
무선통신 채널에서 RS/길쌈 연쇄부호와 세미 랜덤 인터리버를 이용한 터보코드의 성능 분석

홍성원*

Performance Analysis of Reed Solomon/Convolutional Concatenated Codes and Turbo code using Semi Random Interleaver over the Radio Communication Channel

Sung-Won, Hong*

요 약

본 논문은 무선 통신 채널 상에서 RS/길쌈 연쇄부호와 세미 랜덤 인터리버를 이용한 터보코드의 성능을 분석하였다. 그 결과 터보코드는 인터리버의 크기와 구속장, 반복복호횟수가 증가할수록 성능이 향상하였다. 그리고 구속장 $L=5$, $BER=10^{-4}$ 일 때 RS/길쌈 연쇄부호와 세미 랜덤 인터리버를 이용한 터보코드의 E_b/N_o 값은 각각 4.5[dB] 와 2.95[dB]로 세미 랜덤 인터리버를 이용한 터보코드의 성능이 약 1.55[dB] 우수함 입증하였다.

ABSTRACT

In this paper, the performance of Reed Solomon(RS)/Convolutional concatenated codes and turbo code using semi random interleaver over the radio communication channel was analyzed. In the result, we proved that the performance of decoder was excellent as increase the interleaver size, constraint length, and iteration number. When turbo code using semi random interleaver and RS/Convolutional concatenated codes was constant constraint length $L=5$, $BER=10^{-4}$, each value of E_b/N_o was 4.5[dB] and 2.95[dB]. Therefore, when the constraint length was constant, we proved that the performance of turbo code is superior to RS/Convolutional concatenated codes about 1.55[dB] in the case of $BER=10^{-4}$.

키워드

무선통신, 터보코드, 연쇄부호, 인터리버

*구미1대학

접수일자 : 2001. 10. 5

1. 서론

차세대 무선 통신 시스템은 고속의 멀티미디어 데이터의 신뢰성 있는 전송을 요구하며, 고속의 데이터의 신뢰성을 높이면서도 송신 신호 전력을 높이지 않는 강력한 채널 코딩 및 효율적인 변조 방식등을 이용하여 통신의 품질을 개선시키고자 하는 연구가 활발히 이루어지고 있다^[1].

현재 국내에서는 PCS의 초기 단계 IMT2000을 위한 규격으로 FEC부분에 관련하여 음성뿐만 아니라 데이터까지 서비스를 하기 위해 길쌈부호/Viterbi codec과 Reed-Solomon codec을 이용한 연쇄부호(Concatenated codes)하고 있다. 이것은 데이터 서비스 측면에서 기존 CDMA 기법에서 사용하던 길쌈부호/Viterbi codec이 요구하는 BER을 만족시키지 못하기 때문에 실용적인 측면에서 현재까지 알려진 가장 강력한 에러 정정 기술로서 두 부호의 연결기법을 채용할 수밖에 없다. 하지만 이들의 사용으로 인한 복잡성 문제나 내부 지연의 문제들도 심각하게 우려되고 있기 때문에 좀 더 효율적인 기법이 필요하다^[2].

이러한 시대적 요구에 의해 터보코드는 1993년 C. Berrou가 ICC(International Conference on Communications)에서 "Near Shannon Limit Error-Correcting Coding and Decoding : Turbo Codes"라는 논문을 발표하면서 소개되었다^[3].

터보코드는 소개되면서부터 우수한 복호 성능 때문에 위성통신^[4], PCS와 CDMA 시스템에 적용하기 위해 많은 연구가 이루어지고 있다^[5-7]. 터보코드가 우수한 성능을 내는 가장 큰 이유는 복호기에 내재하는 인터리버와 복호기의 반복 복호 때문이다. 그러나, 인터리버의 크기가 클수록, 반복 복호 횟수가 많을수록 터보코드의 복호성능은 우수하지만 시스템이 복잡해져 한 개의 정보비트를 복호할 때 많은 시간지연을 발생시켜 실시간 통신에는 부적합하다.

