

논문 2006-43TC-5-15

# LLR 최대부호변화를 적용한 터보부호의 효율적인 반복중단 알고리즘

(Efficient stop criterion algorithm of the turbo code using the maximum sign change of the LLR)

심 병 섭\*, 정 대 호\*, 임 순 자\*, 김 태 형\*\*, 김 환 용\*\*\*

(ByoungSup Shim, DaeHo Jeong, SoonJa Lim, TaeHyung Kim, and HwanYong Kim)

## 요 약

터보부호는 가산성 백색 가우시안 잡음(AWGN) 채널 환경에서 반복적인 복호 알고리즘을 사용함으로써 반복복호가 진행됨에 따라 BER 성능이 샤논 한계에 근접하는 성능을 보이는 오류정정 방식으로 알려져 있다. 그러나 터보부호의 복호과정에서 반복 횟수가 증가하게 되면 BER 성능은 향상되지만 다양한 채널환경에서 SNR이 증가할 때 무의미한 반복이 이루어진다. 그러므로 복호 지연이 증가하고 실시간 처리가 어렵다는 문제점을 가지고 있다. 이를 해결하기 위해서는 적절한 반복 후 중단시킬 수 있는 새로운 알고리즘이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 복호기의 연판정 출력인 LLR 부호 변화의 최대값을 설정하여 최대값 이전의 부호변화가 발생하면 반복복호를 중단하여 BER의 손실없이 평균 반복복호 횟수를 감소시킬 수 있는 새로운 반복중단 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘에 대한 모의실험 결과, 제안된 반복중단에 의한 BER 성능은 제안된 알고리즘과 기존의 알고리즘 모두 거의 차이가 없었다. 하지만 평균 반복복호 횟수는 기존의 반복중단 알고리즘에 비해서 효과적으로 감소시킬 수 있었다.

## Abstract

It is well known the fact that turbo codes has better performance as the number of iteration and the interleaver size increases in the AWGN channel environment. However, as the number of iteration and the interleaver size are increased, it is required much delay and computation for iterative decoding. Therefore, it is important to devise an efficient criterion to stop the iteration process and prevent unnecessary computations and decoding delay. In this paper, it proposes the efficient stop criterion algorithm for turbo codes using the maximum sign change of LLR. It is verifying that the proposal variable iterative decoding controller can be reduced the average iterative decoding number compared to conventional schemes with a negligible degradation of the error performance.

**Keywords :** Turbo Codes, Iterative decode, Stop criterion, Log-MAP

## I. 서 론

디지털 이동통신 시스템은 무선채널을 이용하기 때

문에 비트 오류가 발생할 확률이 매우 높다.

이러한 오류를 극복하여 시스템의 신뢰도를 높이기 위해서는 오류제어 기법을 도입하는 것이 필수적이다. 채널의 성격에 따라 오류제어 기법은 여러 가지 형태로 변형될 수 있으나 기본적인 방법은 오류정정 부호를 사용하는 것이다. IMT-2000을 비롯한 차세대 이동통신 시스템에서는 고속 데이터 처리의 신뢰도를 높이기 위해 강력한 오류정정 능력을 갖는 채널부호방식을 요구 하고 있다.

1993년 Berrou 등에 의해 제안된 터보부호는 부호기

\* 정희원, \*\*\* 평생회원, 원광대학교 전자공학과  
(Department of Electronic Engineering,  
Wonkwang University)

\*\* 정희원, 국립익산대학 전자정보과  
(Department of Electronic & Information,  
Iksan National College)

※ 본연구는 산업자원부 지역혁신 인력양성사업의  
연구결과로 수행되었음.

접수일자: 2006년1월10일, 수정완료일: 2006년5월15일

입력과 인터리버에 의해 재배열된 입력을 각각 두 개의 구성부호기(Constituent Encoder)를 통해 부호화하여, 입력정보와 다중패리티 정보를 출력하도록 구성된다. 이러한 터보부호는 구성 부호기 사이의 인터리버의 크기를 증가시킴에 따라 사는 한계에 근접하는 우수한 오류정정 능력을 가지는 것으로 알려져 있다<sup>[1]</sup>.

