

# 채널상태정보를 이용하는 블록터보 부호화된 OFDM 시스템의 성능 분석

김한중<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>한국기술교육대학교 정보기술공학부

## Performance Analysis of Block Turbo Coded OFDM System Using Channel State Information

Han-Jong Kim<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>School of Information Technology, Korea University of Technology and Education

**요약** 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 1회의 같은 반복 횟수를 가지는 경우에 BER 성능이 신호의 변조방식에 따라 5.0dB~ 9.0dB 정도의 뛰어난 성능 향상을 보였다. 또한 CSI 값을 적용하고 1회 반복 복호한 시스템이 CSI값을 적용하지 않은 기존의 복호 시스템의 4회 반복 복호한 경우보다도 3.5dB~ 5dB의 성능 향상을 보임을 알 수 있었다. 따라서 블록터보코드를 반복 복호하는 경우에 CSI 값을 적용한 시스템이 뛰어난 성능 향상과 더불어 반복 복호 시간을 줄임을 알 수 있었다.

**Abstract** In this paper, the new decoding algorithm of Block Turbo Codes using Channel State Information(CSI), which is estimated to compensate for the distorted signal caused by multi-path fading, is proposed in order to improve error correction capacity during decoding procedure in OFDM system. The performance of the new decoding algorithm is compared to that of the conventional decoding algorithm without using channel state information under the Rayleigh fading channel. Experimental results showed that in case of only one iteration coding gains of up to 5.0dB~9.0dB can be obtained by applying the channel state information to the conventional decoding algorithm according to the modulation methods. In addition to that, the new decoding algorithm using channel state information at only one iteration shows a performance improvement of 3.5dB to 5.0dB when compared to the conventional decoding algorithm after four iterations. This leads to reduce the considerable amount of computation.

**Key Words** : OFDM, Channel state information, Block turbo code

### 1. 서론

고속 멀티미디어 통신을 위한 기술로 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 방식이다. 이것은 시간 영역의 관점에서 최대지연확산(maximum delay spread)보다 신호의 전송 주기를 길게 변환시켜 무선 채널의 주파수 영역 특성을 주파수 비선택적 페이딩(frequency non-selective fading)으로 하기 때문에 연속된 신호 사이

\*교신저자 : 김한중(hjkim@kut.ac.kr)

접수일 10년 01월 27일 수정일 (1차 10년 06월 28일, 2차 10년 11월 30일, 3차 10년 11월 30일) 게재확정일 10년 12월 23일

에 간섭이 발생하지 않게 된다[1]. 이러한 OFDM 방식의 특성으로 인하여 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 간에는 여전히 간섭이 존재하므로 이러한 간섭에 의해 발생하는 에러를 줄이기 위해서는 송·수신단에서 채널 부호화 및 복호화 과정이 필수적으로 수행되어야 한다. 그동안 에러정정부호를 위한 송·수신단의 채널 부호화 및 복호화 기법으로 여러 가지 방법들이 계속 연구되어 왔으며 우수한 에러정정 능력을 가지면서 2개의 선형블록코드(linear block code)를 이용하여 간단히 구성할 수 있는 블록터보코드를 여러 시스템에 적용하는 연구가 활발히 진행되고 있다[2,3].

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.

본 논문의 2장에서는 블록터보코드의 부호화 및 복호화에 대하여 설명하고, 3장에서는 블록터보코드를 사용하는 OFDM 시스템의 성능향상을 위해 본 논문에서 제안한 채널상태정보가 적용된 블록터보코드 시스템에 대해서 설명한다. 4장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 기존의 방식과 제안된 채널상태정보를 이용하는 블록터보코드 방식의 성능을 비교·분석하고, 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