그러므로 터보코드의 복잡도를 줄이기 위해 Franz V.는 트렐리스 경로에 임의의 임계값을 주어 각 경로의 메트릭 값이 임계값 이상이면 생존경로로 선택하고 임계값 이하이면 경로를 삭제하여 터보코드의 복잡도를 감소시킬 수 있는 알고리즘을 제시하였다^[8]. 또한 S. Hong은 터보코드를 VLSI로 설계시 복잡도를 감소시키는 방법을 연구하는 등^[9], 복잡도를 감소시키기 위한

많은 연구가 진행 중에 있다^[10,11].

본 논문에서는 무선통신 채널 상에서 복잡도를 감소시키기 위해 제안된 세미 랜덤(Semi-Random) 인터리버^[12]를 이용한 터보코드의 성능과 길쌈부호/Viterbi codec과 Reed-Solomon codec을 연결한 연쇄부호와의 성능을 비교 분석하였다. 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 길쌈부호/Viterbi codec과 Reed-Solomon codec의 연쇄부호에 대하여 기술하고, 제3장에서는 터보코드의 부복호기, 세미 랜덤 인터리버 구조에 대하여 기술하였다. 제4장에서는 시뮬레이션 결과 및 고찰에 대하여 기술하고, 마지막으로 제5장에서는 결론을 맺었다.

II. 길쌈부호/Viterbi codec과 Reed-Solomon codec의 연쇄부호

연쇄 부호는 1967년 Fomey에 의해 처음으로 제안되었으며 연쇄부호는 비교적 복잡도가 낮은 길쌈부호의 Viterbi codec과 Reed-Solomon codec을 연결하여 사용함으로써 오류제어 능력이 우수하다. 특히 Viterbi 복호법을 사용한 짧은 구소장의 길쌈부호와 Reed-Solomon(RS) 부호로 구성된 RS/길쌈 연쇄부호는 2.0-2.5[dB]의 낮은 비트에너지대 잡음에너지의 비 (E_b/N_0)에서 10^{-5} 의 비트오율(BER)을 얻을 수 있으며, 랜덤 및 연결에러에 모두 강하여 위성통신의 에러정정부호로 사용되고 있다^[13,14]. 그림 1은 RS/길쌈 연쇄부호의 블록도이다. Viterbi 복호과정에서 생기는 오류는 주로 연결오류이다. 하나의 RS부호어 내에 오류 정정능력 이상의 오류 심볼이 발생하면 오류정정이 불가능하므로 인터리버를 사용하여 심볼 단위로 오류를 랜덤화 시킨다. $GF(2^b)$ 상의 RS/길쌈 연쇄부호의 비트 오율은

$$P_b = \frac{2^{K-1}}{2^K-1} \sum_{j=t+1}^n \frac{j+t}{n} \binom{n}{j} p_s^j (1-p_s)^{n-j} \quad (1)$$

이다^[14]. 여기서 n 은 RS부호의 길이, t 는 RS 부호의 오류정정 심볼 수를 나타낸다. 그리고 P_s 는 RS 부호 복호기의 입력단에서 본 K비트 RS부호의 심볼 오율이며 동시에 Viterbi 복호기 출력에서의 K비트 심볼 오율이다.

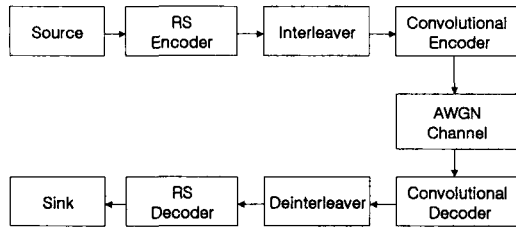


그림 1. RS/길쌈 연쇄부호의 블록도
Fig. 1 Block diagram of RS/Convolutional Concatenated Codes.

