

# OFDM에서 연집 오류에 효과적인 오류정정 기법

정용훈\*, 이광형\*\*, 전문석\*  
승실대학교 컴퓨터학과\*, 서일대학 인터넷정보과\*\*  
s0178, @ssu.ac.kr\*, dreamace@seoil.ac.kr,  
mjun@computing.ssu.ac.kr\*

## A Method of Effective Error Correction for Burst Error in OFDM

Young-Hoon Jung\*, Kwang-Hyung Lee, Moon-Seog Jun\*  
\*Dept of Computer Science, Soongsil University\*  
Dept. of Internet Information, Seoil College\*\*

### 요 약

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)은 하나의 데이터 열(data stream)을 낮은 데이터 전송률을 갖는 작은 데이터로 나누고, 이들을 부반송파(subcarrier)를 통해 동시에 전송한다. OFDM이 차세대 전송방식으로 채택된 이유는 주파수 선택적 페이딩(frequency selective fading)이나 협대역(narrow band)간 간섭에 받는 영향이 적어 고속 통신이 가능하기 때문이다. 본 논문에서는 RS 부호(Reed-Solomon Code)를 사용하여 OFDM에서 대용량 데이터를 전송할 때 발생하기 쉬운 연집 오류(burst error)를 정정하도록 하였다. 또한 채널 사이에 파일럿 심볼(pilot symbol)을 삽입하여 채널 추정을 통한 신호의 타이밍 오류도 고려하였다.

키워드 : OFDM, 파일럿 심볼, RS 부호, 오류정정

### 1. 서 론

정보통신기술의 발전에 따라 차세대 무선통신은 초고속 광대역 무선 멀티미디어 서비스로 발전하고 있다. 차세대 무선 통신은 다양한 서비스와 여러 콘텐츠를 통합하여 제공하며 빠른 전송 속도를 요구하게 되었다. 이에 따라 무선 채널에서 데이터를 고속으로 전송할 경우 다중경로 페이딩(multipath fading), 도플러 확산(Doppler spread)등의 영향이 적고 비트 오류율이 낮은, 무선채널에 적합한 무선접속 방식이 요구는데 그것이 바로 OFDM이다.

OFDM을 사용하는 중요한 이유는 주파수 선택적 페이딩(frequency selective fading)이나 협대역(narrow band)간의 간섭에 대해 강인하기 때문이다. 단일 반송파 시스템에서는 하나의 페이드나 간섭에 의해 전체 링크가 실패 할 수 있지만 OFDM 같은 다수 반송파 시스템에서는 일부 부반송파만이 영향을 받게 된다. 따라서 오류 정정 부호화를 사용하

면 소수의 오류 부반송파를 정정할 수 있으므로 비트 오류율이 낮게 나타난다.

본 논문에서는 멀티미디어 데이터 서비스의 수요 증가에 따른 대용량 데이터 전송에 적합한 OFDM 오류정정 기법을 제안하였다. 제안 기법은 파일럿 심볼을 이용한 채널 추정과 RS 부호를 통한 채널 부호화로 동영상등의 대용량 파일에 나타날 수 있는 연집 오류(burst error)를 정정하는데 중점을 두고 설계하였다.

본 논문의 구성은 2장에서 OFDM 시스템의 개요와 특징에 대해 알아보고 3장에서는 관련 연구를 설명하고 4장 제안 기법을 설명한 후 5장으로 결론을 맺는다.

### 2. 관련 연구

#### 2.1 OFDM 시스템

##### 2.1.1 OFDM 시스템의 개요

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)은 하나의 데이터 열을 낮은 데이터 전송률을 갖는 작은 데이

본 연구는 서울시 산학협력사업으로 구축된 서울 미래형콘텐츠커버전스 클러스터 지원으로 수행되었습니다.

