

논문 2013-50-8-3

Turbo coded BICM-ID의 복잡도 개선 기법

(A Low-Complexity Turbo coded BICM-ID System)

강 동 훈*, 이 용 욱*, 오 왕 록**

(Donghoon Kang, Yongwook Lee, and Wangrok Oh[©])

요 약

본 논문에서는 Turbo coded BICM-ID (bit-interleaved coded modulation with iterative decoding)의 구현 복잡도를 개선하기 위한 기법을 제안한다. 터보 부호는 Shannon 한계에 근접하는 우수한 성능을 나타내는 오류정정부호 (error correction code)이며 터보 부호와 고차원 변조 (high order modulation)를 결합하여 전송효율을 개선할 수 있다. BICM (bit-interleaved coded modulation)은 채널 부호와 고차원 변조 사이에 이진 인터리버를 사용하는 기법이며 복호기와 복조기 간에 정보를 주고받으며 반복 복호 (iterative decoding)를 수행하는 BICM-ID를 이용하여 성능을 개선 할 수 있다. BICM-ID는 BICM과 비교하였을 때 반복 복호로 인하여 비트오율 (bit error rate) 성능이 개선되지만 구현 복잡도가 크게 증가하는 단점이 있다. 본 논문에서는 Turbo coded BICM-ID에서 구현 복잡도를 개선하기 위한 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 기존에 제안된 Turbo coded BICM-ID 기법과 유사한 비트오율 (bit error rate) 성능을 나타내면서 구현 복잡도를 크게 감소시킬 수 있는 장점이 있다.

Abstract

In this paper, we propose a low-complexity Turbo coded BICM-ID (bit-interleaved coded modulation with iterative decoding) system. A Turbo code is a powerful error correcting code with a BER (bit error rate) performance very close to the Shannon limit. In order to increase spectral efficiency of the Turbo code, a coded modulation combining Turbo code with high order modulation is used. The BER performance of Turbo-BICM can be improved by Turbo-BICM-ID using iterative demodulation and decoding algorithm. However, compared with Turbo-BICM, the decoding complexity of Turbo-BICM-ID is increased by exchanging information between decoder and demodulator. To reduce the decoding complexity of Turbo-BICM-ID, we propose a low-complexity Turbo-BICM-ID system. When compared with conventional Turbo-BICM-ID, the proposed scheme not only show similar BER performance but also reduce the decoding complexity.

Keywords : Turbo code, Bit interleaving, Coded Modulation, Iterative Decoding

I. 서 론

터보 부호는 Shannon 한계에 근접하는 우수한 성능을 나타내는 오류정정부호이며^[1] 터보 부호와 고차원 변조를 결합하기 위한 많은 연구가 진행되었다^[4~7]. 격자 부호 (trellis code)와 고차원 변조 기법을 결합한

TCM (trellis coded modulation)은 Ungerboeck에 의하여 처음으로 제안되었으며^[2] TCM은 격자 부호와 고차원 변조 사이에 이진 인터리버 (binary interleaver)를 사용하는 BICM (bit interleaved coded modulation)을 이용하여 페이딩 채널에서의 성능을 개선할 수 있다^[3]. 또한 복호기와 복조기 간 정보를 주고받으며 반복 복호를 수행하는 BICM-ID (bit interleaved coded modulation with iterative decoding)를 이용하여 BICM의 성능을 개선할 수 있는 것으로 알려져 있다. 논문^[4]에서는 BICM에 기존의 격자 부호를 대신하여 터보 부호를 사

* 학생회원, ** 정회원, 충남대학교
(Department of Information Communications Engineering, Chungnam National University)
[©] Corresponding Author(E-mail: kingrock@cnu.ac.kr)
접수일자: 2013년3월21일, 수정완료일: 2013년7월24일

용하는 Turbo-BICM을 제안하였으며 터보 부호 복호기와 복조기 간에 정보를 교환하며 반복 복호 (iterative decoding)를 수행하는 Turbo-BICM-ID를 이용하여 성능을 개선할 수 있다^[5].