터보부호의 복호기는 각 구성부호기에 대응하는 SISO(Soft Input/Soft Output) 복호기와 경관정 블록으로 구성된다. SISO 알고리즘으로는 MAP(Maximum A Posteriori), log-MAP, max-log-MAP 및 비터비 복호기를 변형시킨 SOVA (Soft Output Viterbi Algorithm) 등이 알려져 있다<sup>[2,3]</sup>. 반복복호(Iterative decoding)는 하나의 SISO 복호기에 의해 생성되는 연관정값을 다른 SISO 복호기에 넘겨주어 수행한다. 반복복호가 진행됨에 따라 BER 성능은 개선된다. 하지만 이러한 반복복호 방식은 반복복호 횟수가 증가함에 따라 복호지연과 계산량이 추가적으로 증가하게 되는 단점을 갖는다. 이는 전력소모의 최적화가 필요한 이동통신 시스템에서 해결해야 할 문제이다. 따라서 반복복호 과정에서, 최적의 성능이득을 얻은 뒤 더 이상의 반복복호를 중단시키는 중단기준이 필요하게 된다<sup>[4-6]</sup>.

본 논문에서는 터보복호기에서 프레임당 반복복호 횟수를 효과적으로 줄일 수 있는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 LLR부호 변화의 최대값을 설정하여 최대값 이전의 부호변화가 발생하면 반복복호를 중단하여 BER의 손실없이 평균 반복복호 횟수를 감소시킬 수 있는 새로운 반복중단 알고리즘이다. 제안된 알고리즘의 성능 확인을 위해서 log-MAP 알고리즘을 기반으로 한 터보부호를 MATLAB Tool을 이용하여 모의실험을 수행하였으며 기존의 알고리즘과 BER 성능 및 평균 반복복호 횟수를 비교 분석 하였다. 실험 결과, 기존의 반복중단 알고리즘에 비해서 평균 반복복호 횟수를 효과적으로 감소시킬 수 있었다.

## II. 터보부호 시스템

일반적으로 터보부호는 동일한 생성다항식을 갖는 2개의 RSC 부호기와 인터리버로 구성되어 있다. 그림 1은 터보부호 시스템을 나타내고 있다. 터보부호가 구조적인 형태이므로 한 프레임의 입력인 정보비트  $d_k$ 는 부호화 과정을 수행하지 않고 정보비트  $x_k$ 를 출력한다.

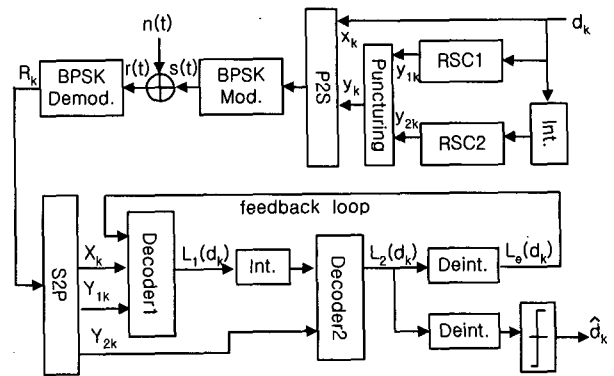


그림 1. 터보부호 시스템  
Fig. 1. Turbo codes system.

RSC1은 정보비트의 원래 입력 순서에 따라 패리티 정보  $y_{1k}$ 를 출력하고 RSC2는 인터리버에 의하여 순서가 재배열된 정보비트의 순서에 따라 이중의 패리티 정보  $y_{2k}$ 를 출력한다. 또한  $y_{1k}$ 과  $y_{2k}$ 를 펄치링을 수행하여 원하는 부호율을 얻을 수 있다. 이러한 부호화 과정은 프레임 단위로 이루어지며 한번에 부호화 되는 정보 프레임의 길이는 부호기 내부에서 사용되는 인터리버의 크기와 같다.