길쌈부호는 부호율 $r = k/n$ 의 형태에 따라 k 개의 쉬프트 레지스터에 정보비트가 병렬로 입력되는 병렬형과 한 개의 쉬프트레지스터에 정보비트가 직렬로 입력되는 직렬형으로 구분 될 수 있다. 병렬형에서는 k 개의 쉬프트 레지스터중 가장 긴 길이를 기억차수 m 이라하여 (n, k, m) 으로 길쌈부호기를 표시하고, 직렬형에서는 쉬프트레지스터의 길이를 L 이라 할 때 이를 구속장으로 하여 k/n , 구속장 L 로 길쌈부호를 표시한다^[15]. 벡터 U 는 k 비트를 심볼단위로 하여 시작과 끝의 심볼이 영이 아니고 m_{min} 심볼 이상의 연속적인 영을 포함하지 않으며, j 개 심볼로 구성되어 있다고 하자. U 에 m_{min} 개의 영 심볼이 이어져 부호율 k/n 비조직 feedforward 길쌈부호기에 입력된다면 이에 대응하는 출력 벡터 C 는 격자상도에서 해밍거리 d , 길이 $l = j + m_{min}$ 인 오류경로가 된다. O (모두 영인 벡터)가 이산 무기억통신로를 통하여 전송되어 O 대신 C 가 선택되었을 경우, U 상에서 b 비트 심볼이 $(b-k)$ 비트씩 겹쳐 심볼 오류가 발생할 경우의 수는 $(l - m_{min} + b/k - 1)$ 이다. m_{min} 은 오류경로가 발생되기 위하여 맨 마지막에 연속으로 입력되어야 할 최소한의 영 심볼 개수를 의미한다. 비조직 feedforward 부호기에서 모든 오류 경로들은 맨 마지막에 최소한 m_{min} 가지 길이 만큼 영으로 되어 있으며, 이들은 오류 심볼에 기여하지 않으므로 m_{min} 만큼 빼준다. 조직 feedback 부호기에서는 영 아닌 정보비트들이 입력되어야 부호기가 영 상태에 도달하여 정확한 경로에 합류한다. 따라서, $A(d, l)$ 을 해밍거리 d , 길이 l 인 오류 경로의 수로 정의하면 b 비트 심볼오류의 상한 SER_b 는

$$SER_b = \quad (2)$$

$$\sum_{d=1}^{\infty} \sum_{i=m_{min}+1}^{\infty} \left(l - E^* m_{min} + \frac{b}{k} - 1 \right) A(d, l) P_b$$

과 같이 표현된다^[16,17]. 여기서 P_b 는 해밍거리가 d 인 오류경로의 발생확률이다. 그러도 E^* 는

$$E^* = \begin{cases} 1 & \text{feedforward 부호기} \\ 0 & \text{feedback 부호기} \end{cases} \quad (3)$$

로 표시되는 함수이다. 식 (2)를 식 (1)에 대입하면 RS/길쌈 연쇄부호의 비트오류확률을 얻을 수 있다^[18].

II. 터보코드 부·복호기

터보코드는 정보비트를 부호화하는 부호기단과 연결오류를 산발오류로 분포시킬 수 있는 인터리빙단과 마지막으로 부호화된 정보비트를 복호화하는 복호기단으로 구성된다.

2.1 터보코드 부호기

터보코드의 부호기는 그림 2와 같이 두 개의 RSC (Recursive Systematic Convolutional Code)와 인터리버의 결합으로 구성되어있다.

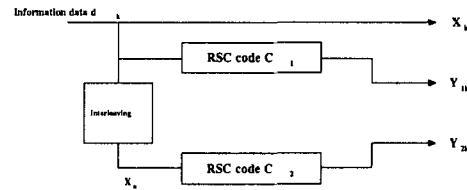


그림 2. 터보코드 부호기
Fig. 2 Turbo Code Encoder

위의 그림에서 부호화율이 1/3, 구속장의 길이가 K 인 길쌈 부호기의 k 번째 부호기 입력이 d_k 비트일 때, 출력 (X_k, Y_k) 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X_k = \sum_{i=0}^v g_{1i} d_{k-1} \quad d_{1i} = 0, 1 \quad (4)$$

$$Y_k = \sum_{i=0}^v g_{2i} d_{k-1} \quad d_{2i} = 0, 1$$

여기서 $G_1 : \{g_{1i}\}$, $G_2 : \{g_{2i}\}$ 는 두 개의 부호기의 생성 계열이다. 터보코드 부호기의 구성부호는 전송률 및 오류정정 능력을 고려하여 원하는 만큼 구성

할 수 있다.

