

블록터보코드의 새로운 디코딩 알고리즘

김한중

한국기술교육대학교 정보기술공학부

초록

본 논문에서는 블록터보코드를 사용하는 OFDM 시스템에서 오류정정 능력을 향상시키기 위하여 블록터보코드를 디코딩하는데 있어 채널상태정보(CSI)를 이용하는 새로운 알고리즘을 제안한다. 새로운 디코딩 알고리즘은 레일리 페이딩 환경에서 채널정보를 사용하지 않는 기존의 디코딩 알고리즘과 비교를 하였으며 실험결과 새롭게 제안된 시스템의 경우 1 회 반복 복호에서 CSI 값을 적용하지 않은 기존의 복호 시스템의 4 회 반복 복호한 경우보다도 3.5dB ~ 5dB 의 성능 향상을 보임으로써 반복 복호의 시간을 70% 이상 감소시킬 수 있었다. 따라서 블록터보코드를 반복 복호하는 경우에 CSI 값을 적용한 시스템이 뛰어난 성능 향상과 더불어 반복 복호 시간을 줄임을 알 수 있었다.

1. 서론

고속 멀티미디어 통신을 위한 기술로 최근 각광받고 있는 직교 주파수 분할 다중화(Orthogonal Frequency Division Multiplexing : OFDM)방식은 무선 다중 경로 환경에서 고속으로 데이터를 전송하고자 할 때 다중경로에 의해 발생하는 주파수 선택적 페이딩(frequency selective fading)에 대처하기 위하여 전송하려는 데이터 열을 보다 낮은 비트율을 가지는 여러 개의 병렬 비트열로 나눈 후 해당 부반송파에 실어서 전송하는 방식이며 현재 디지털 방송(DAB, DVB), WLAN(IEEE 802.11a, HIPERLAN), WMAN(IEEE 802.16) 등에서 표준 변조 방식으로 채택되어 성능 향상을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 인접 부반송파 간에 존재하는 간섭에 의해 발생하는 에러를 줄이기 위해서는 송·수신단에서 채널 부호화 및 복호화 과정이 필수적으로 수행되어야 한다. 그 동안 에러정정부호를 위한 송·수신단의 채널 부호화 및 복호화 기법으로 여러 가지 방법들이 계속 연구되어 왔으며 최근에는 우수한 에러정정 능력을 가지면서 2 개의 선형블록코드(linear block code)를 이용하여 간단히 구성할 수 있는 블록터보코드를 여러 시스템에 적용하는 연구가 활발히 진행되고 있다[[1][2]. 따라서 본 논문에서는 이러한 블록터보코드를 사용하는 OFDM 시스템의 성능을 향상시키기 위한 방법으로 채널 부호화 기법으로 사용된 블록터보코드를 반복 복호하는 과정에 채널상태정보(Channel State Information: CSI)를 적용시킨 새로운 방법을 제안한다. 즉, 블록터보코드를 채널 부호화 및 복호화 방법으로 OFDM 시스템에 적용함에 있어서 채널 환경을 추정하는 과정에서 얻어진 채널상태정보를 블록터보코드의 복호 과정에 적용하는 시스템 모델을 새롭게 제안하고 기존의 복호 시스템과 성능을 비교·분석한다.

2. OFDM 시스템에서 채널상태정보를 적용한 블록터보코드

블록터보코드가 적용된 OFDM 시스템의 송신기는 그림 1 과 같다. 정보 비트열을 2 개의 선형블록코드를 이용하여 블록터보코드로 부호화를 한 후, 하나의 부반송파에 실리는 비트수 그룹으로 나뉘서 변조 방식에 따라 각각 BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM 등의 변조 과정을 거치게 된다. 그 다음 변조된 48 개의 신호열에 주파수 오프셋과 위상 잡음을 보상하기 위한 4 개의 부반송파 및 채널간 간섭을 방지하기 위하여 DC 값을 포함한 12 개의 가상반송파(virtual carrier)가 더해져 64-point IFFT 연산이 이루어진다. 그리고 심볼간 간섭을 방지하기 위한 보호구간이 삽입되어 하나의 OFDM 전송 심볼을 이루게 된다.

