

## 채널상태정보를 이용한 OFDM-단축블록터보코드의 성능 분석

김한중

한국기술교육대학교 정보기술공학부

### 초록

본 논문에서는 OFDM 변조와 단축블록터보코드를 사용하는 시스템에서 단축블록터보코드를 반복 복호하는 과정에서 채널상태정보(Channel State Information : CSI)값을 적용한 방법을 새롭게 제안하였다. 새롭게 제안된 시스템의 경우 1회의 같은 반복 횟수를 가지는 경우에 BER 성능이 신호의 변조방식에 따라 4.5[dB] ~ 10.0[dB]정도의 뛰어난 성능 향상을 보였다. 또한 CSI값을 적용하고 1회 반복 복호한 시스템이 CSI값을 적용하지 않은 기존의 복호 시스템의 4회 반복 복호한 경우보다도 1[dB] ~ 7.0[dB]의 성능 향상을 보임으로써 반복 복호의 시간을 70[%] 이상 감소시킬 수 있다. 따라서 단축블록터보코드를 반복 복호하는 경우에 CSI값을 적용한 시스템이 뛰어난 성능 향상과 더불어 반복 복호 시간을 줄임에 알 수 있었다.

### 1. 서론

OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing : OFDM)방식은 고속 데이터를 보다 낮은 비트율을 가지는 여러 개의 병렬 비트열로 나눈 후 부반송파에 실어서 전송하는 방식으로 디지털 방송, WLAN, WPAN 등에서 변조 방식으로 채택되고 있다. OFDM 변조방법에서 인접 부반송파 간의 간섭에 의해 발생하는 에러를 줄이기 위해서는 송·수신단에서 채널 부호화 및 복호화 과정이 필수적으로 수행되어야 한다. 그동안 에러정정부호를 위한 부호화 및 복호화 기법으로 여러 가지 방법들이 연구되어 왔으며 최근에는 우수한 에러정정 능력을 가지면서 2개의 선형블록코드(linear block code)를 이용하여 간단히 구성할 수 있는 블록터보코드 및 부호율을 조절할 수 있는 단축블록터보코드를 여러 시스템에 적용하는 연구가 활발히 진행되고 있다[1][2].

따라서 본 논문에서는 이러한 단축블록터보코드를 사용하는 OFDM 시스템의 성능을 향상시키기 위한 방법으로 채널 부호화 기법으로 사용된 단축블록터보코드를 반복 복호하는 과정에 채널상태정보(Channel State Information: CSI)를 적용시킨 새로운 방법을 제안 기존의 복호 시스템과 성능을 비교, 분석한다.

### 2. 단축블록터보코드(Shorted Block Turbo Code)의 부호화 및 복호화

터보코드의 일종인 블록터보코드는 1994년 Pyndiah et al.에 의해 제안되었으며 2개의 선형블록코드를 사용하여 부호화가 이루어진다. 만일 체계적인(systematic) 선형블록코드  $C^1$  이 파라미터  $(n_1, k_1, \delta_1)$ 을 가지고,  $C^2$  가 파라미터  $(n_2, k_2, \delta_2)$ 을 가진다고 하자. 여기서  $n_i$ ,  $k_i$  그리고  $\delta_i$  ( $i = 1, 2$ ) 은 각각 코드워드 길이, 정보비트 길이 그리고 최소 해밍 거리를 나타낼 때, 블록터보코드  $P = C^1 \otimes C^2$  는 다음과 같은 방법으로 얻을 수 있다.

- 1)  $k_1$  크기의 행과  $k_2$  크기의 열로 데이터 비트를 배열한다.
- 2)  $k_1$  크기의 행을  $C^2$  의 코드로 부호화를 한다.
- 3)  $n_2$  크기의 열을  $C^1$  의 코드로 부호화를 한다.