부호화 과정은 다음과 같다. k 번째 정보비트 d_k 는 채널을 통하여 출력으로 직접 전송되는 동시에 첫 번째 RSC 부호기에 입력이 되어 출력 Y_{1k} 를 생성하고, 또 두 개의 RSC 부호기 사이에 있는 인터리버에 의해 인터리빙된 후 두 번째 RSC 부호기에 입력이 되어 출력 Y_{2k} 가 생성되어 다음 통신블록으로 전송되어 진다.

2.2 Semi-Random 인터리버

인터리버는 채널상의 연접 오류를 랜덤 오류로 데이터를 재배열하는 방식으로 디인터리버와 쌍으로 사용된다. 터보코드에 사용되는 인터리버는 블록, 대각, 랜덤등이 있으며, 본 논문에서는 세미 랜덤 인터리버를 적용하여 성능을 분석하였다. 세미 랜덤 인터리버는 블록, 대각 인터리버처럼 데이터를 인터리버 내에 쓸때는 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 세미 랜덤 인터리버 알고리즘을 흐름도로 나타내면 그림 3과 같다.

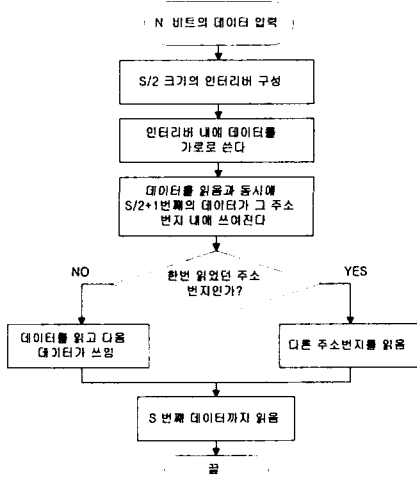


그림 3. 세미 랜덤 인터리버 알고리즘
Fig. 3 Semi-Random interleaver algorithm

2.3 터보코드 복호기

그림 4는 일반적인 터보코드의 복호기를 나타내는데, 부호기에서의 두 RSC 부호에 대한 복호기, DEC1

과 DEC2가 직렬로 연결되어 있다. DEC1은 정보비트 x_k 와 첫번째 RSC 부호의 출력 y_{1k} 을 입력받아 복호된 신호를 출력한다. DEC1에서 복호된 신호는 인터리버를 거친 후 두 번째 RSC의 출력 y_{2k} 와 DEC2로 입력되어 복호된다. DEC2에서 복호된 신호는 역 인터리버를 거친후 DEC1으로 궤환되어 반복 복호를 실행함으로써 성능을 개선시킨다.