BPSK 복조된 수신신호를  $R_1^N = (R_1, R_2, \dots, R_N)$ 이라 하면  $R_k = (X_k, Y_k)$ 는 시간  $k$ 에서 수신된 심볼을 나타내며  $X_k$ 와  $Y_k$ 는 각각 MAP 복호기의 입력으로서 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} X_k &= (2x_k - 1) + n_k \\ Y_k &= (2y_k - 1) + m_k \end{aligned} \quad (1)$$

여기서  $x_k, y_k$ 는 각각 부호기의 출력값이며  $n_k, m_k$ 는 잡음이다. MAP 알고리즘은  $R_1^N$ 값이 수신된 후 수신된 심볼에 대하여 유사도(likelihood ratio)를 구하여 정보비트  $d_k$ 를 결정하는 것으로 정보비트  $d_k$ 의 수신신호  $R_1^N$ 에 대한 조건부 확률 LLR(log likelihood ratio)은 식 (2)와 같다.

$$L(\hat{d}_k | R_1^N) = \log \frac{P(\hat{d}_k = 1 | R_1^N)}{P(\hat{d}_k = 0 | R_1^N)} \quad (2)$$

여기서  $N$ 은 인터리버의 크기를 나타낸다. 식 (2)에서 LLR 출력값은 수신 신호열이  $R_1^N$ 일 때 정보비트  $d_k$ 가 "1"일 확률과 "0"일 확률의 비에 log를 취한 값을 알 수가 있다. 이러한 LLR 출력값은 식 (3)과 같이 세 가지 항의 합으로 나타낼 수 있다.

$$L(\hat{d}_k | R_1^N) = L_a(d_k) + L_c y_k + L_e(\hat{d}_k) \quad (3)$$

여기서  $L_a(d_k)$ 는 정보비트  $d_k$ 에 대한 사전정보(a priori information)값이고 두 번째 항은 수신된 systematic 정보에 대한 값이다. 여기서  $L_c$ 는 채널의 신뢰도(reliability)로써 가우시안 채널에서는  $2/\sigma^2$ 의 값을 갖는다. 그리고 세 번째 항은 외부정보(extrinsic information)값이다. 복호과정에서 앞 단의 구성 복호기에서 계산된 외부정보는 인터리버를 거쳐서 다음 단의 구성 복호기에 대한 사전정보로 이용되기 때문에 보다 신뢰성 있는 연판정 출력값을 가지게 된다. 식 (3)으로부터  $i$ 번째 반복복호 후에 각 복호기의 출력값은 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} L_1^{(i)}(\hat{d}_k) &= L_{e2}^{(i-1)}(\hat{d}_k) + \frac{2}{\sigma^2} y_k + L_{e1}^{(i)}(\hat{d}_k) \\ L_2^{(i)}(\hat{d}_k) &= L_{e1}^{(i)}(\hat{d}_k) + \frac{2}{\sigma^2} y_k + L_{e2}^{(i)}(\hat{d}_k) \end{aligned} \quad (4)$$

기존의 반복중단 알고리즘으로는 Hagenauer에 의해서 제안된 CE(Cross Entropy) 반복중단 알고리즘과 Shao 등에 의해서 제안된 SCR(Sign Change Ratio)과 HDA (Hard Decision Aided) 반복중단 알고리즘이 있다<sup>[4,5]</sup>. CE 반복중단 알고리즘은 각 반복과정에서 CE를 계산하고 현재 계산된 CE와 첫 번째 반복에서 계산된 CE를 이용하여 중단조건을 검사한다<sup>[4]</sup>.  $i$ 번째 반복에서 CE,  $T(i)$ 는 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$T(i) = \sum_{k=1}^N \frac{|L_{e2}^{(i)}(\hat{d}_k) - L_{e2}^{(i-1)}(\hat{d}_k)|^2}{\exp(|L^{(i-1/2)}(\hat{d}_k)|)} \quad (5)$$

여기서  $T(i) < \delta \cdot T(1)$ 을 만족할 경우 반복을 중단한다.  $\delta$ 는  $10^{-2} \sim 10^{-4}$  사이의 값을 갖으며  $\delta$ 가 작을수록 성능의 저하없이 반복복호를 중단할 수 있다. 이러한 CE 알고리즘에서는 CE를 계산하기 위해서 이전 복호과정의 사전정보값이 필요하므로  $N$ 개의 실수 값을 저장할 수 있는 메모리가 필요하다.