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

### 2.1 블록터보코드의 부호화

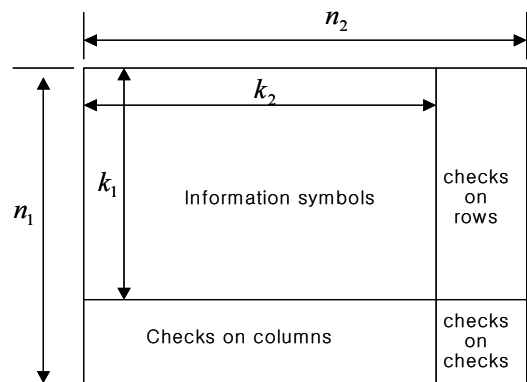
강력한 오류정정부호로서 Shannon의 한계에 거의 도달하는 우수한 성능을 보이는 터보코드의 일종인 블록터보코드는 1994년 Pyndiah et al.[4]에 의해 제안되었다. 블록터보코드는 선형(linear)블록코드를 사용하여 최소 해밍거리(minimum hamming distance,  $\delta$ )를 크게 하여 에러정정 능력을 높이는 부호화 방법으로 2개의 선형블록코

드를 사용하여 부호화가 이루어지게 된다.

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 비트 열은 그림 1과 같은 형태로 블록터보코드를 생성하게 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. 따라서 블록터보코드는 작은 해밍 거리를 가지는 간단한 선형블록코드를 결합함으로써 해밍거리가 큰 강력한 코드를 생성하게 된다.



[그림 1] 블록터보코드의 부호화

그림 1에서 보듯이 결과적으로 생성된 블록터보코드 P의 마지막  $(n_2 - k_2)$  열은  $C^1$ 의 코드워드(codeword)이고, 마지막  $(n_1 - n_2)$  행은  $C^2$ 의 코드워드가 된다. 따라서 행렬 P의 모든 행은  $C^1$ 의 코드워드이며 모든 열은  $C^2$ 의 코드워드이다. 또한 생성된 블록터보코드의 해

밍거리를 늘리기 위하여 확장된(extended) 블록터보코드를 사용하는데, 이것은 생성된 행과 열의 다음 단에 짝수 패리티(even parity) 비트를 삽입하는 방법으로써 생성된 행렬은  $(n_1 + 1) \times (n_2 + 1)$ 로 되어 보다 강력한 블록터보코드를 생성하게 된다. 이렇게 생성된 블록터보코드의 송신은 생성된 행렬  $P$ 의 첫 행의 첫 열부터 순차적으로 송신이 이루어지게 된다.

### 2.2 반복(Iterative) 복호 알고리즘

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[3,5].

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)과 같이 표현할 수 있다.

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

여기서  $R$ 은 수신된 값이고, 체이스(Chase) 알고리즘 [6]에 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. 만일 여기서  $C$ 가 존재하지 않는다면 식 (2)을 적용하여 출력을 구한다.

$$r'_j = r_j + (\beta \times d_j) \quad (2)$$

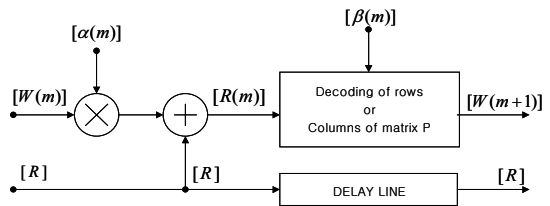
여기서  $\beta$ 는 일반적으로  $\beta(m) = [0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.0, 1.0, 1.0]$ 의 값을 가진다[4].

블록터보코드를 위한 반복 복호 알고리즘은 그림 2와 같이 송신된 코드워드[ $E$ ]에 대응하는 수신된 코드워드 [ $R$ ]과 체이스 알고리즘을 이용하여 첫 번째 복호화기는 행렬  $P$ 의 행(혹은 열)의 soft output 을 구하고, 복호화기에 입력된 soft input에서 soft output을 빼면 행(혹은 열)

의 부가정보(extrinsic information) [ $W(2)$ ]를 얻을 수 있다. 여기서 괄호안의 숫자는  $N$ 번째 복호화를 말한다. 두 번째 복호화를 위한 행렬  $P$ 의 열(혹은 행)의 soft input 값은 아래 식 (3)과 같이 주어진다.

$$[R(2)] = [R] + \alpha(2)[W(2)] \quad (3)$$

여기서  $\alpha$ 는 가중치(weight factor)로서  $\alpha(m) = [0.0, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.0, 1.0]$ 으로 주어진다[4]. 이와 같은 방법으로 수신된 행렬  $P$ 의 행과 열을 반복 복호하면 높은 신뢰성을 가지는 soft output 값을 구할 수 있다.