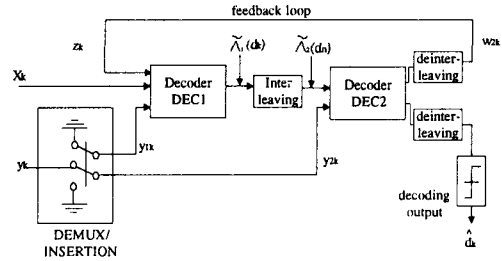


그림 4. 터보코드 복호기
Fig. 4 Turbo Code Decoder

III. 컴퓨터 시뮬레이션 및 성능분석

무선 통신채널 상에서 터보코드의 성능을 분석하기 위하여 그림 6에 나타난 시뮬레이션 모델을 사용하였다. 반복 복호횟수, E_b/N_0 값, 구속장을 초기화를 하고, 랜덤신호 발생기에서 2진 신호(0/1)을 발생하여 터보 부호기에 입력된다. 정보비트인 2진 신호를 입력받아 부호화를 1/2로 천공된 신호는 1을 1로, 0를 -1로 BPSK변조되어 무선 통신채널인 AWGN 채널로 전송된다. 잡음이 첨가된 신호는 복호기에서 MAP 복호 알고리즘을 이용하여 신호를 판정하고 복호한 후에 부호기의 입력과 비교하여 BER을 계산한다. 이때 궤환은 그림 5의 스위칭 순서에 의해 이루어진다.

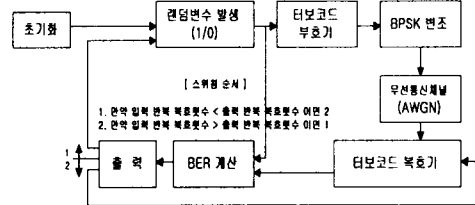


그림 5. 시뮬레이션 모델
Fig. 5 Simulation Model

그림 6에서 그림 8은 한 개의 정보비트를 복호하기

위한 시스템의 복잡도를 고려하여 반복 복호횟수를 3회, 세미 랜덤 인터리버의 크기를 1024에서 16384까지 2배씩 증가시키고, 구속장을 5, 4, 3로 각각 변화시키며 BPSK로 변조하여 AWGN 채널로 전송 후 복호기에서 MAP 알고리즘과 세미 랜덤 인터리버를 이용한 터보코드의 성능을 분석하였다.

그림 6와 표 1은 구속장 $L=5$, 반복 복호횟수가 3회, $BER=10^{-4}$ 일 때, 세미 랜덤 인터리버의 크기를 1024에서 16384까지 2배씩 증가시키며 각각에 대한 E_b/N_o 값을 나타냈다. 세미 랜덤 인터리버의 크기가 1024일 때 E_b/N_o 값은 3.40[dB], 2048일 때는 3.25[dB], 4096일 때는 3.15[dB]이다. 그리고 8192일 때는 3.05[dB]이고, 16384일 때는 E_b/N_o 값이 2.95[dB]이다. 그 결과 세미 랜덤 인터리버의 크기가 1024에서 4096까지는 $E_b/N_o=0.35$ [dB] 향상되고, 세미 랜덤 인터리버의 크기가 4096에서 16384까지는 $E_b/N_o=0.20$ [dB] 향상되었다. 그러므로 세미 랜덤 인터리버의 크기가 4096이상일 때 성능은 향상되지만 크게 개선되지는 않았다.

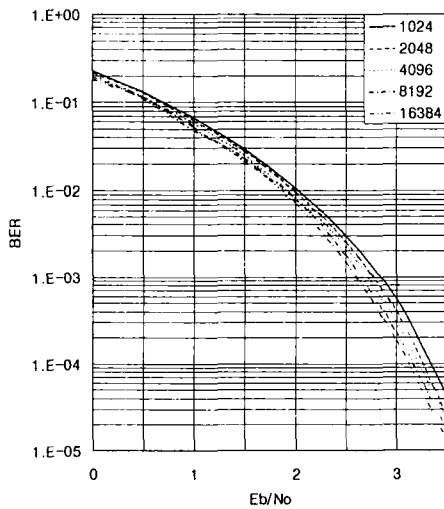


그림 6. 세미 랜덤 인터리버 크기에 따른 성능분석 (구속장 $L=5$, 반복복호횟수 3회)
Fig. 6 Performance analysis depending on Semi-Random Interleaver size(Constraint length $L=5$, Iteration numbers 3).