SCR 반복중단 알고리즘은 반복복호를 수행할 때마다 외부정보의 부호(sign) 변화를 검사하여 반복복호를 중단하는 것이다. 변화하는 부호의 갯수를 구하기 위해서 식 (5)를 식 (6)과 같이 근사화(approximation)시킬 수 있다<sup>[5]</sup>.

$$\begin{aligned} T(i) &\approx \sum_{k \in \Lambda_s} \frac{|\Delta L_{e2}^{(i)}(\hat{d}_k)|^2}{\exp(|L_1^{(i-1)}(\hat{d}_k)|)} \\ &+ \sum_{k \in \Lambda_s} \frac{|\Delta L_{e2}^{(i)}(\hat{d}_k)|^2}{\exp(|L_1^{(i-1)}(\hat{d}_k)|)} \\ &= T_1(i) + T_2(i) \end{aligned} \quad (6)$$

여기서  $T_1(i)$ 는  $T_2(i)$ 에 비해서 매우 작기 때문에 식 (6)을 정리하여 식 (7)과 같이 나타낼 수 있으며  $C(i)$ 의 범위가  $C(i) \leq (0.005 \sim 0.03)N$  이면 복호를 중단하게 된다.

$$T(i) \approx \sum_{k \in \Lambda_s} \frac{|\Delta L_{e2}^{(i)}(\hat{d}_k)|^2}{\exp(|L_1^{(i-1)}(\hat{d}_k)|)} \approx \delta_i C(i) \quad (7)$$

HDA 반복중단 알고리즘은 현재의 경판정 출력값들이 이전 반복복호에서의 경판정 출력값들과 일치할 경우 반복을 중단하는 것으로 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{sign}(L_2^{(i)}(\hat{d}_k)) = \text{sign}(L_2^{(i-1)}(\hat{d}_k)) \quad \text{all } k \in \Lambda \quad (8)$$

따라서 두 번째 구성 복호기의 이전 복호과정에서 얻어진 경판정 출력값들을 메모리에 저장하고, 이 저장되어 있는 값들과 현재 경판정 출력값들과의 이진 덧셈 연산의 결과값이 "0"이 되면 반복을 중단하게 된다.

### III. 제안된 반복복호 알고리즘

본 논문에서 제안하는 반복중단 알고리즘은 BER 성능의 손실없이 효과적으로 평균 반복복호 횟수를 감소시키기 위한 알고리즘으로써 복호기의 연판정 출력값인 LLR의 부호비트를 비교하여 중단조건을 검사하게 된다.

식 (4)에서 정의된 LLR 출력값은 정보비트  $d_k$ 에 대한 신뢰도를 나타내며 반복복호시 성능향상에 중요한 역할을 하게 된다. 반복복호는 각 정보비트의 LLR 값을 향상 시킨다. 그리고 각 정보비트는 LLR 값의 부호를 경판정하여 결정된다.

Hagenauer는 반복복호가 거듭될수록 첫 번째 복호기와 두 번째 복호기의 LLR값의 부호가 식 (9)와 같이 됨을 가정하였다<sup>[4]</sup>.

$$\text{sign}(L_1^{(i)}(\hat{d}_k)) = \text{sign}(L_2^{(i)}(\hat{d}_k)) = \pm 1 \quad (9)$$

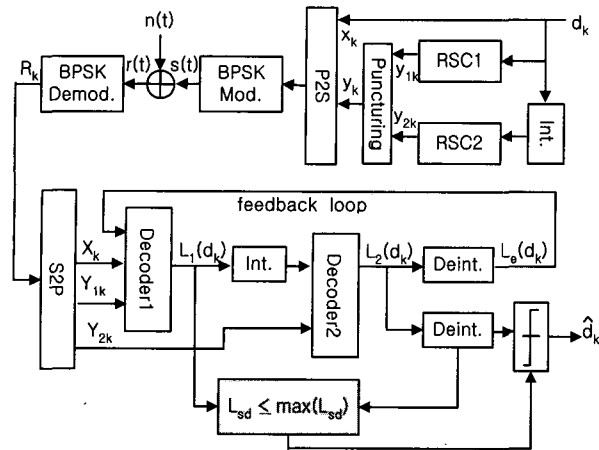


그림 2. 제안된 반복중단 알고리즘을 갖는 터보부호 시스템  
Fig. 2. Turbo codes system with proposed stop criterion.

