심볼당 4개의 실수 곱-누적에 대응한다. 또한 FFT 연산은  $C \cdot \log_2 M$ 에 비례하는 계산의 복잡성이 요구된다. 여기서  $M$ 은 FFT의 크기이고,  $C$ 는 FFT의 수행에 의존하는 1.5에서 4사이의 상수이다. OFDM 시스템에서 사용되는 파일럿과 참조 심볼의 수는 부하 용량과 전송의 강건함 사이에서의 trade-off를 결정한다. 시뮬레이션 결과들은 등화를 가진 OFDM 시스템이 선형등화기를 가진 단일 반송파 시스템 보다 좋은 성능을 보인다.

### 5-5. NTSC 간섭

디지털 텔레비전과 HDTV 방송에 대해 기존 NTSC로부터의 잠정적 간섭이 고려되어야 할 필요가 있다. OFDM 시스템에 있어서 NTSC 간섭에 대한 강건함은 실행되는 에러정정 코딩의 정도와 적용되는 인터리빙의 양에 의존한다. 또한 NTSC로부터의 간섭의 영향을 더욱 더 줄이기 위해서는 단일 NTSC 신호 스펙트럼의 연구가 필요하다. NTSC 스펙트럼은 영상 반송파, 색 서브반송파, 음향반송파로 구성한다. 영상과 색신호들의 각각은 15,750Hz의 라인 주파수에 의해 일정 간격을 유지하는 이산 성분들로 구성되어진다. 영상과 색부분들은 라인 주파수의 절반에 의해 서로서로 엮혔다. NTSC 스펙트럼의 이러한 지식을 기초로 하여 OFDM 반송파 간격이 선택되어지고,  $7.875 \times n$  kHz( $n$ 은 양의 정수) 와 같이 NTSC 주파수 성분들 사이에서 엮혔을 수 있다. 어쨌든 이러한 개념은 증명될 필요가 있다. NTSC 간섭에 대처할 다른 접근 방법은 스펙트럼 형태를 이용하는 것이다. 이것은 강한 NTSC 신호 에너지가 기대되는 즉, FFT 데이터 배열내의 대응되는 값을 0으로 처리되는 임의 스펙트럼 영역에서 OFDM 반송파들을 사용하지 않으므로서 이루어진다. 에러방어와 결합된 스펙트럼 형태는 상당히 높은 수준의 간섭에 견딜 수 있다. 분명히 이득은 데이터 처리량의 댓가로써 얻어진다. 데이터 처리량은 더 높은 전송 전력을 가진 더 큰 클러스터를 사용하므로써 증가될 수 있다. 최근에 Trellis coding과 Viterbi decoding이 간섭을 취급하는 더 좋은 방법으로 고려되어지고 있다. OFDM으로부터 NTSC로의 간섭에 있어서는 스펙트럼 형태는 거의 잊음을 가지지 못한다. NTSC 영상, 색 및 음향 반송파들에 관련하는 이들 반송파를 제거하는 것은 NTSC 신호의 가장 강건한 부분이 있기

때문에 원하는 NTSC 신호 관해 많이 영향을 미치지 못한다. 또한 주관적인 실험 결과들은 스펙트럼 형태와 같은 OFDM 파라미터들이 NTSC에 거의 영향을 주지 않고, OFDM 신호 간섭의 행동은 랜덤 잡음의 행동과 비슷하다고 나타낸다.

### 5-6. 임펄스 간섭

OFDM은 단일 반송파 시스템보다 임펄스 잡음에 강하다. 왜냐하면 OFDM 신호가 긴 심볼주기상에서 형성되어지고, 임펄스 잡음의 영향이 단일 반송파 시스템들에서 보다 훨씬 작기 때문이다. 사실 임펄스 잡음에 대한 면역성이 MCM을 위한 최초의 연구 동기들 중의 하나이다. CCITT에 보고된 실험 결과는 에러들을 발생시키는 임펄스 잡음에 대한 임계레벨은 단일 반송파 시스템의 경우보다 MCM에서 11dB 만큼 더 높다고 보고되어 있다. 반면에 많은 연구들은 OFDM을 위한 임펄스 잡음 감소의 최상의 방법들은 소프트웨어적, 하드웨어적 에러 보호의 결합과 관련된다고 보고 하고 있다.