표 1. 세미 랜덤 인터리버 크기에 따른 성능 분석 (구속장 $L=5$)

Table 1. Performance analysis depending on Semi-Random Interleaver size(Constraint length $L=5$)

구속장	복호 횟수	BER	인터리버 크기	E_b/N_o [dB]
5	3	10^{-4}	1024	3.40
			2048	3.25
			4096	3.15
			8192	3.05
			16384	2.95

그림 7과 표 2는 구속장이 $L=4$, 반복 복호횟수는 3회, $BER=10^{-4}$ 로 일정할 때, 세미 랜덤 인터리버의 크기를 1024에서 16384까지 2배씩 증가시키며 세미 랜덤 인터리버 크기에 따른 성능을 분석하였다. 세미 랜덤 인터리버의 크기가 1024일 때 E_b/N_o 값은 3.80[dB], 2048일 때는 3.60[dB], 4096일 때는 3.55 [dB]이다. 그리고 8192일 때는 3.48[dB]이고, 16384일 때는 E_b/N_o 값이 2.98[dB]이다.

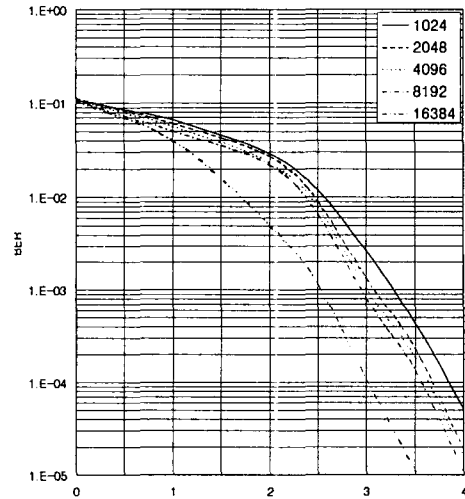


그림 7. 세미 랜덤 인터리버 크기에 따른 성능분석(구속장 $L=4$, 반복복호횟수 3회)
Fig. 7 Performance analysis depending on Semi-Random Interleaver size(Constraint length $L=4$, Iteration numbers 3).

표 2. 세미 랜덤 인터리버 크기에 따른 성능 분석 (구속장 L=4)

Table 2. Performance analysis depending on Semi-Random Interleaver size(Constraint length L=4)

구속장	복호 횟수	BER	인터리버 크기	Eb/No[dB]
4	3	10^{-4}	1024	3.80
			2048	3.60
			4096	3.55
			8192	3.48
			16384	2.98

그림 8과 표 3는 구속장이 L=3, 반복 복호횟수가 3회, 그리고 세미 랜덤 인터리버의 크기를 1024에서 16384까지 2배씩 증가시키며 BER = 10^{-4} 일 때, E_b/N_0 값을 구하였다. 세미 랜덤 인터리버의 크기가 1024일 때 E_b/N_0 값은 4.30[dB], 2048일 때는 4.25 [dB], 4096일 때는 4.20[dB]이다. 그리고 8192일 때는 4.17[dB]이고, 16384일 때는 E_b/N_0 값이 4.15[dB]이다. 그 결과 세미 랜덤 인터리버의 크기가 1024에서 4096까지는 $E_b/N_0=0.10$ [dB] 향상되고, 세미 랜덤 인터리버의 크기가 4096에서 16384까지는 $E_b/N_0=0.05$ [dB] 향상된다. 그러므로 세미 랜덤 인터리버의 크기가 4096이상일 때 BER에 대한 E_b/N_0 의 값은 향상되지만 세미 랜덤 인터리버의 크기가 4096 이하일 때보다 크게 개선되지는 않는다.

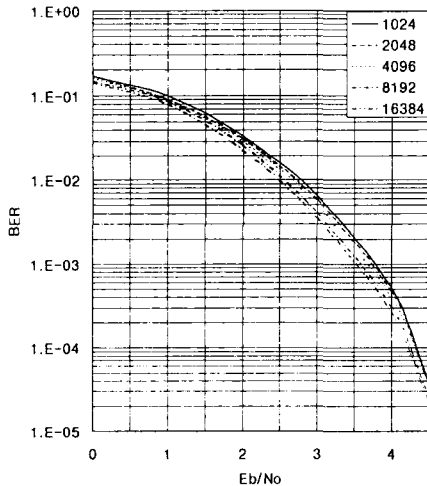


그림 8. 세미 랜덤 인터리버 크기에 따른 성능분석(구속장 L=3, 반복복호횟수 3회)

Fig. 8 Performance analysis depending on Semi-Random

Interleaver size(Constraint length L=3, Iteration numbers 3).

