
길쌘부호와 세미 랜덤 인터리버를 사용한 터보코드의 성능분석

홍성원*

Analysis Performance of Convolutional Code and Turbo code Using The Semi-Random Interleaver

Sung-won Hong*

요약

본 논문에서는 참고문헌 11에서 제안한 세미랜덤 인터리버를 사용한 터보코드의 성능을 분석하였다. 그리고 현재 이동통신시스템에서 사용하고 있는 길쌘부호의 비터비 복호 알고리즘과 구속장이 일정할 때 두 부호의 복호 성능을 비교 분석하였다. 그 결과 길쌘부호와 터보코드가 $BER = 10^{-4}$, 구속 장이 5일 때 세미랜덤 인터리버를 사용한 터보코드가 길쌘부호보다 약 $E_b/N_0 = 4.7[\text{dB}]$ 우수함을 입증하였다.

ABSTRACT

In this paper was analyzed the performance of turbo code using semi-random interleaver which proposed a reference numbers 11. Which was analyzed comparison the performance of between the current mobile communication system had been used the viterbe decoding algorithm of convolutional code and turbo codes when fixed constraint length.

The result was defined that the performance of turbo code rose a $E_b/N_0 = 4.7[\text{dB}]$ than convolutional code, when convolutional code and turbo code was fixed by $BER = 10^{-4}$ and constraint length K 5

키워드

터보코드, 길쌘부호, 인터리버, 오류정정부호

1. 서론

차세대 이동통신 시스템은 강력한 오류 정정 코드를 사용해 송신 신호 전력을 높이지 않고도 통신의 품질을 개선시키고자 하는 연구가 활발히 이루어지

고 있다. 길쌘부호는 1955년 Elias가 처음 연구하였으며, 데이터 복호 방식은 1967년 비터비(Viterbi)가 제안하였다. 비터비 복호 알고리즘은 최대 우도 복호(Maximum likelihood decoding)하는데 이론적으로 가장 효과적인 방식으로 현재 모든 이동통신 및

*구미1대학 정보통신

접수일자 : 2001. 11. 6

위성통신 시스템에 사용되고 있다.[1,2] 터보코드는 1993년 C. Berrou가 ICC (International Conference on Communications)에서 "Near Shannon Limit Error-Correcting Coding and Decoding : Turbo Codes[3]"라는 논문을 발표하면서 소개되기 시작하여 그 우수한 복호 성능 때문에 많은 분야에서 연구되기 시작하였다.

터보코드의 구조를 살펴보면, 터보 부호기는 두개의 RSC(Recursive Systematic Convolutional) 부호와 인터리버(interleaver)로 구성되어 있다. RSC 부호는 조직 길쌈부호(systematic convolutional code)에 케환이 더해진 형태이다. 터보 부호기는 부호기의 두 RSC 부호에 대한 복호기가 그림 1에서와 같이 직렬로 연결되어 있으며, 각 복호기에서는 MAP 복호 알고리즘[4-8] 또는 SOVA (Soft-Output Viterbi Algorithm)[9]를 이용하여 복호를 수행한다.

현재 이동통신시스템의 오류 정정 부호는 길쌈부호의 비터비 복호 알고리즘을 사용하고 있으나, 향후 IMT2000에서는 실시간 음성 서비스 또는 영상 서비스 같은 낮은 시간지연을 필요로 하는 시스템은 일반적으로 8kbps, 32kbps에 40ms의 시간지연과 BER(Bit Error Rate)은 10⁻⁴ 이하를 요구하고 있다. 그리고 고속의 컴퓨터의 데이터서비스인 경우 200ms의 시간지연과 10⁻⁶ 이하의 BER을 요구하고 있다[10]. 이러한 문제점을 해결하고 다양한 서비스를 만족시키기 위해서는 채널에 대한 복호 능력이 우수한 부호와 기법이 요구된다. 그러므로 본 논문은 참고문헌 11에서 개발된 세미랜덤 인터리버를 터보코드에 적용하여 구속 장이 일정할 때, 두 부호의 복호 성능을 비교 분석함으로써 향후 이동통신시스템의 효과적인 오류 정정 부호화 방식을 제안하고자 한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 길쌈부호의 비터비 복호 알고리즘에 대하여 살펴보고, 3장에서는 터보코드의 부·복호기 그리고 세미랜덤 인터리버에 대해 다루고자 한다. 또한 4장에서는 시뮬레이션 결과 및 분석으로 길쌈부호와 세미 랜덤 인터리버를 사용한 터보코드의 구속 장을 변화시키며 성능을 비교 분석하였고, 마지막으로 5장에서는 결론을 맺고자 한다.