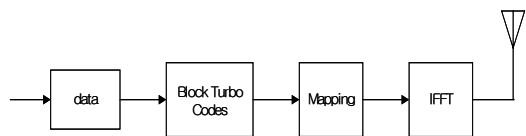


[그림 2] 블록터보코드의 복호화

### 3. OFDM 시스템에서 채널상태정보를 적용한 블록터보코드

#### 3.1 블록터보코드가 적용된 OFDM 시스템의 송신기 구조

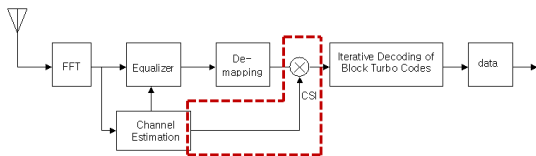
블록터보코드가 적용된 OFDM 시스템의 송신기는 그림 3과 같다. 정보 비트열을 2개의 선형블록코드를 이용하여 블록터보코드로 부호화를 한 후, 하나의 부반송파에 실리는 비트수 그룹으로 나눠서 변조 방식에 따라 각각 BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM 등의 변조 과정을 거치게 된다. 그 다음 변조된 48개의 신호 열에 주파수 오프셋과 위상 잡음을 보상하기 위한 4개의 부반송파 및 채널간 간섭을 방지하기 위하여 DC값을 포함한 12개의 가상반송파(virtual carrier)가 더해져 64-point IFFT 연산이 이루어진다. 그리고 심볼간 간섭을 방지하기 위한 보호구간이 삽입되어 하나의 OFDM 전송 심볼을 이루게 된다.



[그림 3] 블록터보코드가 적용된 OFDM 시스템의 송신기 구조

### 3.2 블록터보코드가 적용된 OFDM 시스템에 대한 제안된 수신기 구조

그림 4는 블록터보코드가 적용된 OFDM 시스템의 수신기 구조를 나타낸다. 그림에서 점선이 없는 부분이 CSI 정보를 이용하지 않는 일반적인 수신기 구조를 나타낸다. 일반적으로 수신된 신호는 FFT 연산을 통하여 OFDM 심볼 복조가 이루어지며 OFDM 심볼 복조 후에는 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 복조과정을 거쳐 원래의 데이터 비트열로 복원되게 된다. 그림 4에서 점선에 해당하는 부분이 포함된 것이 본 논문에서 제안하고자 하는 수신기 구조에 해당한다.



[그림 4] 블록터보코드가 적용된 OFDM 시스템의 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. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 본 논문에서는 채널상태정보(CSI)를 이용하는 새로운 알고리즘을 제안한다. CSI 값을 신호 복조 후에 적용하게 되면 soft-input값은 아래 식(4)와 같이 표현 할 수 있다.