표 3. 세미 랜덤 인터리버 크기에 따른 성능 분석 (구속장 L=3)

Table 3. Performance analysis depending on Semi-Random Interleaver size(Constraint length L=3)

구속장	복호 횟수	BER	인터리버 크기	Eb/No[dB]
3	3	10^{-4}	1024	4.30
			2048	4.25
			4096	4.20
			8192	4.17
			16384	4.15

그림 9는 식(1)에 식(2)를 대입하여 RS/길쌈 연쇄부호에 대해 RS부호를 (63, 55)와 (255, 223), 부호화율 r=3/4, 3/5, 2/5, 길쌈부호의 구속장 L=5, 8, 7로 각각 변화시키며 E_b/N_0 에 대한 BER를 구하였다.

BER = 10^{-4} 일 때 (255,223)RS+r=2/5, L=7인 연쇄부호의 $E_b/N_0 = 2.5$ [dB], (63,55)RS+r=3/5, L=8인 연쇄부호의 $E_b/N_0 = 3.6$ [dB], (63,55)RS+r=3/4, L=5인 연쇄부호의 $E_b/N_0 = 4.5$ [dB]이다.

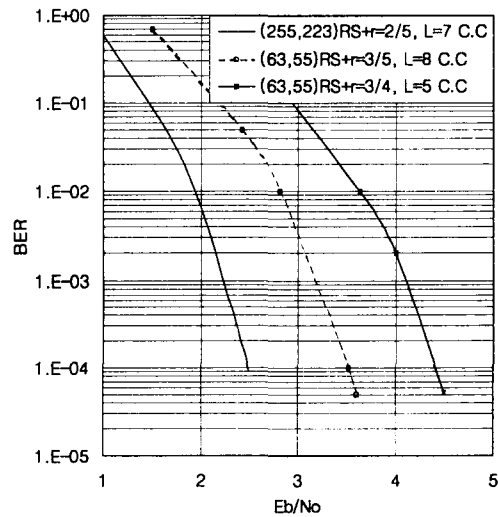


그림 9. RS/길쌈 연쇄부호의 성능분석

Fig. 9 Performance analysis of RS/Convolutional Concatenated Codes.

IV. 결론

본 논문은 무선통신 채널상에서 RS/길쌈 연쇄부호와 세미 랜덤 인터리터를 이용한 터보코드의 성능을 비교 분석하였다. 이를 위해 한 개의 정보비트를 복호하기 위한 시스템의 복잡도를 고려하여 반복 복호횟수를 3회, 세미 랜덤 인터리터의 크기를 1024에서 16384까지 2배씩 증가시키고, 구속장을 3, 4, 5로 각각 변화시키며 BPSK로 변조하여 무선통신 채널인 AWGN 채널로 전송하였다. 그리고 수신기에서는 MAP 알고리즘과 세미 랜덤 인터리터를 이용한 터보코드 복호기를 이용하여 BER에 따른 E_b/N_0 구하여 성능을 분석하였다. 그리고 무선통신 채널에서 세미 랜덤 인터리터를 이용한 터보코드와 동일한 조건인 BER과 구속장에 대하여 RS/길쌈 연쇄부호와 성능을 비교 분석하였다.

그 결과 무선 통신 채널에서 세미 랜덤 인터리터를 이용한 터보코드는 인터리터의 크기가 클수록, 구속장의 크기가 클수록, 반복 복호횟수가 증가할수록 복호 성능이 우수함을 입증할 수 있었다. 그리고 세미 랜덤 인터리터를 사용한 터보코드와 RS/길쌈 연쇄부호의 구속장이 5, $BER = 10^{-4}$ 로 일정할 때 각각의 E_b/N_0 값은 2.95[dB], 4.5[dB]이다. 그러므로 구속장이 일정할 때 터보코드가 $BER = 10^{-4}$ 에서 RS/길쌈 연쇄부호보다 약 1.55[dB] 우수함을 입증할 수 있었다.