Turbo-BICM-ID에서 복조기는 터보 부호 복호기의 매 반복 복호에서 생성된 정보 및 패리티 비트에 대한 LLR (log-likelihood ratio)을 바탕으로 수신 심볼 (symbol)에 대한 사전 정보 (a priori information)를 구하고 이를 바탕으로 수신 심볼을 구성하고 있는 각 비트들에 대한 터보 복호기 입력 신호를 갱신한다. 매 반복 복호마다 터보 복호기에서 생성된 정보 및 패리티 비트들에 대한 LLR 값들은 인터리빙 된 후 복조기로 귀환 (feedback)되어야 한다. 이에 따라 Turbo-BICM-ID는 Turbo-BICM과 비교하였을 때 인터리버로 인하여 하드웨어 복잡도가 증가하는 단점이 있다. 또한 일반적인 터보 복호기와는 달리 정보 비트뿐만 아니라 패리티 비트에 대한 LLR 값을 추가적으로 계산하여야 하므로 Turbo-BICM-ID에 사용되는 터보 복호기의 계산량이 크게 증가하게 된다. 기존에 BICM-ID의 복잡도를 개선하기 위한 기법이 제안되었다^[8]. 논문 [8]에서 제안된 기법은 factor 그래프상에서 임계값을 넘지 않는 LLR 값만을 업데이트함으로써 복잡도를 감소시킨다. 이러한 기법은 채널 상황에 따라서 개선되는 복잡도의 양이 달라지며, 모든 LLR 값에 대하여 매번 임계값을 넘는지 여부를 판단해야 한다는 단점이 있다.

본 논문에서는 터보 부호화 과정에서 생성되는 정보 비트들을 변조 심볼에 매핑 (mapping)하는 방법과 터보 복호기에서 매 반복 복호 후 복조기로 귀환되는 정보의 종류를 최적화하여 기존에 제안된 Turbo-BICM-ID의 구현 복잡도를 크게 낮출 뿐만 아니라 기존 기법과 유사한 성능을 보이는 Turbo-BICM-ID의 개선 방안을 제안한다. 제안하는 기법은 터보 복호기에서 생성된 정보 비트에 대한 LLR만을 복조기로 귀환시키고 이를 바탕으로 복조기에서 수신 심볼에 대한 사전 정보를 생성하여 수신 심볼을 구성하고 있는 각 비트에 대한 터보 복호기 입력 신호를 갱신한다. 따라서 터보 복호기에서 패리티 비트에 대한 LLR을 추가적으로 계산할 필요가 없으므로 터보 복호기의 계산량을 크게 낮출 수 있을 뿐만 아니라 터보 복호기에서 복조기로 귀환되는 정보의 양도 크게 줄어들어 인터리버 구현에 필요한 하드웨어 복잡도를 크게 낮출 수 있는 장점이 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 Turbo coded BICM-ID 기법에 대해서 설명하고 III장에서 제안하는 기법에 대해 설명한다. IV장에서는 전산실험 결과를 확인하고 V장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

1. BICM-ID 송신기

본 논문에서는 터보 부호기, 이진 인터리버 및 변조기가 직렬연접으로 구성되어있는 시스템을 고려한다. 그림 1은 BICM-ID에서 이진 터보 부호와 8-PSK (8-phase shift keying)를 이용한 경우의 송신기 구조를 나타낸 것이다.

정보비트 u_k , $k = 1, 2, \dots, N$ 는 터보 부호기에 의하여 부호화되어 c_k^l , $k = 1, 2, \dots, N$, $l = 0, 1, 2$ 를 생성한다. 각각의 c_k^l 들은 서로 다른 이진 인터리버에 의하여 인터리빙된 후 변조기에 의하여 심볼로 매핑된다. 그림 1에 나타낸 바와 같이 인터리빙된 정보비트와 패리티 비트를 v_k^0, v_k^1, v_k^2 , $k = 1, 2, \dots, N$ 로 나타내면 매핑 테이블에 의하여 심볼 매핑되는 과정은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있으며

$$x_k = \mu(v_k^0, v_k^1, v_k^2), \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

$\mu()$ 는 심볼 매핑 테이블을 나타낸다. 변조된 심볼 x_k 는 채널을 거쳐 수신되며 수신된 신호는 식 (2)와 같이 쓸 수 있으며

$$y_k = h_k x_k + n_k, \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

여기에서 y_k 는 수신신호, h_k 는 페이딩 계수 (fading coefficient), n_k 은 차원 당 분산이 $N_0/2$ 인 가산성 백색 가우시안 잡음 (additive white Gaussian noise)이다. 본