즉, 반복복호가 거듭 될수록 첫 번째 복호기와 두 번째 복호기의 LLR의 부호비트가 같은 값으로 수렴하게 되며 정보비트를 올바르게 복호할 수 있게 된다는 것이다. 그러나 두 복호기의 부호비트가 수렴되기 직전 반복복호에서도 정보비트를 올바르게 복호할 수가 있다. 그림 2는 Decoder1과 Decoder2로부터 출력되는 LLR의 서로 다른 부호비트를 계수하는 제안된 반복중단 알고리즘을 갖는 터보부호 시스템을 나타내고 있다.

반복되는 모의실험을 통해서 두 복호기 Decoder1과 Decoder2의 LLR 부호비트가 서로 다른 갯수 ( $L_{sd}$ )와 프레임내의 오류갯수 ( $N_{err}$ )의 관계를 통하여 다음과 같은 4가지의 경우를 나타낼 수 있다.

- 경우 1. 반복복호가 진행하더라도  $L_{sd}$  와  $N_{err}$  이 큰 값을 가지는 경우
- 경우 2. 반복복호가 진행함에 따라  $L_{sd}$  와  $N_{err}$  이 0이 되는 경우
- 경우 3. 반복복호가 진행함에 따라  $L_{sd}$  는 0이지만  $N_{err}$  가 0이 되지 않는 경우
- 경우 4. 반복복호가 진행함에 따라  $L_{sd}$  가 0이 되지 않지만  $N_{err}$  은 0이 되는 경우

먼저 경우 1은 반복복호를 진행하더라도 프레임내에 오류가 여전히 남아있어서 정보비트를 복호할 수 없는 경우이다. 경우 2는 반복복호가 진행됨에 따라 프레임내의 오류가 없기 때문에 정보비트를 정확히 복호하는 경우이다. 경우 3은 복호기가 수신된 정보열에 오류가

없다고 판단하였지만 프레임 내에 오류가 남아있는 경우이다. 우리가 주목하는 것은 경우 4로써 두 복호기의 LLR 부호가 같지는 않지만 프레임 내의 오류가 존재하지 않은 경우이다. 이 경우는 반복복호가 진행됨에 따라 첫 번째 복호기에서 나타난 오류를 두 번째 복호기에서 정정하기 때문에 나타나는 현상으로 볼 수 있다. 따라서 이러한 경우에 반복을 중단한다면 식 (9)가 되기 직전에 반복을 중단하는 경우로 볼 수 있다. 이에 근거하여 반복복호를 중단시키기 위한 중단조건을 제시하면 식 (10)과 같다.

$$L_{sd} = \begin{cases} \leq \max(L_{sd}), & \text{stop decoding} \\ \text{others,} & \text{continue decoding} \end{cases} \quad (10)$$