위와 같은 절차에 의해  $(k_1 \times k_2)$  크기의 데이터 비트열은 그림 1과 같은 형태로 블록터보코드를 생

성하게 된다. 새롭게 생성된 블록터보코드  $P$  는  $n = n_1 \times n_2$ ,  $k = k_1 \times k_2$  그리고  $\delta = \delta_1 \times \delta_2$ 의 파라미터를 각각 가지게 되고,  $R_i$  ( $i = 1, 2$ )가 각 코드  $C^i$  ( $i = 1, 2$ )의 부호율이라고 할 때 블록터보코드의 부호율은  $R = R_1 \times R_2$  가 된다.

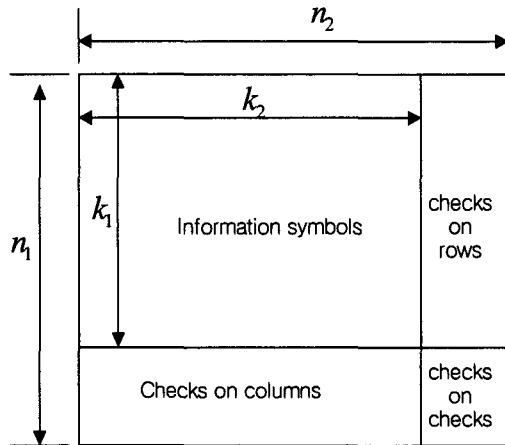


그림 1. 블록터보코드의 부호화

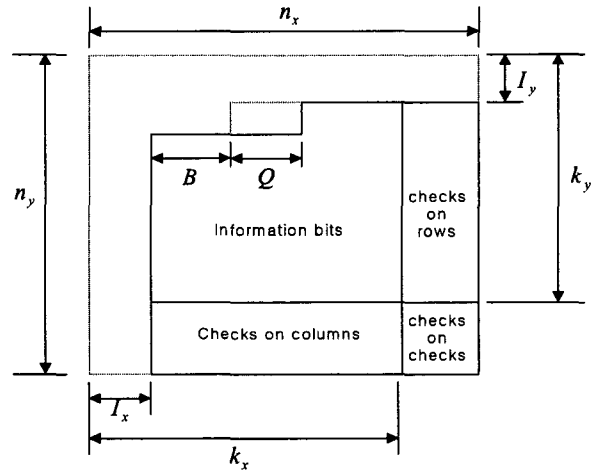


그림 2. 블록터보코드의 단축 과정

일반적인 선형블록코드는  $(n, k, \delta)$  등의 파라미터 값들이 정해져 있기 때문에 선형블록코드에 의해 생성된 블록터보코드 역시  $(n, k, \delta)$  등의 파라미터 값들이 정해져 부호율이 고정되게 된다. 고정된 부호율을 가지는 블록터보코드를 아래와 같이 단축(shortening) 과정을 통하여 여러 가지의 부호율을 가지는 코드로 생성할 수 있으며, 그림 2는 단축 과정 후의 블록터보코드 행렬  $P$  를 보여준다.

- 1) 블록터보코드 행렬  $P$  에서  $I_x$  크기의 열과  $I_y$  크기의 행을 제거한다.
- 2)  $B$  크기의 비트열을 제거한다.
- 3) 1), 2)의 제거과정 후에 남은 비트열이 OFDM 변조를 위한 정수배가 되지 않을 시에는  $Q$  크기 만큼 비트열을 추가로 제거한다.

단축블록터보코드의 부호화는 제거된 행, 열,  $B$   $Q$  부분에 0(zero)값을 삽입하고 나머지  $(k_x - I_x)(k_y - I_y) - B - Q$  부분에 보내고자 하는 데이터 비트를 순서에 맞추어 배열한 후 일반적인 블록터보코드의 부호화와 동일한 방법의 부호화가 이루어진다.