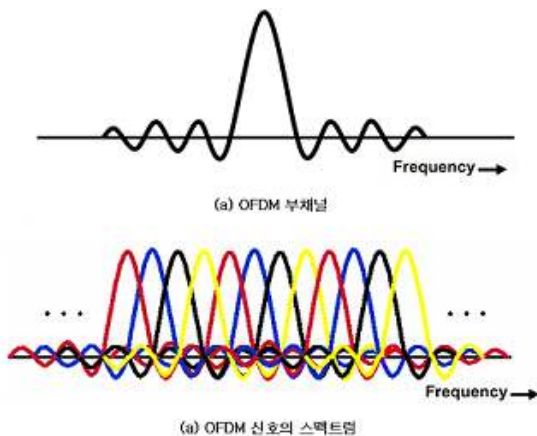
터로 나누고 부반송파(subcarrier)를 통해 동시에 전송하는 다중 반송파 전송의 한 형태로서 1590년도 중반에 처음 등장했다. 초기에는 각 부대역 신호의 중첩으로 인한 간섭을 제거하기 위하여 다수의 아날로그 대역 여파기를 사용하여 직교 주파수분할 다중화 시스템을 구현하였다. 시스템의 복잡성 때문에 널리 사용되지 못하던 OFDM은 최근 디지털 신호처리(DSP : Digital Signal Processing) 및 집적회로(IC : Integrated Circuit) 제작기술이 발전하면서 연구가 재개되고 있다[1].

OFDM은 역 이산 푸리에 변환(IDFT : Inverse Discrete Fourier Transform)과 이산 푸리에 변환(DFT : Discrete Fourier Transform)을 이용하여 기저대역에서 다중 부반송파 변조 및 복조가 가능하다. 또한, OFDM 신호 간에 다중 경로 전송환경의 임펄스 응답보다 긴 보호구간(guard interval)을 삽입하여 지연확산에 의해 발생하는 인접 심볼 간 간섭(ISI : Inter Symbol Interference)과 인접 채널간 간섭(ICI : Inter Channel Interference)을 방지할 수 있고, 각 부반송파끼리 직교성을 유지할 수 있다.

### 2.1.2 OFDM의 특성

OFDM 전송방식의 기본 아이디어는 사용 가능한 스펙트럼(spectrum)을 여러 개의 부채널(subchannel)로 분할하는 것이다. 모든 부채널을 협대역(narrow band)으로 만들어 페이딩(fading)을 일정하게 하므로 등화(等化, equalization)를 간단하게 할 수 있다. 따라서 OFDM은 주파수 선택적 페이딩이나 협대역 간섭에 강한 특성을 지니고 있다.

[그림 1]은 각각의 부채널에서 데이터 스펙트럼을 보여준다. OFDM 신호는 각 부채널에서의 전송속도가  $s$ 일 때  $s/2$  에서 다중화가 이루어진다. 또한 각 부채널의 신호의 정점에서는 다른 채널의 간섭이 없음을 알 수 있다. 따라서 수신단에서는 데이터를 정확히 복원할 수 있다.

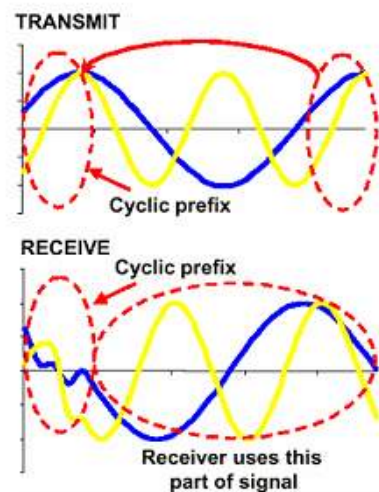


[그림 1] OFDM 부채널과 신호의 스펙트럼

### 2.1.3 보호구간

전송채널에 의한 심볼 상호간의 간섭이 생기면 OFDM 반송파간의 직교성은 더 이상 유지될 수 없다. 실제로 반송파들은 심볼에서 심볼로 변하는 복소수에 의해 변조된다. 만일 적분기간(integration period)이 지연경로에 의해 두 심볼에 걸쳐지면 같은 반송파에 의한 심볼간 간섭뿐 아니라, 채널 간 간섭까지 발생한다.