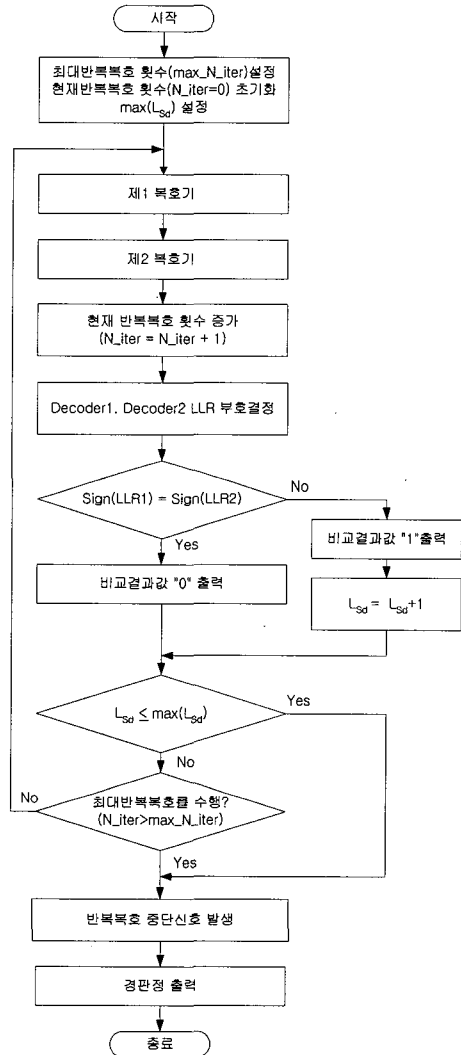


그림 3. 제안된 반복중단 알고리즘의 흐름도  
Fig. 3. Flow chart of proposed iteration stop algorithm.

여기서  $\max(L_{sd})$ 는 첫 번째 복호기와 두 번째 복호기의 LLR 값의 부호가 다른 최대값이다.  $\max(L_{sd})$  설정에 있어서 시스템의 성능에 최대한 영향을 미치지 않도록 설정해주어야 한다.  $\max(L_{sd})$ 을 너무 크게 설정할 경우 조기 반복중단으로 인한 원하는 BER 값을 얻을 수 없으므로 적절한  $\max(L_{sd})$  설정은 필수적이다. 본 논문에서는  $\max(L_{sd})$  값을 5로 설정하였다.

그림 3은 본 논문에서 제안된 알고리즘을 적용한 터보복호기의 전체 흐름도로서 각 반복복호 과정에서 터보복호기의 LLR의 부호비트를 비교하여 식 (10)을 만족할 경우 반복복호를 중단하는 일련의 과정을 수행한다.

#### IV. 모의실험 및 결과

본 논문에서는 기존의 반복복호 중단기법과 제안된 반복중단 알고리즘을 적용한 터보부호 시스템의 FER 및 BER 성능과 평균 반복복호 횟수를 비교하기 위해서 모의실험을 수행하였다. 성능을 분석하기 위한 파라미터를 요약하면 표 1과 같다.

그림 4는 최대 반복 횟수를 최대 15회로 설정하고 터보부호의 성능을 보여주고 있다. SNR이 증가하면서 터보부호성능에 부호 이득이 없는 평탄화 특성이 나타나는 것을 알 수 있으며 이러한 평탄화 특성은 터보부호의 무의미한 반복복호만을 수행하여 터보부호의 전력소모의 원인이 된다.

그림 5는 기존의 반복복호 중단기법과 제안된 반복중단 알고리즘을 적용한 터보부호 시스템의 FER 성능 및 BER 성능을 나타내었다. CE 중단조건의 임계값은  $10^{-4}$ , SCR 중단조건의 임계값은  $10^{-3}$ 으로 설정하였다. 제안된 반복중단 알고리즘은 기존의 CE, HDA, 및 SCR 알고리즘과 거의 같은 FER 및 BER 성능을 나타

표 1. 성능분석을 위한 파라미터  
Table 1. Parameter for performance analysis.

▪ 구속장	▪ K = 3
▪ 구성부호	▪ $[111,101]_2 = (7,5)_8$
▪ 부호율	▪ R = 1/3
▪ 인터리버	▪ 랜덤인터리버
▪ 채널/변조방식	▪ AWGN/BPSK
▪ 반복중단 알고리즘	▪ CE, SCR, HDA, Proposed
▪ 프레임 크기	▪ 1024
▪ 최대반복횟수	▪ 15회
▪ 요구 BER	▪ $10^{-6}$

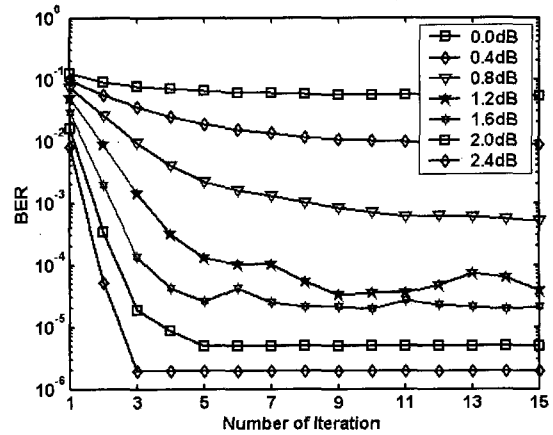


그림 4. 고정 반복횟수에 따른 터보부호 성능 분석  
Fig. 4. Turbo code performance on fixed number of iteration.