II. 길쌈부호의 비터비 복호 알고리즘

비터비 복호 알고리즘은 최대 근사 복호화를 수행하는 최적화 복호 방식이지만 한 개의 정보비트를 복호할 때 시스템의 복잡도가 지수 함수적으로 증가하여 하드웨어 설계가 어렵다는 단점이 있다. 그러나 비터비 복호 알고리즘의 장점은 일반 복호 방식과 비교하여 복호기의 복잡도가 부호열의 심볼 수는 무관하다는 것이다. 이 알고리즘은 시간 t_i 에서 수신된 신호와 각 상태에 들어온 트랜시스 경로의 사이의 거리 또는 유사성 척도(measure of similarity)를 계산하여야 한다. 두 개의 경로가 같은 상태로 들어온다면 가장 좋은 메트릭을 가지 하나가 선택되고 이 경로를 생존경로라 한다. 그러므로 $R_N^j, j \in \{1, 2, \dots, 2^N\}$ 을 생존경로라고 하면 최우(maximum likelihood) 복호기의 목표는 R_N^j 를 선택하는 것이다.

$$\Pr\{R_N^j | R_N\} \geq \Pr\{R_N^i | R_N\} \quad \forall j \in [1 \dots 2^N] \quad (1)$$

여기서 R_N 은 수신된 계열이다.

최우함수(maximum likelihood function)을 정의하기 위해 $v = (v_0, v_1, \dots, v_{2(N+v)-1})$ 를 부호화된 계열, $r = (r_0, r_1, \dots, r_{2(N+v)-1})$ 을 수신된 계열이라고 한다. 여기서 v 는 부호기의 메모리이다. 그리고 전송된 계열의 끝에 0를 부호기 상태에 추가 시키는 것을 꼬리비트(tail-bits)라고 한다.

$$\Pr(r/v) = \prod_{i=0}^{2(N+v)-1} \Pr(r_i/v_i) \quad (2)$$

위의 식을 log-likelihood 함수로 표현하면

$$\log \Pr(r/v) = \sum_{i=0}^{2(N+v)-1} \log \Pr(r_i/v_i) \quad (3)$$

log-likelihood 함수는 경로 v 와 가지 메트릭(branch metrics) $\log \Pr(r_i/v_i)$ 의 합을 갖는 메트릭으로 다음의 식으로 정의된다.

$$\log \Pr(\{r/v\}_j) = \sum_{i=0}^{2(N+v)-1} \log \Pr(r_i/v_i) \quad (4)$$

비터비 복호 알고리즘은 다음과 같다.

단계1. $t=0$ 에서 시작하여 $m \neq 0$ 에 대하여 $A_0(0) = 0, A_0(m) = -\infty$, 여기서 $A_k(m)$ 은 상

대 $m \in \{0, 1, \dots, M-1\}$ 에 대한 k 번째 상태 메트릭이다.

단계2. $i = k + 1$

k 번째 생존경로인 상태 메트릭에 가지 메트릭이 추가됨으로 각각의 경로에 대하여 실질적인 메트릭이 계산된다. 가장 큰 메트릭을 갖는 경로는 생존경로라고 하며 그 메트릭은 저장된다.

$$A_{k+1}(m) = \max(A_k(S_b^0(m)) + B_k^0(m), A_k(S_b^1(m)) + B_k^1(m)) \quad (5)$$

여기서 $S_b^i(m)$ 는 상태 m 에 속해있는 경로 $d_k = i$ 일때의 주어지는 상태, $B_k^i(m)$ 은 가지 메트릭으로 전송채널과 관계있다.

단계3. 단계2에서 $k < (N+v)$ 까지 반복

$N+v$ 번째에서 상태 0로 연결된 생존경로이다. 단일 생존경로를 최우 경로라고 한다.