이를 해결하기 위하여 전송 심볼간에 보호구간을 삽입하여 채널에 의해 생기는 심볼 상호간의 간섭을 줄인다[2]. 이 보호구간에는 원래의 전송신호를 순환 확장(cyclic extension)하여 전송한다.



[그림 2] 순환 전치(Cyclic prefix)

한 개의 심볼 길이가  $N$ 이고 채널의 임펄스 길이가  $M(N \geq M)$ 이라면 순환 확장된 새로운 심볼은  $N'$ 은  $N - M + 1$ 이 된다. 그래서 원래의 심볼  $x$ 는 새로운 심볼 열  $x'$ 로 확장되며 다음과 같다.

$$x = x(0)x(1)\cdots x(N-1) \rightarrow x' = x(N-M+1)x(N-M+2)\cdots x(N-1) \quad (1)$$

보호구간 길이는 지연확산이 예상되는 다중경로의 레벨을 고려하여 정해져야 하며, 보호구간이 길어지는 경우 처리할 수 있는 데이터 용량은 상대적으로 적어진다. 보호구간에 이용되는 순환전치는 신호 대 잡음비(SNR)의 손실을 가져올 수 있으나 전체적인 이득을 고려할 때 충분한 가치가 있다.

### 2.1.4 채널 추정

채널 추정(channel estimation)은 전송된 신호가 수신단 안테나에 도착하기까지의 무선 채널의 주파수 응답을 추정하는 것이다. 시변 무선 채널의 임펄스 응답은 이산 시간 FIR 필터의 형태로 표현된다[3].

$$h(\tau; t) = \sum_n a_n(t) e^{-j2\pi f_c \tau_n(t)} \delta(\tau - \tau_n(t)) \quad (2)$$

무선랜은 일반적으로 채널이 준정적(quasistationary), 즉 채널이 데이터 패킷 동안에는 변하지 않는다고 가정한다. 이러한 가정 하에서 식 (2)를 다시 쓰면 다음과 같다.

$$h(\tau) = \sum_n a_n e^{-j2\pi f_c \tau_n(t)} \delta(\tau - \tau_n) \quad (3)$$

채널의 이산 시간 주파수 응답은 채널의 임펄스 응답의 푸리에 변환이 된다.

$$H_k = DFT\{h_n\} \quad (4)$$

따라서 채널 추정이 완료되면 각각의 부반송파에 해당하는 채널 주파수 응답의 추정치  $\hat{H}_k$ 가 계산된다.

### 2.1.5 채널 부호화

채널 부호화(channel coding)는 디지털 통신 시스템에서 매우 중요한 요소 중 하나이며 이를 통해 효과적이고 신뢰성 있는 무선 통신이 가능해진다[4-7]. 채널 부호화를 통해 동일한 데이터 전송률에 도달할 수 있다.

#### 1) 콘벌루션 부호

콘벌루션 부호(convolutional code)는 채널 부호화에 가장 널리 사용되는 부호 중 하나이며, 대부분의 셀룰러 시스템에서 사용된다. 콘벌루션 부호는 하나나 그 이상의 쉬프트 레지스터(shift register)와 부호기의 출력 비트 사이의 연결로 정의 된다. 쉬프트 레지스터  $k$ 의 수는 부호율의 분자에 해당하고 출력 비트  $n$ 의 수는 분모에 해당한다. 즉 콘벌루션 부호의 부호율은  $k/n$ 이다. 따라서 부호를 표현하기 위해 필요한 연결 방법의 수는  $k$ 와  $n$ 의 곱과 같다.