### 5-7. 최대-대-평균(Peak-to-average) 전력율

단일 반송파 시스템을 위한 최대-대-평균(Peak-to-average) 전력율은 펄스 shaping 필터(Gibb 현상)의 roll-off factor와 신호 클러스터에 의존한다. Grand Alliance의 8-VSB 시스템에서는 11.5%이다. 대응되는 최대-대-평균전력율은 시간의 99.99%에 대해 약 7dB 이다.

이론적으로 다중반송파 시스템과 단일반송파 시스템과의 최대-대-평균 전력율의 차는 다음과 같은 반송파 수의 함수가 된다.

$$\Delta(\text{dB}) = 10 \log_{10} N$$

여기서  $N$ 은 반송파의 수이다.  $N$ 이 1000일때 차는 30dB가 된다. 어쨌든 이러한 이론적 값은 거의 발생하지 않는다. 입력 데이터가 잘 스크램블 되어 있기 때문에, 특히 신호 클러스터 크기가 클 경우 최대치에 도달하는 기회는 매우 낮다. OFDM 신호는 독립적이고 동등하게 분포된 연속적인 반송파들로서 취급될 수 있기 때문에 Central Limit 이론은 반송파의 수  $N$ 이 클 경우 OFDM 신호 분

포가 가우시안 분포로 되는 경향이 있다고 지적한다.

일반적으로, 대부분의 OFDM 시스템들의 경우에서와 같이  $N$ 이 20보다 클 때, 신호분포는 가우시안 분포에 매우 근접한다. 이 경우 편차의 3배 이상의 확률(9.6dB 최대-대-평균 전력율)은 약 0.1%이다. 편차의 4배 즉, 12dB 최대-대-평균 전력율에 대해서는 0.01% 보다 작게 된다.

각 OFDM 서브채널에 대해 어떠한 펄스 shaping도 실행되지 않고, 각 서브채널을 위한 최대-대-평균 전력율은 단지 신호 클러스터에만 의존한다.

일반적으로 신호들은 D/A 변환 후 다른 분배변수들 뿐만 아니라 FFT 계산 동안 제한된 양자화 레벨, rounding, truncation 때문에 클리핑 되어진다. 가우시안 모델이 OFDM 신호들을 위한 upper bound로서 사용될 수 있다는 것은 상당히 효율적인 것이다.

#### 5-8. 비선형 왜곡

방송 송신기는 비선형 소자이기 때문에 clipping이 OFDM 신호에서 항상 발생한다. 어쨌든 OFDM 신호의 클리핑은 OFDM 시스템들이 임펄스 잡음에 강한 면역성을 가지고 있는 것과 유사하다. 여러 실험들은 클리핑이 시간의 0.1%에서 발생할 때, BER 감쇠가 단지 0.1-0.2 dB라고 보고하고 있다. 1%의 클리핑에서조차도 감쇠(degradation)는 0.5-0.6dB이다. 어쨌든 비선형 왜곡하에서 OFDM 시스템의 BER 성능은 결정적인 요소는 되지 않는다. 클리핑이 발생했을 때, 에너지는 ATV 동시방송(simulcasting) 환경하에서 아날로그 텔레비전 서비스에 주요한 영향을 초래할 수 있는 인접 채널들로 확산 된다. 더 많은 연구들이 이분야에서 요구된다. OFDM 시스템에서 9dB 출력 back-off는 무시할 수 있을 정도의 BER 감쇠와 인접 채널 간섭을 초래시킨다. 다른 여러 연구 보고서들은 현대 반도체 송신기들에서 back-off 레벨이 약 6dB 정도라고 보고한다.

#### 5-9. 분배송신

분배 송신(distributed emission)의 개념은 같은 주파수에서 운영되는 많은 저전력 송신기에 의해 전체 서비스 지역에서 요구되는 필드 강도를 제공하기 위해 제안되어 왔다. 분배 송신망을 실현하기 위한 2가지 방법이 있는데 하

나는 on-channel 중계기방식이고 다른 하나는 단일주파수망(SFN, single frequency network) 방식이다.

on-채널 중계기 방식에서 중계기들은 over-the-air pickup으로 부터 그들의 소스 신호를 얻고, 같은 주파수로 신호들을 재전송한다. 이 경우에 중계기들은 메인 송신기와 시간에 대해 동기될 필요가 없고, 어떠한 병렬 전송 토폴로지도 요구되지 않는다. on-채널 중계기 개념은 산악 지역과 서비스 구역 확대에서 있어서 장점을 갖는다. 이러한 방식은 북미 지역에서 호응을 받고 있다.