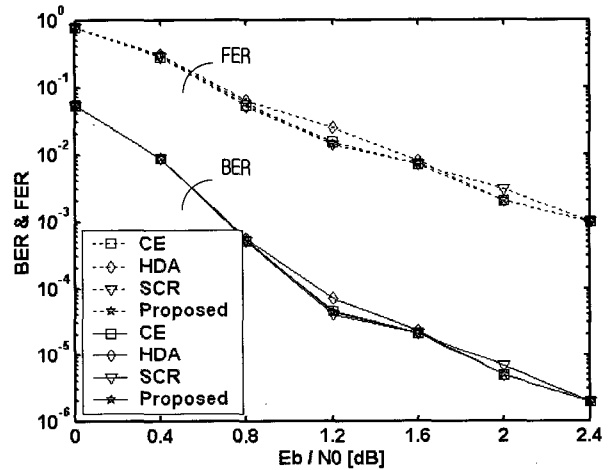


그림 5. 반복중단 알고리즘에 따른 FER 및 BER 성능 곡선  
Fig. 5. FER and BER performance according to stop criterion algorithm.

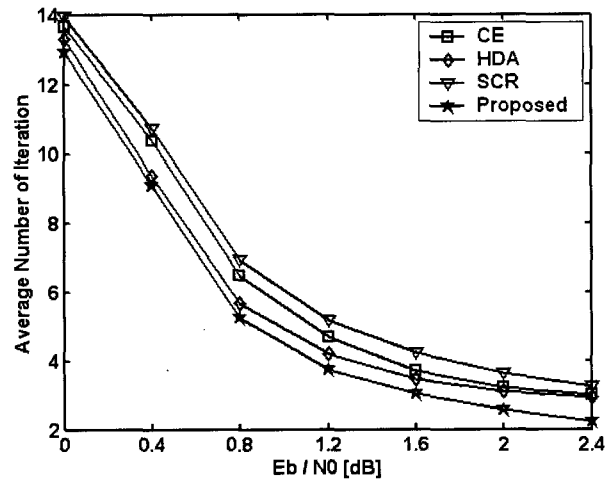


그림 6. 반복중단 알고리즘에 따른 평균반복복호 횟수  
Fig. 6 Average number of iterative decoding verse iterative stop algorithm.

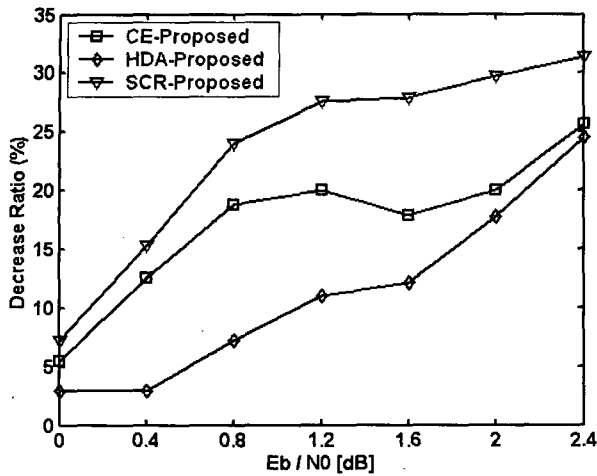


그림 7. 기존 반복중단 알고리즘에 대한 감소율  
Fig. 7. Decrease ratio verse conventional stop criterion algorithm.

념을 확인하였다.