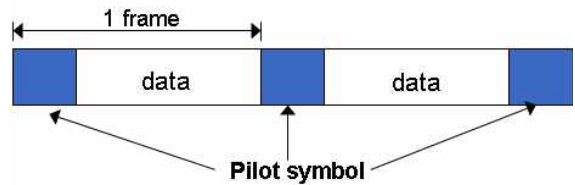
#### 2) 블록 부호

블록 부호(block code)는 콘벌루션 부호와 같이 코드 워드(code word) 길이가 변수가 아니고 고정된 코드 워드 길

이  $n$ 을 갖는다는 점이 다르다. 블록 부호는 유한체(finite field)에서 다항식의 대수적 성질(algebraic property) 또는 곡선을 사용하여 설계된다는 것이다. 블록 부호는 콘벌루션 부호보다 연접 오류(burst error) 정정에 뛰어나다.

## 2.2 PSAM

파일럿 심볼을 이용한 변조 방식(PSAM : Pilot Symbol Assisted Modulation)은 주파수 선택적 다중 경로 채널과 AWGN 환경 하에서 원래의 데이터를 오류 없이 OFDM 복조하기 위해서 사용되는 채널 추정 방식이다[8]. PSAM 방식은 데이터 심볼 이외에 크기와 위상이 알려진 심볼들을 추가로 삽입하여 전송한다. 수신단에서는 채널을 통하여 전송되어온 파일럿 심볼들의 크기 및 위상 변화로부터 채널의 상태를 추정하며, 이 추정치를 이용하여 데이터 심볼들의 크기 및 위상을 보상한다.



[그림 3] 파일럿 심볼 삽입

### 2.1.1 RS 부호

RS 부호(Reed-Solomon Code)는 non-binary BCH 코드의 한 범주에 속하며 Galois체(體, Field) GF(q)의 원소로 부호어가 구성되고 GF(q)상의 심볼 단위로 부호화되고 복호되기 때문에 통신상에서 발생하는 산발 오류(random error)와 연접 오류(burst error)를 모두 정정할 수 있다.[9][10]

위수(order)가  $q$ 인 유한체 GF(q)의 원소를 갖는  $t$ 중 오류 정정 RS 부호는 다음과 같은 매개변수를 갖는다.

$$\begin{aligned} n &= q - 1 : \text{부호장} \\ k &= n - 2t : \text{정보장} \\ d_{\min} &= 2t + 1 : \text{최소거리} \end{aligned}$$

그런데  $q = 2^m$ 인 경우에는 GF(2<sup>m</sup>)상의 원소로 표시되는 RS 부호가 형성된다.  $\alpha$ 를 Galois체 GF(2<sup>m</sup>)의 원시원(primitive element)이라 하면,  $t$ 중 오류정정  $(n, t)$  RS 부호의 생성다항식  $g(x)$ 은 다음과 같다.

$$g(x) = (x + \alpha)(x + \alpha^2) \cdots (x + \alpha^{2t}) = \sum_{i=0}^{2t} g_i x^i \quad (5)$$

계수  $g_i, 0 \leq i \leq 2t$ , 는 GF(2m)의 원소들이다.

한편 식 (5)과 같은  $g(x)$ 에 의해 생성되는 (n, t) RS 부호는 (n, n - 2t) 순회부호에 해당한다.

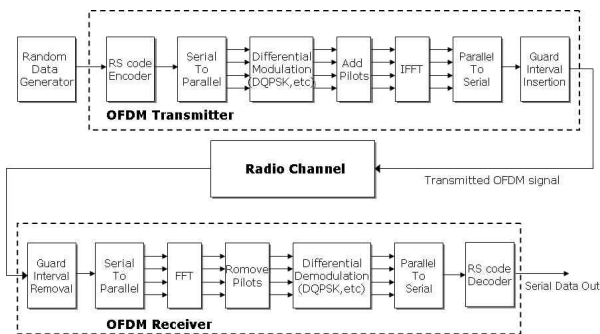
### 3. 제안 기법

제안 기법에서는 PSAM으로 채널을 추정하고 RS 부호로 채널 부호화 한다. 두 가지 방법을 결합하여 좀 더 정밀한 오류 정정을 할 수 있도록 하였다.