1994년 R. Pyndiah가 블록터보코드의 복호 기법으로 Soft decoding/Soft decision 방법에 기초한 반복(iterative) 복호 알고리즘을 제안함으로써 기존의 경판정(hard decision) 복호 알고리즘보다 훨씬 높은 부호이득을 얻을 수 있게 되었다. Soft decoding/Soft decision 방법은 경판정된 수신 신호  $d_j$ 의 대한 soft-input 복호기의 출력  $r'_j$ 을 복호 반복 횟수만큼 신뢰도(reliability)를 높이는 방법으로, 출력  $r'_j$ 은 식 (1)와 같이 표현할 수 있다.

$$r'_j = \left( \frac{|R - C|^2 - |R - D|^2}{4} \right) d_j \tag{1}$$

여기서  $R$ 은 수신된 값이고, 체이스(Chase) 알고리즘에 의해 구하여진 코드워드 집합(subset)  $\Omega$ 가  $q$ 개의 코드워드를 가지고 있다고 할 때, 각각의 코드워드  $C^j$  ( $j = 1, 2, \dots, q$ )와 수신된 신호와의 유클리드(Euclidean) 거리  $|r_i - c_i^j|^2$  구하여 거리가 가장 짧은 코드워드가  $D$ 이며,  $C$ 는 코드워드 집합  $\Omega$

에서  $c_j \neq d_j$ 의 조건을 만족하는 코드워드 중에서 유클리드 거리  $|r_i - c_i^j|^2$ 가 가장 짧은 코드워드를 말한다.

### 3. OFDM 시스템에서 채널상태정보를 적용한 단축블록터보코드

단축블록터보코드가 적용된 OFDM 시스템의 송신기는 그림 3과 같다. 블록터보코드 행렬을 생성 후 단축과정을 거쳐 제거된 행과 열에 0(zero)을 삽입하고 나머지 위치에 보내고자 하는 데이터를 순서에 맞추어 배열한 후 부호화를 한 후, 하나의 부반송파에 실리는 비트수 그룹으로 나뉘어서 변조 방식에 따라 각각 BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM 등의 변조 과정을 거치게 된다. 그 다음 변조된 48개의 신호열에 주파수 옵셋과 위상 잡음을 보상하기 위한 4개의 부반송파 및 채널간 간섭을 방지하기 위하여 DC값을 포함한 12개의 가상반송파(virtual carrier)가 더해져 64-point IFFT 연산이 이루어진다. 그리고 심볼간 간섭을 방지하기 위한 보호구간이 삽입되어 하나의 OFDM 전송 심볼을 이루게 된다.

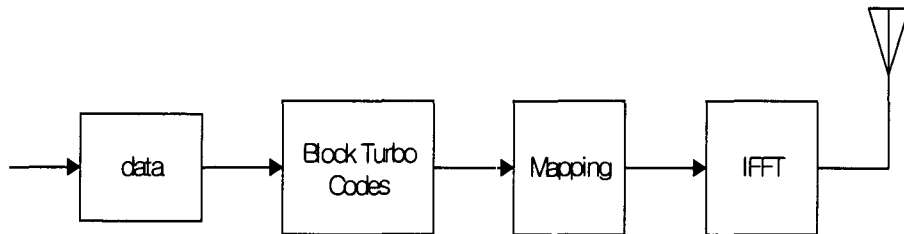


그림 3. 블록터보코드가 적용된 OFDM 시스템의 송신기 구조

그림 4는 단축블록터보코드가 적용된 OFDM 시스템의 수신기 구조를 나타낸다. 수신된 신호는 FFT 연산을 통하여 OFDM 심볼 복조가 이루어지며 OFDM 심볼 복조후에는 심볼간 간섭을 방지하기 위해 첨부된 보호 구간이 제거되고 다중 경로 페이딩에 의해 왜곡된 신호를 보상하기 위하여 추정된 채널상태정보(CSI)를 이용하여 수신 신호에 대한 등화가 이루어진다. 등화가 이루어진 신호열은 복조 과정 후 본 논문에서 제안한 기법인 CSI값을 이 신호열에 적용하고 CSI값이 적용된 복조 신호열은 블록터보코드의 복호과정을 거쳐 원래의 데이터 비트열로 복원되게 된다. 이때 송신단에서 shorting된 부분에 0(zero)값을 삽입한 후 복호가 이루어지게 된다.