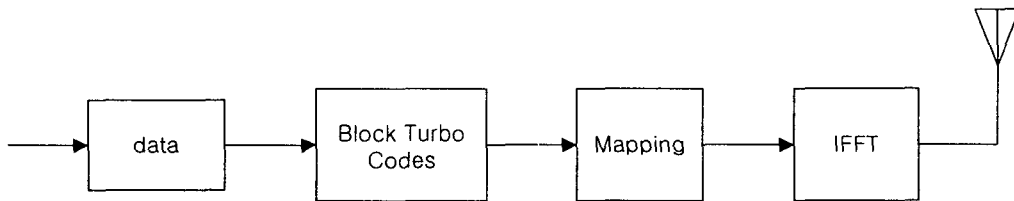


그림 1. 블록터보코드가 적용된 OFDM 시스템의 송신기 구조

그림 2 는 블록터보코드가 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 복조과정 후 본 논문에서 제안한 기법인 CSI 값을 이 신호열에 적용하고 CSI 값이 적용된 복조 신호열은 블록터보코드의 복호과정을 거쳐 원래의 데이터 비트열로 복원되게 된다.

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 AWGN 에 의해 감소된 신호가 weak point(I)로 선택되게 된다.

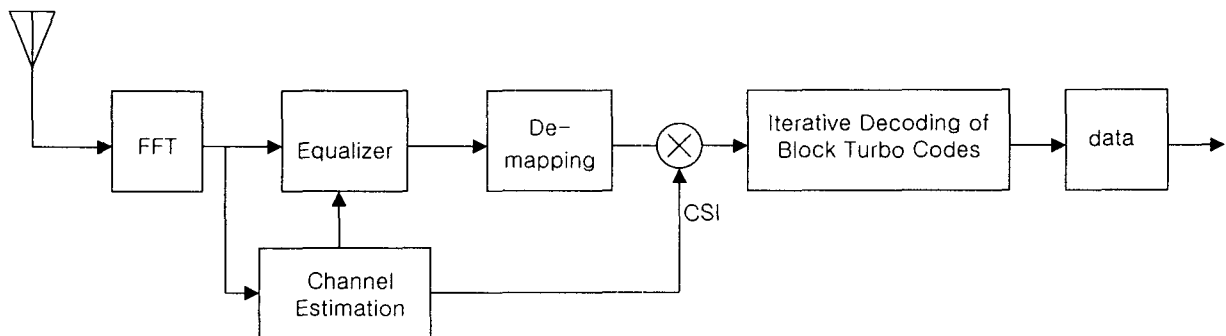


그림 2. 블록터보코드가 적용된 OFDM 시스템의 제안된 수신기 구조

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

만일 CSI 값을 신호 복조후에 적용하게 되면 soft-input 값은 아래 식(1)과 같이 표현 할 수 있다.

$$r_j = \left(\frac{|CSI \cdot R - C|^2 - |CSI \cdot R - D|^2}{4} \right) d_j \quad (1)$$

그림 3 과 같이 반복 복호기의 입력인 soft-input(■)값에 CSI 값을 적용하게 되면 주파수 선택적 페이딩으로 인해 심하게 왜곡된 부분의 신호 크기값이 작아지게 되므로 이 부분은 체이스 알고리즘[2]에 의하여 정의된 개수만큼 weak point(I)(★)로 선택되어 진다. 신호의 왜곡된 부분에서 정확하게 weak point(I)로 지정되므로 이 부분은 반복 복호 알고리즘에 의해 높은 크기의 부가정보(●)를 얻을 수 있어서 신뢰도가 높은 soft-ouput 값을 얻게 된다. 따라서 CSI 값을 적용할 경우에는 반복 복호 횟수를 적게 하여도 높은 신뢰도(reliability)를 갖는 부가 정보 및 soft-ouput 값을 얻을 수 있게 되어 여러정정 능력을 높여준다.

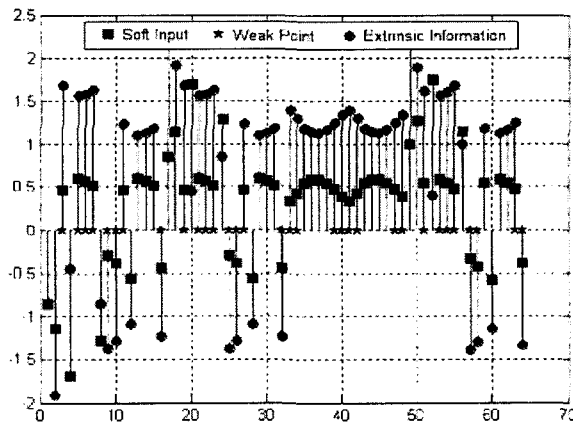


그림 3. CSI 값이 적용된 블록터보코드의 복호화 과정의 예

3. 실험결과 및 고찰

그림 4,5 는 블록터보코드의 반복 복호 과정에서 본 논문에서 제안한 CSI 값이 적용된 시스템과 그렇지 않은 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 4 개를 적용 했으며, 하나의 송신 패킷은 1000[byte]로 구성하였다.