on-채널 중계기 방식과는 대조적으로 단일주파수망(SFN)에서 사용되는 모든 중계기는 메인 송신기와 동기가 이루어져야 한다. 전파지연을 감소시키기 위해서 신호는 메인 송신기에서부터 위성, 광파이버 및 초고주파 링크와 같은 병렬 토폴로지를 통해 재 송신기 까지 분배되어질 수 있다. 단일주파수망(SFN)은 단지 하나의 주파수를 사용하여 전 지역을 커버할 수 있고 유럽에서 인기를 끌고 있다.

분배 송신을 사용함에 있어 결정적인 주요한 문제점은 다른 송신기들로 부터의 신호들에 의해 초래되는 반향을 어떻게 수용할 것인가에 관한 것이다. 일반적으로 다중경로 전파를 취급하는 2가지 방법이 있다. 하나는 등화를 이용하는 것이고, 또 다른 하나는 보호구간을 이용하는 것이다. 단일 방송파 시스템에서  $C/N$ 이 충분히 높을 때 적응 등화는 반향의 수와 지연에 의존하여 2dB D/U까지 단일 정적 반향을 다룰 수 있다. 분배 송신은 OFDM이 높은 레벨의 반향을 취급할 수 있기 때문에 충분한 보호구간을 가진 OFDM을 사용함으로써 실행될 수 있다고 제안되어지고 있다. 어쨌든 6MHz 내에서 방송되는 채널 HDTV 지상파 방송과 같은 응용에서 채널 처리량, 인지시간(acquisition time), 전송의 강건성에 심각한 영향 없이 100 $\mu$ s 이상의 보호구간을 갖는 OFDM 시스템을 설계하는 것은 어렵다. 단일주파수망(SFN)에서 보호구간의 선택은 송신기 사이의 거리에 직접적으로 관련된다. 많은 연구들은 단일 주파수망의 서비스 지역은 보호구간 뿐만 아니라 시스템의 심볼 구간에도 강력하게 의존한다. 고정된 보호구간 길이에 대해 긴 심볼구간은 서비스 지역을 훨씬 더 확보하게 한다. 단일방송파 시스템과 다중방송파 시스템 모두에서  $C/N$  헤드룸은 시스템 운영을 적절히 보장하기 위해 유지되어야 한다.

## 5-10. 유연성

정보이론을 기초로 한 채널용량은 신호대 잡음비와 채널 대역폭의 함수가 된다. 감쇠 수신 개념이 ATV 시스템에서 실행되어 왔다. joint source/채널 코딩은 유연성과 scalability를 성취하기 위한 최선의 방법으로 알려져 있다.

OFDM은 계층화된 전송을 위해 매우 유연한 것으로 알려져 있다. 다른 그룹의 OFDM 서브채널들에는 다른 변조 계수, 전력레벨, 채널코딩 방법들이 적용될 수 있다.

앞에서 언급한 바와 같이 co-channel NTSC 간섭에 대처하기 위해 zero를 삽입함으로써 개개의 반송파들은 중단될 수 있다. NTSC가 점차적으로 없어질 때 까지 이러한 비활성 반송파들은 증가적인 부하용량을 제공하기 위해 활성화될 수 있다.

## 참고문헌

1. Polley, M. O. and Schreiber, W. F., "Transmission Techniques for digital terrestrial TV broadcasting", IEEE Commun. Mag., vol. 33, no. 11, 1995.
2. Vahlin, A. and Holte, N., "OFDM for digital terrestrial broadcasting", NORSIG-95, 1995.
3. Schreiber, W. F., "Advanced television systems for terrestrial broadcasting, some problems and some proposed solutions", Proc. IEEE, vol. 83, pp. 958-981, 1995.
4. Alard, M. and Berrou, C., "Coded orthogonal frequency division multiplex", Proc. IEEE, vol. 83, pp. 982-996, 1995.

## 필자소개



## 최 성 진

1982. 광운대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
 1984. 광운대학원 전자공학과 졸업(공학석사)  
 1991. 광운대학교 전자공학과 졸업(공학박사)  
 1987~1992년 인덕전문대학 전자과 조교수  
 1992. 현재 서울산업대학교 매체공학과 교수  
 주관심분야: 영상통신, 디지털 TV방송