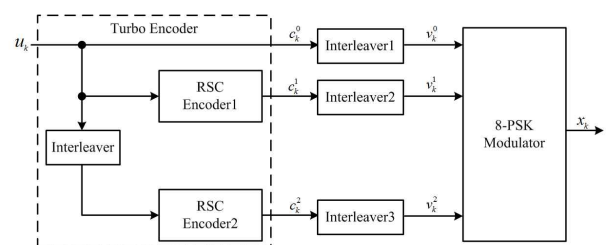


그림 1. BICM-ID 송신기 구조
Fig. 1. The Turbo-BICM-ID transmitter.

논문에서 채널 페이딩 계수 h_k 는 수신기에서 채널 추정을 통하여 완벽히 알고 있다고 가정한다.

2. BICM-ID 수신기

BICM-ID 수신기는 그림 2와 같이 나타낼 수 있다. 그림 2에서 $L^a(\mathbf{v}_k)$ 는 이진 값 v_k 에 대한 사전확률 (a priori information)을 $L^e(\mathbf{v}_k)$ 는 외부정보 (extrinsic information)을 나타낸다. 채널로부터 수신된 신호 y_k 와 터보 복호기로부터 받은 사전정보, $L^a(\mathbf{v}_k)$, $k = 1, 2, \dots, N$ 를 이용하여 복조를 수행하며 각 부호 비트가 수신될 확률은 식 (3)과 같이 계산할 수 있으며

$$\begin{aligned} P(v_k^m = b | y_k) &= \sum_{x_k \in \chi(m,b)} P(x_k | y_k) \\ &= \sum_{x_k \in \chi(m,b)} P(y_k | x_k) P(x_k) / P(y_k) \quad (3) \\ m &= 0, 1, 2; b = 0, 1 \end{aligned}$$

여기에서 $\chi(m,b)$ 는 심볼에 매핑된 m 번째 비트가 b 인 값을 갖는 변조 심볼의 집합을 나타낸다. $P(y_k)$ 는 수신신호 y_k 에 대한 수신확률을 나타내며 LLR 계산과정에서 분모와 분자에 공통으로 곱해지므로 미리 소거하여 식을 간략화 할 수 있다. $P(x_k)$ 는 심볼 x_k 의 사전확률을 나타내며 심볼 x_k 에 매핑된 이진값 v_k^0, v_k^1, v_k^2 가 서로 독립이라고 가정할 경우 식 (3)의 사전확률 $P(x_k)$ 는 식 (4)와 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} P(x_k) &= P(\mu([v_k^0(x_k), v_k^1(x_k), v_k^2(x_k)])) \\ &= \prod_{m=0}^{M-1} P(v_k^m = v^m(x_k)) \quad (4) \end{aligned}$$

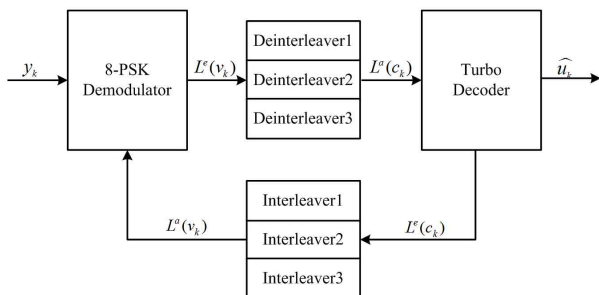


그림 2. 기존의 BICM-ID 수신기 구조
Fig. 2. The conventional Turbo-BICM-ID receiver.