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

채널에 의해 왜곡된 weak point를 적절하게 선택하기 위하여 채널상태정보를 적용한 경우에 블록터보복호기에 입력되는 soft-input값은 식 (4)와 같으며 채널상태정보를 적용하지 않는 기존의 soft-input 값은 식(1)과 같다. 기존의 soft-input 값인 식 (1)은 수신신호에 대하여 등화가 이루어진 후 각 비트에 대한 soft-input 값이 결정되므로 인하여 터보블록디코더에서 채널에 의해 왜곡된 올바른 weak point를 결정하지 못할 수 있게 된다. 만약 등화기를 사용하지 않는다고 가정하면 soft-input 값을 제대로 결정할 수 없으므로 이 또한 문제가 된다. 등화기를 사용하면서 디코더가 채널에 의해 왜곡된 weak point를 더 적절하게 결정할 수 있는 방법으로 기존의 방법에 의해 결정된 soft-input 값에 채널에 의한 영향을 부가함으로 신호의 왜곡된 부분에서 정확하게 weak point로 지정되므로 이 부분은 반복 복호 알고리즘에 의해 높은 크기의 부가정보를 얻을 수 있어서 신뢰도가 높은 soft-output 값을 얻게 된다. 따라서 CS I값을 적용할 경우에는 반복 복호 횟수를 적게 하여도 높은 신뢰도(reliability)를 갖는 부가정보 및 soft-output값을 얻을 수 있게 되어 에러정정 능력을 높일 수 있게 된다.

### 4. OFDM 시스템에서 채널상태정보를 적용한 블록터보코드의 성능분석

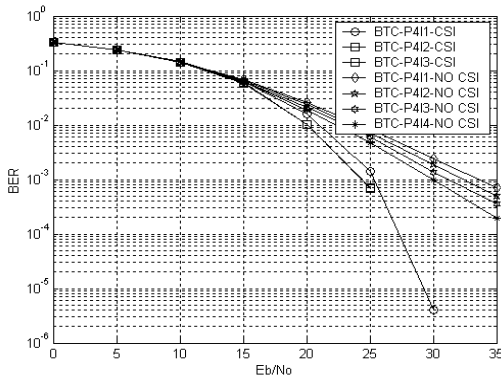
그림 5, 6, 7은 블록터보코드의 반복 복호 과정에서 본 논문에서 제안한 CSI 값이 적용된 시스템과 그렇지 않은 복호 시스템과의 BER 성능곡선을 나타낸다. 각각의 성능곡선은 이상적인 채널 환경에서의 성능을 나타내며 다중 경로 페이딩 채널 환경은 채널 임펄스 응답 특성이  $h_n = [6.3548169e-001, 2.6436658e-001, 9.9426628e-002, 7.0541056e-004, 1.6816199e-005, 2.8749857e-006, 0]$ 을 갖는 전형적인 실내 환경인 채널모델 'A'를 사용하였고, 수신단에서 주파수 및 시간 동기가 완벽하게 이루어졌다고 가정하였다. 그리고 체이스 알고리즘에 의한 Weak point(I)는 4개를 적용 했으며, 하나의 송신 패킷은 1000[byte]로 구성하였다. 구성코드로 (168, 78) × (168, 78)를 사용하여 블록터보코드를 생성 하였으며 변조방법으로 64QAM-OFDM, 16QAM-OFDM, QPSK-OFDM 변조 방식을 사용하였다.

그림 5는 블록코드화된 64QAM-OFDM 변조방식의 성능곡선을 나타낸다. 본 논문에서 제안한 CSI 값을 적용한 반복 복호의 경우(그림에서 CSI에 해당) 기존의 방식으로 복호할 경우(그림에서 No CSI에 해당)보다 1회

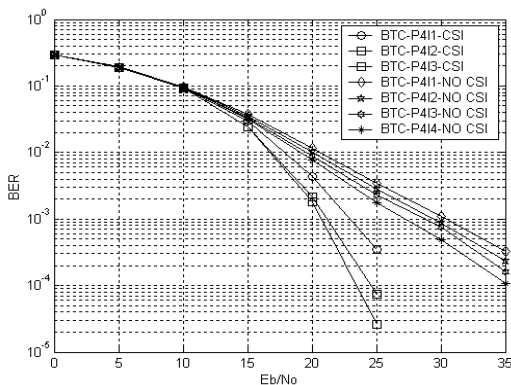
의 같은 반복 횟수일 때 BER 값이  $10^{-3}$ 에서 9[dB] 정도의 성능 향상을 보이며, 기존의 방식으로 4회 반복 복호할 경우보다 CSI 값을 적용하여 1회 반복 복호할 경우에는 5[dB]정도의 성능 향상을 보임을 알 수 있다.