III. 터보코드

III-1. 터보코드 부호기

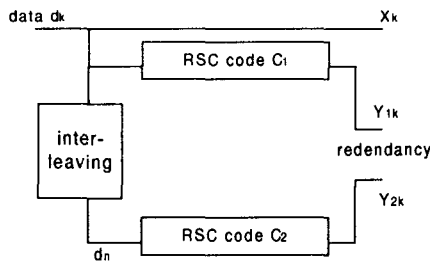


그림1. 터보 부호기
Fig. 1 Turbo encoder

그림 1에서 부호율이 1/2, 구성장의 길이가 K 인 길쌈 부호기의 k 번째 부호기 입력이 d_k 비트 일때, 출력 (x_k, y_k) 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X_k = \sum_{i=0}^{K-1} g_{1i} d_{k-i}, \quad d_{li} = 0,1 \quad (6a)$$

$$Y_k = \sum_{i=0}^{K-1} g_{2i} d_{k-i}, \quad d_{2i} = 0,1 \quad (6b)$$

여기서 $G1: \{g_{1i}\}$, $G2: \{g_{2i}\}$ 는 두개의 부호기의 생성 계열이다.

III-2. 세미 랜덤 인터리버

인터리버는 채널상의 연접 오류를 랜덤 오류로 데이터를 재배열하는 방식으로 디인터리버와 쌍으로 사용된다. 터보코드에 사용되는 인터리버는 블록, 대각, 랜덤 등이 있으며, 현재 터보코드의 성능을 개선하기 위해 활발한 연구가 진행되고 있다.[12,13] 본 논문에서는 세미 랜덤 인터리버를 적용하여 성능을 분석하고자 한다.[14] 세미 랜덤 인터리버는 블록, 대각 인터리버처럼 데이터를 인터리버 내에 쓸 때는 규칙성을 갖고 데이터를 쓰고, 데이터를 읽을 때는 랜덤 인터리버처럼 데이터를 랜덤하게 읽는다. 역 인터리버를 시행할 때 인터리버에서 인터리빙된 데이터는 메모리 내의 주소 번지 값을 기억하고 있어야 한다. 이상과 같은 제안한 세미 랜덤 인터리버 알고리즘을 흐름도로 나타내면 그림 2와 같다.

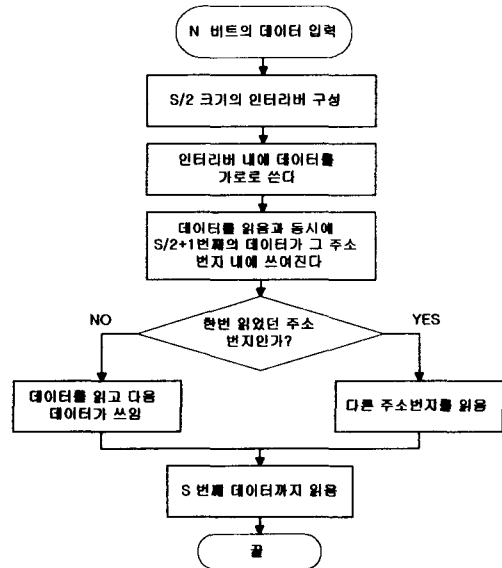


그림 2. 제안한 알고리즘 흐름도
Fig. 2 Flowchart of proposed algorithm

III-3. 터보코드 복호기

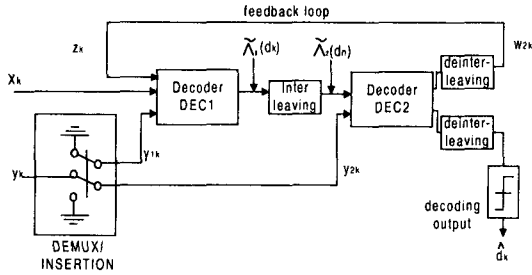


그림 3. 터보코드 복호기
Fig. 3 Turbo code decoder

복호기 입력은 두개의 랜덤 변수 x_k 와 y_k 의 쌍 R_k 로 구성되어 있다.

$$\begin{aligned} x_k &= (2X_k - 1) + i_k \\ y_k &= (2Y_k - 1) + a_k \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 i_k 와 a_k 는 같은 분산 s^2 을 갖는 두개의 독립된 잡음이다. 복호된 비트 d_k 의 APP는 다음과 같이 정의되는 결합확률 λ_{ki} 로부터 구할 수 있다.

$$\lambda_{ki}^i(m) = \Pr(d_k = i, S_k = m | R_1^N) \quad (8)$$

복호된 비트 d_k 의 APP는

$$\Pr(d_k = i | R_1^N) = \sum_m \lambda_{ki}^i(m) \quad I=0,1 \quad (9)$$

d_k 에 관련된 LLR $\Lambda(d_k)$ 는

$$\Lambda(d_k) = \log \frac{\sum_m \lambda_{ki}^1(m)}{\sum_m \lambda_{ki}^0(m)} \quad (10)$$