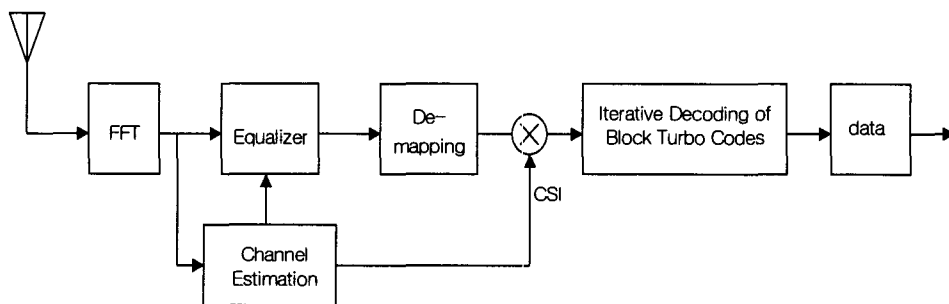


그림 4. 블록터보코드가 적용된 OFDM 시스템의 제안된 수신기 구조

무선 채널을 통과하여 수신된 신호는 주파수 선택적 페이딩에 의하여 심하게 왜곡된다. 왜곡된 신호는 등화기(equalizer)를 거치면서 어느 정도 왜곡된 신호의 보상이 이루어진다. 블록터보코드를 복호하기 위한 체이스 알고리즘은 정의된 값만큼 수신된 코드워드  $[R]$ 의 weak point(I)를 찾게 되는데, 만일 왜곡된 부분이 등화기에 의해 신호의 보상이 이루어졌다면 weak point(I)로 선택되지 않고 AWGN에 의해 감소된 신호가 weak point(I)로 선택되게 된다.

이렇게 되면 결과적으로 실제로 채널에 의해 신호가 왜곡된 부분에서 weak point(I)로 선택되지 않았기 때문에 그만큼 그 신호에 대한 부가정보도 신뢰도가 떨어지게 되어 에러정정 능력이 저하되게

된다. 만일 CSI값을 신호 복조후에 적용하게 되면 soft-input값은 아래 식(2)와 같이 표현 할 수 있다.

$$r'_j = \left( \frac{|CSI \cdot R - C|^2 - |CSI \cdot R - D|^2}{4} \right) d_j \quad (2)$$

#### 4. 채널상태정보를 적용한 단축블록터보코드의 성능평가

그림 5, 6은 단축블록터보코드의 반복 복호 과정에서 본 논문에서 제안한 CSI값이 적용된 시스템과 일반적인 복호 시스템과의 BER 성능곡선을 나타낸다. 각각의 성능곡선은 이상적인 채널 환경에서의 성능을 나타내며 다중 경로 페이딩 채널 환경은 채널 임펄스 응답 특성이  $h_n = [6.3548169e-001, 2.6436658e-001, 9.9426628e-002, 7.0541056e-004, 1.6816199e-005, 2.8749857e-006, 0]$ 을 갖는 전형적인 실내 환경인 채널모델 'A'를 사용하였고, 수신단에서 주파수 및 시간 동기가 완벽하게 이루어졌다고 가정하였다. 그리고 체이스 알고리즘에 의한 Weak point(I)는 4개를 적용 했으며, 하나의 송신 패킷은 1000[byte]로 구성하였다.

그림 5는 구성코드를 (64, 57)×(32, 26)를 사용하여 64QAM 변조를 하고 단축과정을 위한 파라미터 값들은  $I_x=16, I_y=8, B=0, Q=2$ 로 했다. 본 논문에서 제안한 CSI값을 적용한 반복 복호의 경우 기존의 방식으로 복호할 경우보다 1회의 같은 반복 횟수일 때 BER값이  $10^{-3}$ 에서 4.5[dB] 정도의 성능 향상을 보이며, 기존의 방식으로 4회 반복 복호할 경우보다 CSI 값을 적용하여 1회 반복 복호할 경우에는 2.5[dB]정도의 성능 향상을 보임을 알 수 있다.