그림 4,5 의 경우는 구성코드 (168, 78)(168, 78)를 사용하여 블록터보코드를 생성 했을 때 각각 64QAM, 16QAM 변조 방식의 BER 성능곡선을 나타낸다. 본 논문에서 제안한 복호 과정에

CSI 값을 적용한 경우 기존의 방식으로 복호할 경우보다 1 회의 같은 반복 횟수의 경우에 64QAM 은 BER 값이 10^{-3} 에서 9[dB] 정도의 성능 향상을 보이며 16QAM 의 경우에는 7[dB] 정도의 성능 향상과 QPSK 의 경우에는 5[dB] 정도의 성능 향상을 보였다. 또한 기존의 CSI 값을 적용하지 않고 4 회 반복 복호할 경우보다 CSI 값을 적용하여 1 회 반복 복호할 경우에 64QAM 변조 방식에서는 5[dB] 정도의 성능 향상을 보이며 16QAM 변조 방식에서는 4.5[dB] 정도의 성능 향상을 보이고 QPSK 변조 방식의 경우 3[dB] 정도의 성능 향상을 각각 보였다.

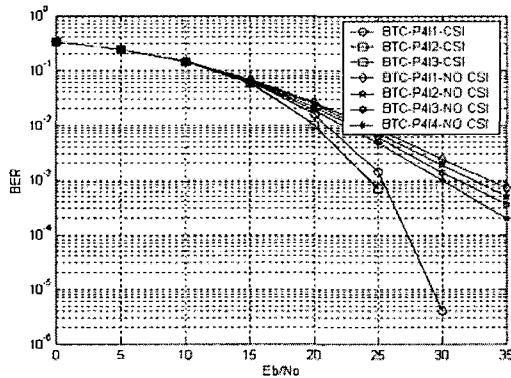


그림 4. 64QAM 변조방식의 성능곡선

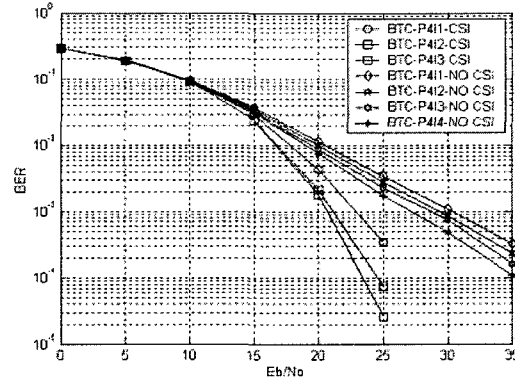


그림 5. 16QAM 변조방식의 성능곡선

4. 결론

본 논문은 OFDM 변조 방식의 시스템에서 채널 부호화 기법으로 사용된 블록터보코드를 반복 복호하는 과정에 CSI 값을 적용한 방법을 새롭게 제안하였다. 새롭게 제안된 시스템의 경우 1 회의 같은 반복 횟수를 가지는 경우에 BER 성능이 신호의 변조방식에 따라 5.0[dB] ~ 9.0[dB] 정도의 뛰어난 성능 향상을 보였다. 또한 CSI 값을 적용하고 1 회 반복 복호한 시스템이 CSI 값을 적용하지 않은 기존의 복호 시스템의 4 회 반복 복호한 경우보다도 5[dB] ~ 3.5[dB]의 성능 향상을 보임으로써 반복 복호의 시간을 70[%] 이상 감소시킬 수 있다. 따라서 블록터보코드를 반복 복호하는 경우에 CSI 값을 적용한 시스템이 뛰어난 성능 향상과 더불어 반복 복호 시간을 줄임을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] 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
- [2] Ramesh, Mahendra, Pyndiah, "Near-Optimum Decoding of Product Codes: Block Turbo Codes", *IEEE Trans. Comm.* vol. 46. 8, pp1003-1010, Aug. 1998