여기에서 M 은 하나의 심볼에 매핑된 비트의 개수를 나타내며 식 (3)과 식 (4)를 이용하여 v_k^m 에 대한 사후확률을 계산하면 식 (5)와 같다.

$$\begin{aligned} P(v_k^m = b | y_k) &= \sum_{x_k \in \chi(m,b)} P(y_k | x_k) \prod_{m=0}^{M-1} P(v_k^m = v^m(x_k)) \quad (5) \\ &= \sum_{x_k \in \chi(m,b)} \exp \left[\log P(y_k | x_k) + \log \prod_{l=0}^{M-1} P(v_k^l = v^l(x_k)) \right] \end{aligned}$$

식 (5)의 양변에 $\prod_{l=0}^{M-1} 1/P(v_k^l = 1)$ 를 곱하면 식 (5)는 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} P(v_k^m = b | y_k) \prod_{l=0}^{M-1} 1/P(v_k^l = 1) &= \sum_{x_k \in \chi(m,b)} \exp \left[\log P(y_k | x_k) + \sum_{v_k^l(x_k) \neq 0} L(v_k^l) \right] \quad (6) \end{aligned}$$

식 (6)의 $L(v_k^l)$ 은 이진 값 v_k^l 에 대한 LLR 값을 나타내며, 식 (6)의 확률값을 이용하여 부호어, v_k^m 에 대한 외부정보, $L^e(v_k^m)$ 는 식 (7)과 같이 계산할 수 있다.

$$L^e(v_k^m) = \log \frac{P(v_k^m = 0 | y_k)}{P(v_k^m = 1 | y_k)} - L^a(v_k^m) \quad (7)$$

식 (7)의 LLR을 이용하여 터보 복호기에서는 매 반복 복호가 완료된 후 각 부호어 비트별로 외부정보, $L^e(\mathbf{c}_k)$ 를 계산하여 복조기로 정보를 넘겨준다. 이러한 과정을 반복하여 반복 복호를 수행하고 마지막 반복 복호에서 터보 복호기에서는 정보비트에 대한 값을 추정한다.

III. 제안하는 기법

본 논문에서는 터보 복호기로부터 복조기로 피드백되는 정보의 양과 종류를 최적화하여 복잡도를 개선하기 위한 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 복잡도를 줄이기 위하여 8-PSK 변조된 심볼에 매핑된 3개의 비트 중 하나의 비트에 대한 정보만을 복호기에서 복조기로 귀환한다. 8-PSK 변조된 심볼에 매핑된 모든 비트에 대한 정보를 귀환하는 기존의 BICM-ID 기법과 비

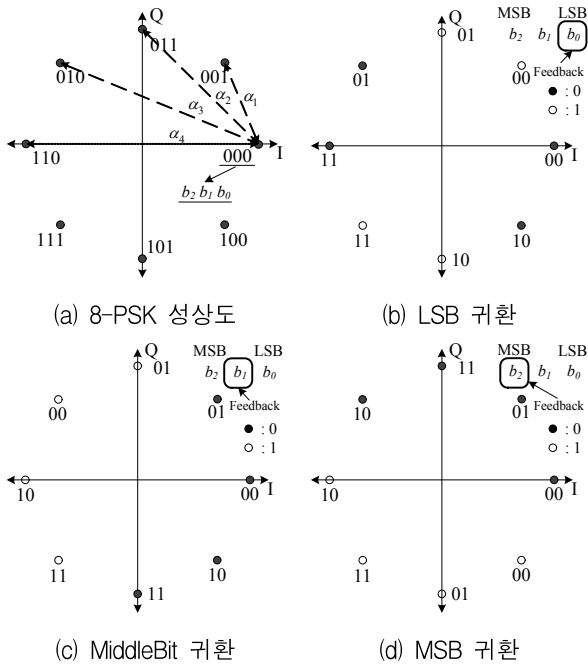


그림 3. 8-PSK의 성상도
Fig. 3. 8-PSK constellation.

교하였을 때 하나의 비트에 대한 정보만을 귀환함으로써 구현 복잡도를 줄이는 것이 가능하다. 그림 3은 8-PSK의 성상도 및 심볼에 매핑된 세 개의 비트 중 하나의 비트를 예리없이 귀환하였을 경우의 성상도를 나타낸 것이다. 그레이 코드 (gray code)를 이용한 심볼 매핑 방법을 고려하였으며 그림 3(a)는 8-PSK의 성상도를 그림 3(b)~(d)는 각각 b_0 , b_1 및 b_2 를 예리없이 귀환한 경우의 성상도를 나타낸다. 그림 3(b)~(d)에 나타낸 바와 같이 비트에 대한 정보를 예리없이 귀환할 경우 귀환되는 데이터 값이 0 또는 1인 값에 따라서 검정색 또는 하얀색의 성상도만이 남게 된다. 그림 3에 나타낸 성상도의 성능은 해밍거리 (Hamming distance)와 유클리디안 거리 (Euclidean distance)를 이용하여 분석할 수 있으며 이를 전달함수 (Transfer function)로 나타내면 아래의 식과 같다^[9].