참고문헌

- [1] FPLMTS/IMT-2000, Report of the Tenth Meeting of ITU-R Task Group8/1, Mainz, April 1996.
- [2] 이문호, 실용정보이론, 북두출판사, pp.303-305, 7, 1998.
- [3] Berrou.C, Glavieux.A, "Near shannon limit error coding and decoding : turbo codes," Proc. ICC'93, pp.1064-1070.
- [4] D. Divsalar and F. Pollara, "Turbo codes for deep space communications," TDA progress rep. 42-120. Jet propulsion lab., pasadena, CA, pp.66-77, Feb. 15 1995.
- [5] D. Divsalar and F. Pollara, "Turbo codes for PCS applications," Proc. ICC95, seattle, WA, pp.18-22, June 1995.
- [6] Wang XD, Poor HV, "Iterative(Turbo) soft interference cancellatin and decoding for coded CDMA," IEEE Trans. on Communication Vol.47, No.7, pp. 1046-1061, July. 1999.
- [7] Alexander PD, Reed MC, Asenstorfer JA, Schlegel CB, "Iterative multiuser interference reduction Turbo CDMA," IEEE Trans. on Communication Vol.47, No.7, pp.1008-1014, July. 1999.
- [8] Franz V, Anderson JB, "Concatenated decoding with a reduced search BCJR algorithm," IEEE Journal on Sel. Areas in Comm.,Vol.16, No.2, Feb. 1998.
- [9] S. Hong, W. E.Stark, "VLSI Circuit Complexity and Decoding Performance Analysis for Low-Power RSC," Proceedings of the Military Comm. Conf. Vol.3, pp.708-712, Oct. 1998.
- [10] Ping L, "Modified turbo codes with low decoding complexity," Electronics Letters, Vol.34 No.23, pp. 2228-2229, Dec. 1998.
- [11] F. Berens, T. Bing, H. Michel, A. Worm, P. W. Baier, "Performance of Low Complexity Turbo-Codes in the UTRA-TDD-Mode," Proceedings of the IEEE VTS 50th Vehicular Tech. Conf. - Vol. 5, pp.2621-2625, September 1999.
- [12] 홍성원, 박진수 "터보코드에 적용을 위한 세미 랜덤 인터리터 알고리즘의 제안" 한국정보처리학회 논문지, 제7권, 제2호, pp. 537-541, 2000.
- [13] J.P.Odenwalder, "Optimal Decoding of Convolutional codes", Ph.D Dissertaton. school of Engineering and Applications Sciences, University of California. Los Angeles. U.S.A., 1970.
- [14] G.Clark, Jr. and J.Cain, Error correction coding for degital communications. Plenum press, New York, chapt. 8, 1981.
- [15] S.Lin and D.J Costello, Jr., Error Control Coding: Fundamentals and applications,

Prentice Hall, New Jersey. chap. 10, 1983.

- [16] R.J.McEliece and I.M.Onyszchuk, "A symbol error upper bound for convoutional codes." Proceedings of the 27th Annual allerton conference on communications. Control and Computing, Allerton House, Monticello. Illionis, U.S.A., pp.334-335, Sept. 1989.
- [17] L.C.Perez and D.J.Costello. Jr., "An upper bound on the symbol error rate of convoutional and trellis codes." Proceedings of the 1990 International symposium on information theory and its applications. Hawaii, pp.27-30, Nov. 1990.
- [18] 이상곤, 문상재 "Reed-Solomon/길쌘 연쇄부호의 비트오율해석" 대한전자공학회 30권 A편 8호, pp.19-26, 8. 1993.



홍성원(Sung-Won, Hong)

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

1999년~2001년 남서울대학교 정
보통신공학과 겸임교수

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