제안 기법의 시스템은 크게 송신부와 수신부, 채널로 구성되어지며 각 단계의 역할은 다음과 같다.

데이터를 생성한 후 RS 부호 Encoder를 거쳐 채널 부호화 한 후 직렬 데이터는 전송에 필요한 워드 크기로 변환된다. 각 데이터는 OFDM 송신부에서 단일 반송파에 할당되어 병렬로 전송된다. 그 후에 차등변조를 거쳐 파일럿 심볼이 삽입된다. 일치하는 시간 파형으로 변환시키기 위해 역푸리에 변환(IFFT)를 수행하고 각 심볼의 앞에 보호 구간을 삽입한다.

무선 채널을 통해 수신된 OFDM 신호는 보호구간이 제거된 후 병렬 데이터로 변환되어 푸리에 변환(FFT) 거쳐 초기에 전송된 스펙트럼을 얻게 된다. 이후 복조과정을 통해 초기 데이터 크기와 같은 워드 크기를 얻으면 직렬화를 거쳐 RS 부호 Decoding을 한 후 원래의 데이터를 얻게 된다.



[그림 4] 제안 기법의 블록도

### 4. 결론

통신기술에 발전에 따라 대용량의 무선 멀티미디어 데이터 서비스의 필요가 증가하였다. 이러한 서비스를 제공하기 위해서는 빠른 속도와 데이터의 안정적인 전달이 중요하다. 이에 따라 초고속 통신이 가능하고 다중 경로 페이딩에 강한 OFDM 방식에 대한 연구가 이루어지고 있다.

본 논문에서는 OFDM에서 대용량 데이터 전송을 위한 오류 정정 기법을 제안하였다. PSAM을 사용하여 채널을 추정하고, RS 부호를 사용하여 연립 오류(burst error)의 정

정에 비중을 두었다. 동영상등의 용량이 큰 멀티미디어 컨텐츠의 수요량이 늘어감에 따라 대용량 데이터를 오류 없이 전송 하는 기술은 앞으로 중요한 이슈로 떠오를 전망이다.

향후 과제로는 제안 기법의 시뮬레이션을 통한 성능 평가와 비교 분석이 남아 있다.

### 5. 참고 문헌

- [1] M. Fattouche and H. Zaghoul, "Method and Apparatus for multiple access between transceivers in wireless communications using OFDM spread spectrum," U.S. Patent 5, 282, 222, January 25, 1994.
- [2] E. Lawrey, "Multiuser OFDM," Fifth International symposium on signal processing and it's applications ISSPA '99, August 1999.
- [3] J. G. Proakis, "Digital Communications," McGraw-Hill, Boston, 3ed, 1995.
- [4] L.H. Lee, "Error-Control Convolutional Coding," Artech House, 1997.
- [5] S. Lin and D. J. Costello, "Error Control Coding : Fundamentals and Applications," Prentice-Hall, New Jersey, 2ed, 1983.
- [6] M.K. Shannon, W.C. Lindsey, S. M. Hinedi, "Digital Communication Techniques : Signal Design and Detection," Simon & Schuster Trade, 1994.
- [7] S.B. Wicker, "Error control coding," Prentice-Hall, New Jersey, 1995.
- [8] (WGI) ;, "Proposal on channel transfer functions to be used in GSM tests late 1986," Sept. 1986.
- [9] J. Cavers, "An analysis of pilot symbol assisted modulation for rayleigh fading channel," IEEE Trans. Veh. Techn., Vol. 40, pp. 686 - 693, Nov. 1991.
- [10] J. S. Reed and G. Solomon, "Polynomial Codes over Certain Finite Fields," J. Soc. Ind. Appl. Math. 8. pp. 300 - 304, June 1960.
- [11] H. Schulze, C. Luders, "Theory and Applications of OFDM and CDMA : Wideband Wireless Communications," WILEY, 2005.
- [12] 김재각, "안전한 통신을 위한 AMIS 암호 알고리즘과 S-OFDM의 설계와 분석," 숭실대학교 박사학위논문, 2001.