$$T_{LSB}(L, H) = 1 + LH^{\alpha_1} + LH^{\alpha_3} + L^2H^{\alpha_4} \quad (8)$$

$$T_{MiddleBit}(L, H) = 1 + \frac{3}{2}LH^{\alpha_1} + L^2H^{\alpha_2} + \frac{1}{2}L^2H^{\alpha_3} \quad (9)$$

$$T_{MSB}(L, H) = 1 + \frac{3}{2}LH^{\alpha_1} + L^2H^{\alpha_2} + \frac{1}{2}L^2H^{\alpha_3} \quad (10)$$

L 과 H 는 각각 해밍거리와 유클리디안 거리에 관련된 가변수이며 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ 는 그림 3(a)에 나타낸 바와 같이 유클리디안 거리 (Euclidean distances)이다.

비트오율 성능은 해밍 거리에 의하여 선형적으로 유클리디안 거리에 의해서는 지수적으로 변화하므로 유클리디안 거리에 의하여 가장 큰 영향을 받는다. 식 (8)~(10)에 나타낸 유클리디안 거리의 분포를 통하여 알 수 있듯이 b_0 (least significant bit, LSB)를 피드백 하였을 경우 가장 우수한 비트오율 성능을 나타낼 것을 예상할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 구현 복잡도를 고려하여 LSB에 대한 정보만을 터보 복호기로부터 복조기로 귀환하는 방안을 제안한다.

그림 2에 나타낸 바와 같이 기존에 제안된 기법의 터보 복호기에서는 정보비트와 패리티 비트에 대한 외부정보를 계산하여 복조기로 넘겨준다. 정보비트와는 달리 패리티 비트에 대한 정보는 일반적인 터보 복호기에서 생성되는 정보가 아니므로 Turbo-BICM-ID를 구현하기 위해서는 터보 복호기에서 추가적으로 패리티 비트에 대한 외부정보를 계산하여야 하며 터보 복호기의 복잡도가 크게 증가하게 된다. 따라서 본 논문에서는 Turbo-BICM-ID의 구현 복잡도를 감소시키기 위하여 터보 복호기에서 정보비트에 대한 정보만을 복조기로 넘겨주어 반복 복호를 수행하는 기법을 제안한다. 또한 앞에서 살펴본 바와 같이 8-PSK 심볼의 LSB에 해당하는 b_0 에 매핑되는 정보를 귀환하였을 때 가장 좋은 성능을 보일 것으로 예상되므로 터보 복호기에서 출력되는 정보비트를 8-PSK 심볼의 LSB에 매핑하였다.

그림 4는 본 논문에서 제안하는 Turbo-BICM-ID의 수신기 구조를 나타낸 것이다. 그림 4에 나타낸 바와 같이 제안하는 기법은 터보 복호기에서 계산된 정보비트, c_k^0 에 대한 외부정보, $L^e(c_k^0)$ 만이 인터리버를 거쳐

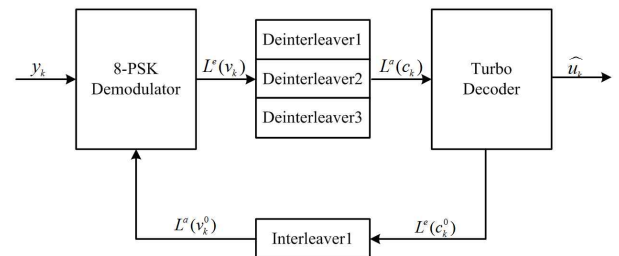


그림 4. 제안하는 기법의 수신기 구조
Fig. 4. The proposed Turbo-BICM-ID receiver.