그림 6는 블록코드화된 16QAM-OFDM 변조방식의 성능곡선을 나타낸다. 본 논문에서 제안한 CSI 값을 적용한 반복 복호의 경우 기존의 방식으로 복호할 경우보다 1회의 같은 반복 횟수일 때 BER값이  $10^{-3}$ 에서 7[dB] 정도의 성능 향상을 보이며, 기존의 방식으로 4회 반복 복호할 경우보다 CSI 값을 적용하여 1회 반복 복호할 경우에는 4.5[dB]정도의 성능 향상을 보임을 알 수 있다.

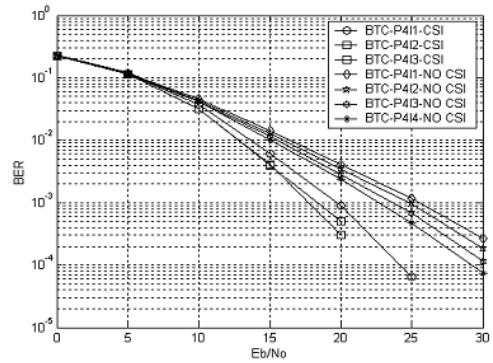
그림 7은 블록코드화된 QPSK-OFDM 변조방식의 성능곡선을 나타낸다. 본 논문에서 제안한 CSI 값을 적용한 반복 복호의 경우가 기존의 방식으로 복호할 경우보다 1회 반복 횟수일 때 BER 값이  $10^{-3}$ 에서 5[dB] 정도의 성능 향상을 보이며, 기존의 방식으로 4회 반복 복호할 경우보다 CSI 값을 적용하여 1회 반복 복호할 경우에는 3[dB]정도의 성능 향상을 보였다.



[그림 5] 블록터보코드의 64QAM 변조방식의 성능곡선



[그림 6] 블록터보코드의 16QAM 변조방식의 성능곡선



[그림 7] 블록터보코드의 QPSK 변조방식의 성능곡선

## 5. 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 1회의 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 1회 반복 복호한 시스템이 CSI 값을 적용하지 않은 기존의 복호 시스템의 4회 반복 복호한 경우보다도 5[dB] ~ 3.5[dB]의 성능 향상을 보임을 알 수 있었다. 따라서 블록터보코드를 반복 복호하는 경우에 CSI 값을 적용한 시스템이 뛰어난 성능 향상과 더불어 반복 복호 시간을 줄임을 알 수 있었다.

## 참고문헌

- [1] S. Kalyani, V. Raj and K. Giridhar, "Narrowband Interference Mitigation in Turbo-Coded OFDM Systems," IEEE ICC'07 Conference, pp. 1059-1064, 2007
- [2] C. Ding and C. Xie, "Block Turbo Coded OFDM Scheme and Its Performance for UAV high-speed Data Link," Wireless Comm & Signal Processing Conference, pp. 1-4, 2009
- [3] A. Al-Dweik, A. Goff and B. Sharif, "A Hybris Decoder for Block Turbo Codes," IEEE Trans. Comm., Vol 57, No. 5, pp. 1229-1232, May. 2009
- [4] R. Pyndish, A. Glavieux, A. Picart and S. Jacq, "Near optimum decoding of product codes," in Proc. IEEE Globecom Conference (San Francisco, CA, Nov.1994), pp.339-343

- [5] 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
- [6] 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
- [7] 이정익, "유비쿼터스 개념을 도입한 스마트웨어," 한국 산학기술학회 논문집. vol. 10, No. 5, pp923-928, 2009. 5

---

김 한 종(Han-Jong Kim)

[정회원]



- 1986년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학사)
- 1988년 8월 : 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1994년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1994년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 정보기술공학부 교수

<관심분야>

이동통신, 방송통신, 디지털신호처리 및 마이크로프로세서 응용 등