최종적으로 복호기는 0와 동일한 임계값을 $\Lambda(d_k)$ 와 비교하여 결정한다.

$$\begin{aligned} \hat{d}_k &= 1 \quad \text{if} \quad \Lambda(d_k) \geq 0 \\ \hat{d}_k &= 0 \quad \text{if} \quad \Lambda(d_k) < 0 \end{aligned} \quad (11)$$

IV. 컴퓨터 시뮬레이션 및 고찰

길쌈부호와 터보코드의 성능을 분석하기 위하여 BPSK 변조를 한 다음 AWGN 채널을 사용하였다. 그림 4와 표 1은 길쌈부호에 사용되는 비터비 복호 알고리즘의 구속장 K 를 3에서 9까지 변화시키며

E_b/N_0 (비트 에너지 대 잡음의 비)에 따른 BER(Bit Error Rate)에 대하여 나타냈다. 단, $BER = 10^{-4}$ 로 일정하다. 길쌈부호의 구속 장이 3에서 9로 변화하면 E_b/N_0 는 3.3[dB]개선 된다

표 1. 구속 장에 따른 길쌈부호의 성능분석
Table 1. Performance analysis of convolutional code on constraint length

구속장	3	4	5	6	7	8	9
E_b/N_0 [dB]	7.0	6.6	6.4	6.0	5.6	5.4	3.7

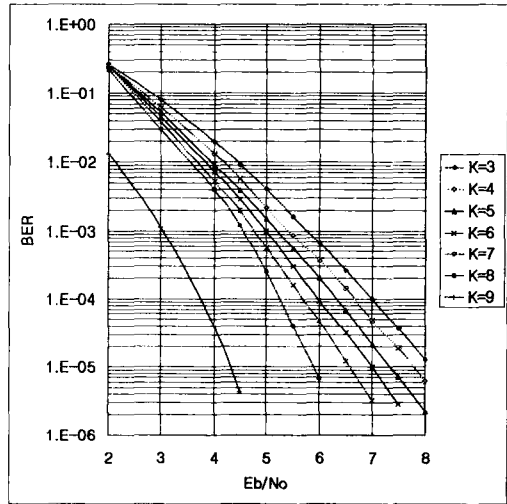


그림 4. 구속장에 따른 길쌈부호의 성능분석
Fig. 4 Performance analysis of convolutional code on constraint length

그림 5와 표 2는 세미 랜덤 인터리버를 사용한 터보코드의 성능을 분석하였다. 이때 구속 장 K 를 2에서 5까지 증가시키고, 반복 복호 횟수는 3회, 인터리버의 크기는 4096이다. 단, $BER = 10^{-4}$ 로 일정하다.

표 2. 세미 랜덤 인터리버를 사용한 터보코드의 성능분석
Table 2. Performance analysis of turbo code using Semi-random interleaver

구속장	2	3	4	5
E_b/N_0 [dB]	5.7	2.7	2.2	1.7

터보코드의 구속 장이 2에서 5로 변화할 때 E_b/N_0 는 3.0[dB]개선 된다.

그림 4와 그림 5에서 길쌈부호와 세미 랜덤 인터리버를 사용한 터보코드의 성능은 구속 장이 5, $BER = 10^{-4}$ 로 일정할 때 길쌈부호와 터보코드의 E_b/N_0 는 각각 6.4[dB], 1.7[dB]이다. 구속 장이 일정할 때 터보코드가 $BER = 10^{-4}$ 에서 길쌈부호보다 약 4.7[dB] 우수하다.

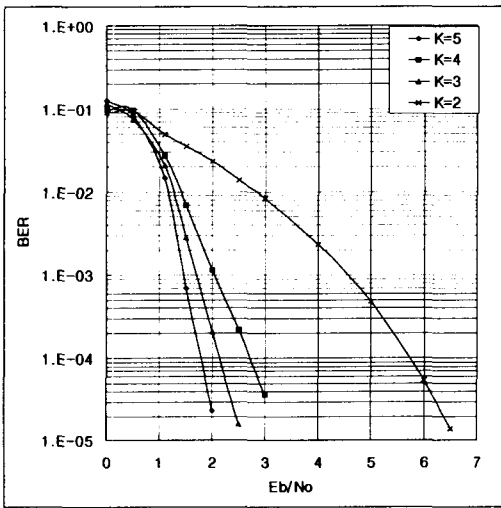


그림 5. 세미 랜덤 인터리버를 사용한 터보코드의 성능 분석
Fig. 5 Performance analysis of turbo code using Semi-random interleaver