복조기의 사전정보, $L^a(v_k^0)$ 로 입력된다. 복조기에서는 채널로부터 수신된 신호 y_k 와 사전정보를 이용하여 부호어에 대한 외부정보, $L^e(v_k)$ 를 계산한다. 따라서 기존의 Turbo-BICM-ID와 비교하였을 때 제안하는 기법은 터보 복호기에서 패리티 비트에 대한 LLR을 추가적으로 계산할 필요가 없으므로 터보 복호기의 계산량을 크게 낮출 수 있을 뿐만 아니라 터보 복호기에서 복조기로 귀환되는 정보의 양도 1/3로 줄어들어 인터리버 구현에 필요한 하드웨어 복잡도를 크게 낮출 수 있는 장점이 있다.

IV. 전산실험 결과

본 논문에서 제안하는 기법의 성능을 확인하기 위하여 전산실험을 수행하였다. 전산실험에 사용한 터보 부호의 변수는 표 1과 같다.

그림 5와 6은 각각 Turbo-BICM-ID에서 복조기로 입력되는 사전 정보를 심볼에 매핑되는 MSB, LSB, Middle Bit별로 또는 정보비트와 패리티 비트1, 2별로 구분하여 비트오율 성능에 가장 큰 영향을 미치는 사전 정보를 확인하기 위하여 전산실험을 수행한 결과이다. 터보 부호의 변수는 표 1과 같으며 터보 부호와 8-PSK 변조 사이에는 하나의 이진 인터리버를 사용하는 S-BICM (single-BICM) 기법을 사용하였다. BICM 기법에서는 인터리버 구조에 따라서 그림 1에 나타낸 바와 같이 심볼에 매핑되는 비트 스트림 (bit stream) 별로 다수의 독립적인 인터리버를 사용하는 M-BICM (multiple-BICM)과 하나의 비트 인터리버를 사용하는 S-BICM으로 나눌 수 있다^[10]. M-BICM은 S-BICM과 비교하였을 때 심볼 매핑시 중요한 비트를 에러에 강인한 위치에 매핑이 가능한 장점이 있다. 그림 5와 6의 전산실험에서는 복조기에서 사용하는 MSB, LSB 및 Middle bit에 대한 사전정보와 복호기에서 생성된 정보

표 1. 터보 부호의 변수
Table 1. Turbo code parameters.

Coderate	1/3
Constraint length	3
Generator polynomial	$(1, g_2/g_1) = (1, 5/7)_8$
Interleaver	Uniform interleaver
Interleaver length	1024

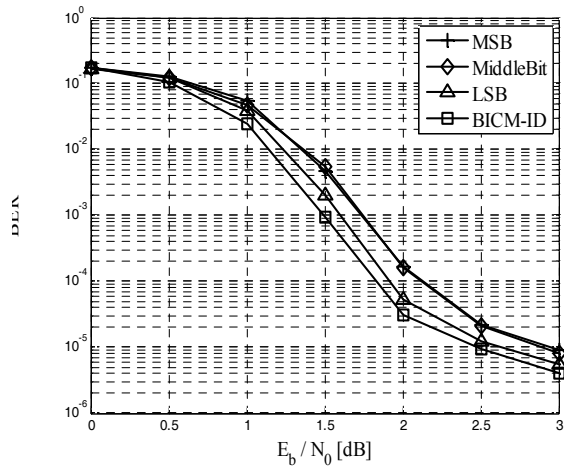


그림 5. 복조기에서 사용하는 사전정보에 따른 Turbo-BICM-ID의 성능

Fig. 5. BER performances of Turbo-BICM-ID with a priori information.

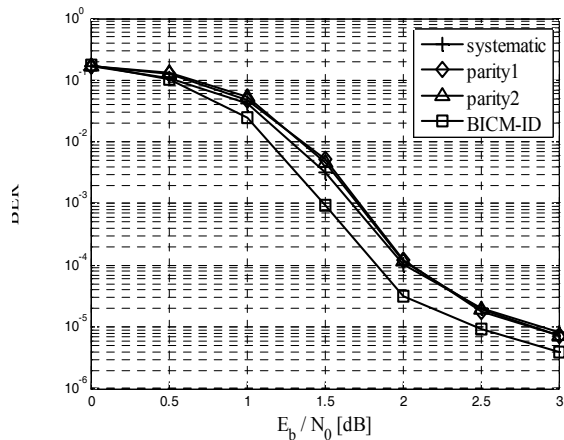


그림 6. 복조기에서 사용하는 사전정보에 따른 Turbo-BICM-ID의 성능

Fig. 6. BER performances of Turbo-BICM-ID with a priori information.