그림 6은 반복복호 중단 기법에 따른 평균 반복복호 횟수를 비교한 것으로서 제안된 반복중단 알고리즘을 적용한 터보복호기가 기존의 반복복호 중단 기법에 비해서 평균 반복복호 횟수가 감소함을 알 수가 있다.

그림 7은 제안된 반복중단 알고리즘을 기존에 반복중단 알고리즘과의 평균 반복복호의 감소율을 나타낸 것이다. 제안된 알고리즘은 CE이나 HDA 보다 24%이상 반복복호가 감소함을 알 수가 있다. 또한 SCR 알고리즘에 비하여 최대 31%정도 크게 감소함을 알 수가 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 터보부호의 반복복호 과정에서 BER 성능의 손실없이 평균 반복복호 횟수를 크게 감소하여 불필요한 복호지연시간과 전력소모를 줄일 수 있는 반복중단 알고리즘을 제안하였다. 제안된 반복중단 알고리즘은 LLR 부호 변화의 최대값을 설정하여 최대값 이전의 부호변화가 발생하면 반복복호를 중단하여 BER 손실없이 계산량 뿐만아니라 평균 반복복호 횟수면에서도 기존의 알고리즘과 비교하여 우수한 성능을 나타냄을 확인하였다.

모의실험 결과, 제안된 알고리즘의 평균 반복복호 횟수는 기존의 CE 알고리즘이나 HDA 알고리즘과 비교하여 5.4%~25.6% 와 2.8%~24.5% 정도의 감소효과를 보였으며 SCR 알고리즘과 비교하여 7.24%~31.3% 정도의 감소효과를 나타내었다.

본 논문에서 제안된 반복중단 알고리즘은 복호지연

시간의 단축으로 인하여 고속 전송 및 멀티미디어 통신 서비스를 효율적으로 지원할 수 있으며 전력소모의 감소로 시스템의 효율을 높이는 데 탁월한 효과를 거둘 수 있을 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- [1] C. Berrou, A. Glavieux, and P. Thitimajshima, "Near Shannon Limit Error Correcting Coding and Decoding : Turbo Codes," Proc. of the ICC'93, pp. 1064-1070, May 1993.
- [2] S. Benedetto, D. Divsalar, G. Montorsi, and F. Pollara, "A Soft-input Soft-output APP Module for Iterative Decoding of Concatenated Codes," NATO under Research Grant CRG, Dec. 1995.
- [3] S. S. Pietrobon, and A. S. Babulescu, "A Simplification of the Modified Bahl Decoding Algorithm for Systematic Convolutional Codes," Proc. of ISITA'94, Sydney, Australia, pp. 875-880, Nov. 1994.
- [4] J. Hagenauer, E. Offer, and L. Papke, "Iterative Decoding of Binary Block and Convolutional Codes," IEEE Trans. Inform. Theory, vol.42, no. 2, pp. 429-445, Mar. 1996.
- [5] Rose Y. Shao, Shu Lin, and Marc P. C. Fossorier "Two Simple Stopping Criteria for Turbo Decoding," IEEE Trans. on Comm., vol. 47, no. 8, pp. 1117-1120, Aug. 1999.
- [6] Yufei Wu, Brian D. Woermer, William J. Ebel, "A Simple Stopping Criterion for Turbo Decoding," IEEE Comm. Letters, vol.4, no.8, pp.258-260, Aug. 2000.

저 자 소 개



심 병 섭(정회원)  
 1998년 원광대학교  
 전자공학과 공학사.  
 2000년 원광대학교 대학원  
 전자공학과 공학석사.  
 2003년 원광대학교 대학원  
 전자공학과 박사수료.

2005년 4월~현재 원광대학교 전기전자 및  
 정보공학부 강의교수.

<주관심분야 : 이동통신, 부호이론, SoC 설계>

정 대 호(정회원)  
 대한전자공학회 논문지 제43권 TC편 제3호 참조

임 순 자(정회원)  
 대한전자공학회 논문지 제42권 SD편 제6호 참조

김 태 형(정회원)  
 대한전자공학회 논문지 제42권 TC편 제5호 참조

김 환 용(평생회원)  
 대한전자공학회 논문지 제43권 TC편 제3호 참조