III. 결론

본 논문에서는 세미 랜덤 인터리버를 터보코드에 적용하여 구속 장이 일정할 때 길쌈부호와 복호 성능을 비교 분석함으로써 이동통신시스템의 효과적인 오류 정정 부호화방식을 제안하고자 하였다. 시뮬레이션 분석 결과 $BER = 10^{-4}$ 에서 구속 장이 5로 일정할 때 길쌈부호보다 참고문헌 11에서 제안한 세미 랜덤 인터리버를 사용한 터보코드가 약 4.7[dB] 우수함을 알 수 있었다.

앞으로의 연구 방향은 현재 사용되고 있는 이동통신 시스템에 세미랜덤 인터리버를 사용한 터보코드

를 적용하여 연구하고자 한다.

참고문헌

- [1] A.J.Viterbi, "Error Bound for convolutional codes and asymptotically optimum decoding algorithm" IEEE Trans. Inf. Theory, IT-13, pp. 260-269, April 1967.
- [2] C. Berrou, A. Glavieux, and P. Thitimajshima, "Near Shannon Limit Error-Correcting coding and decoding: Turbo-Codes," ICC 1993, Geneva, Switzerland, pp. 1064-1070, May 1993
- [3] G. D. Forney, Jr.: Convolutional codes I: Algebraic structure. IEEE Transactions on Information Theory: vol 16 1970 pp 720-738
- [4] S. S. Pietrobon and A.S.Barbulescu, "A simplification of the modified Bahl decoding algorithm for systematic convolutional codes" Int. Symp. Inform. Theory & its Applic., Sydney, Australia, pp.1073-1077, Nov. 1994
- [5] Bahl, L., Cocke, J., Jelinek, F., and Raviv, J., "Optimal decoding of linear codes for minimizing symbol error rate" IEEE Trans. Inform. Theory vol. IT-20, pp. 284-287, Mar. 1974
- [6] Hagenauer, J., Robertson, P., and Papke, L. "Iterative(turbo) decoding of systematic convolutional codes with the MAP and SOVA" Submitted to ITG 1994 Conf., October 1994,
- [7] P. Robertson, E. Villebrun, and P. Hoeher, "A comparison of optimal and sub-optimal MAP decoding algorithms operating in the log domain," in Proc., IEEE Int. conf, on Commun. (seattle, 1995), pp. 1009-1013.
- [8] A.S.Barbulescu and S.S.Pietrobon. "Terminating the trellis of turbo codes in the same state" Electron.Lett., vol 31, pp. 22-23, Jan 1995
- [9] L. Lin and R. Cheng, "Improvements In SOVA-Based Decoding For Turbo Codes" , Proc of ICC, pp 1473-8, June 1997
- [10] 이문호, 실용 정보이론, 북두출판사, pp. 361,

1998.

- [11] 홍성원, 박진수 “터보코드에 적용을 위한 세미 랜덤 인터리버 알고리즘에 관한 연구” 한국정보처리학회 논문지, 제7권, 제2호, pp. 537-541, 2000.
- [12] R. Podemski et al.: Minimum Hamming distances for turbo codes with small interleavers. in 3rd International Symposium on communication Theory and Applications, 1995.
- [13] W. J. Blackert, E.K.Hall, and S. G. Wilson, “Turbo code termination and interleaver conditions” Electronics Letter, vol. 31, Nov.23 1995
- [14] 홍성원 “새로운 Semi-Random 인터리버 알고리즘을 사용한 터보코드의 성능 분석에 관한 연구” 청주대학교 박사학위논문 2000. 8.



홍성원(Sung-won Hong)

청주대학교 전자공학과 공학사
청주대학교 전자공학과 공학석사
청주대학교 전자공학과 공학박사
1995년~2001년 모아통신(주) 전
임연구원

1999년~2001년 남서울대학교 정보통신공학과 겸임
교수

2001년 ~ 현재 구미1대학 정보통신전공 전임강사
※관심분야 : 디지털이동통신, 부호이론, Spread
Spectrum 통신, Multimedia 통신, 영상통신