비트, 패리티 비트1 및 패리티 비트2에 대한 정보를 서로 독립적으로 분리하기 위하여 S-BICM 기법을 사용하였다.

그림 5에서 확인할 수 있는 바와 같이 터보 복호기와 복조기 간 반복 복호 수행 시 구현 복잡도를 고려하여 복조기에서 심볼에 매핑되는 비트중 하나의 비트만을 사전정보로 사용할 경우 LSB에 대한 사전 정보만을 사용함으로써 가장 우수한 비트오율 성능을 얻을 수 있는 것을 확인 할 수 있다. 그림 6은 터보 복호기에서 복조기로 귀환되는 정보를 정보비트와 패리티 비트1, 2별로

구분하여 비트오율 성능에 가장 큰 영향을 미치는 비트를 확인하기 위하여 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 그림 6을 통하여 알 수 있듯이 정보비트와 패리티 비트1, 2별로 구분하여 한 가지 정보만을 귀환시켰을 때 모든 비트를 귀환하는 경우보다는 성능 열화가 발생하지 않더라도 어떠한 비트를 피드백하건 유사한 비트오율 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 따라서 세 가지의 비트 중 하나의 비트에 대한 정보만을 복조기로 넘겨줄 경우 비트오율 관점에서는 임의의 비트에 정보를 넘겨주어도 된다. 반면 패리티 비트에 대한 정보는 일반적인 터보 복호기에서 사용되는 정보가 아니므로 패리티 비트에 대한 정보를 넘겨줄 경우 추가적인 계산과정이 필요하다. 따라서 정보비트에 대한 정보만을 복조기로 넘겨줌

으로써 구현 복잡도를 낮출 수 있다.

그림 7은 본 논문에서 제안하는 기법의 비트오율 성능을 나타낸 것이다. 터보 부호의 변수는 표 1과 같으며 그림 1과 2에 나타낸 바와 같이 M-BICM 기법을 사용하였다. 그림 7에서 확인할 수 있는 바와 같이 제안하는 기법을 사용할 경우 기존에 제안된 Turbo-BICM-ID와 비교하였을 때 비트오율이 10^{-5} 인 영역에서 약 0.03 dB의 성능 열화가 발생된다. 따라서 제안하는 기법은 기존에 제안된 기법과 비교하였을 때 터보 복호기에서 정보비트에 대한 정보만을 복조기로 넘겨주어 반복 복호를 수행함으로써 구현 복잡도를 크게 감소시키면서도 기존의 기법과 유사한 비트오율 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

그림 8은 레일레이 채널에서의 성능을 나타낸 것이다. 그림 7의 결과와 마찬가지로 기존의 Turbo-BICM-ID와 비교하였을 때 제안하는 기법의 비트오율 성능이 유사한 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 Turbo-BICM-ID에서 구현 복잡도를 개선하기 위한 기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 터보 복호기에서 정보비트에 대한 정보만을 복조기로 넘겨주어 반복 복호를 수행함으로써 구현 복잡도를 줄이는 것이 가능하다. 제안하는 기법은 기존에 제안된 Turbo-BICM-ID 기법과 비교하였을 때 유사한 비트오율 성능을 유지하면서 구현 복잡도를 크게 줄이는 것이 가능한 장점이 있다.

REFERENCES

- [1] C. Berrou and A. Glavieux, "Near optimum error correcting coding and decoding : turbo-codes," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 44, pp. 1261-1271, Oct. 1996.
- [2] G. Ungerboeck, "Channel coding with multilevel /phase signals," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 28, pp. 55 - 67, Jan. 1982.
- [3] E. Zehavi, "8-PSK trellis codes for a Rayleigh channel," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 40, pp. 873-884, May 1992.
- [4] S. Le Goff, A. Glavieux, and C. Berrou, "Turbo-codes and high spectral efficiency

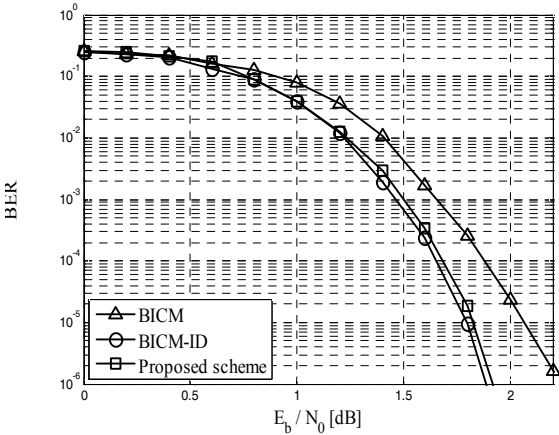


그림 7. 제안하는 기법의 비트오율 성능 (AWGN)
Fig. 7. BER performance of the proposed scheme over AWGN channel.