그림 6의 경우에는 구성코드를 (32, 26)×(32, 26)를 사용하고 단축과정을 위한 파라미터 값들은  $I_x=0, I_y=8, B=0, Q=84$ 로 설정하고 16QAM 변조를 했을 경우의 BER 성능곡선을 나타낸다. CSI값을 적용하여 복호를 할 경우 기존의 방식보다 1회의 같은 반복 횟수의 경우에는 BER값이  $10^{-3}$ 에서 7[dB] 정도의 성능 향상을 보이며, 기존의 방식으로 4회 반복 복호할 경우보다 CSI값을 적용하여 1회 반복 복호 할 경우에는 4.5[dB]정도의 성능 향상을 보임을 알 수 있다.

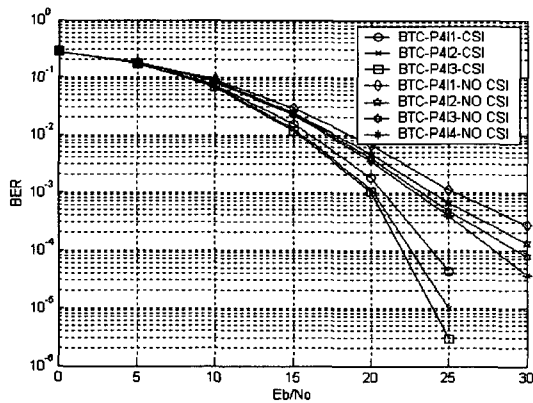


그림 5. 64QAM 변조방식의 성능곡선

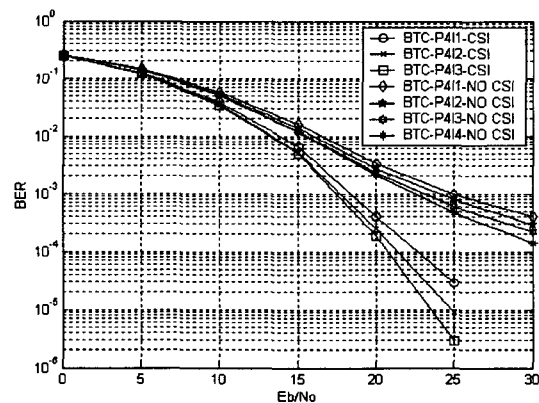


그림 6. 16QAM 변조방식의 성능곡선

#### 5. 결론

본 논문은 OFDM 변조 방식의 시스템에서 채널 부호화 기법으로 사용된 단축블록터보코드를 반복 복호하는 과정에 CSI값을 적용한 방법을 새롭게 제안하였다. 새롭게 제안된 시스템의 경우 1회의 같은 반복 횟수를 가지는 경우에 BER 성능이 신호의 변조방식에 따라 4.5[dB] ~ 10.0[dB]정도의 뛰어난 성능 향상을 보였다. 또한 CSI값을 적용하고 1회 반복 복호한 시스템이 CSI값을 적용하지 않은 기존의 복호 시스템의 4회 반복 복호한 경우보다도 1[dB] ~ 7.0[dB]의 성능 향상을 보임으로써 반복 복호의 시간을 70[%] 이상 감소시킬 수 있다. 따라서 단축블록터보코드를 반복 복호하는 경우에 CSI 값을 적용한 시스템이 뛰어난 성능 향상과 더불어 반복 복호 시간을 줄임을 알 수 있었다.

### 참고문헌

- [1] J. A. C. Bingham, "Multicarrier modulation for data transmission: an idea whose time has come," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 28, pp. 17-25, Mar. 1990.
- [2] R. Pyndish, A. Glavieux, A. Picart and S. Jacq, "Near optimum decoding of product codes," in proc. of IEEE *GLOBECOM '94 Conference*, vol. 1/3, Nov.-Dec. 1994
- [3] D. Chase, "A class of algorithms for decoding block codes with channel measurement information," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-18, pp.170-182, Jan. 1972