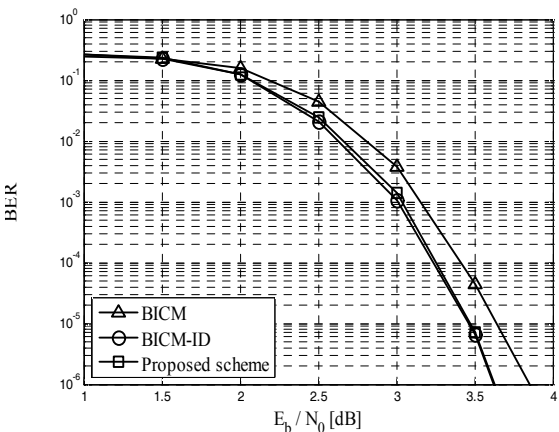


그림 8. 제안하는 기법의 비트오율 성능 (Rayleigh)
Fig. 8. BER performance of the proposed scheme over Rayleigh fading channel.

- modulation,” *Proc. ICC '94*, pp. 645-649, 1994.
- [5] I. Abramovici and S. Shamai, “On turbo encoded BICM,” *Ann. Telecomm.*, vol. 54, pp. 225-234, Mar. 1999.
- [6] S. A. Barbulescu and W. Farrel, “Bandwidth efficient turbo coding for high speed mobile satellite communications,” *International Symposium on Turbo Codes and Related Topics, (Brest Fr.)*, pp. 119-126, 1997.
- [7] C. A. Nour, C. Douillard, “Performance improvement using turbo coded BICM-ID with 16-QAM over Gaussian and flat fading Rayleigh channels,” *IST Mobile and Wireless Communications Summit*, Dresden, Germany, pp. 1-4, 2005.
- [8] S. Schwandter, Z. Naja, P. Duhamel and G. Matz, “Complexity reduction in BICM-ID systems through selective log-likelihood ratio updates,” in *Proc. IEEE Int. Workshop on Signal Process. Advances in Wireless Commun., (SPAWC)*, June 2010.
- [9] J. Tan and G. L. Stuber, “Analysis and Design of Symbol Mappers for Iteratively Decoded BICM,” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 4, no. 2, pp. 662-672, Mar. 2005.
- [10] I. Abramovici and S. Shamai, “On turbo encoded BICM,” *Ann. Telecommun.*, vol. 54, pp. 225-234, Mar. 1999.

— 저 자 소 개 —



강 동 훈(학생회원)
2009년 충남대학교 전기정보통신
공학부 학사
2009년~현재 충남대학교 정보통
신공학과 석박사통합과정
<주관심분야 : 오류정정부호, 디
지털 통신>



이 용 옥(학생회원)
2008년 충남대학교 전기정보통신
공학부 학사
2010년 충남대학교 전자전파정보
통신공학과 석사
2010년~2011년 삼성전자 연구원
2011년~현재 충남대학교 정보통
신공학과 박사과정

<주관심분야 : OFDM 시스템, 협력통신>



오 왕 록(정회원)-교신저자
1994년 포항공과대학교
전자전기공학과 학사
1997년 포항공과대학교
정보통신학과 석사
2003년 포항공과대학교
전기전자공학과 박사

1994년~1995년 스탠더드텔레콤 연구원
1997년~2000년 포항공과대학교 정보통신연구소
전임연구원

2003년~2006년 포항공과대학교 정보통신연구소
전임연구원

2006년~2010년 충남대학교 정보통신공학과
조교수

2010년~현재 충남대학교 정보통신공학과 부교수
<주관심분야 : 통신시스템 설계 및 구현, 오류정
정부호, MIMO 시스템>