

위성 ATM 전송을 위한 연접부호의 성능분석

정희원 백동철*, 박천구**, 양경철*, 김진호***

Performance Analysis of Concatenated codes for ATM transmission over satellite channels

Dongcheol Baek*, Chunkoo Park**, Kyeongcheol Yang*, Jinho Kim*** *Regular Member*

요약

본 논문에서는 155 Mbps 위성 ATM 전송을 위한 오류정정부호로서 연접부호의 성능을 분석한다. ATM 망에서는 7~8 dB의 신호대잡음비에서 10^{-10} 이하의 매우 낮은 비트오율이 요구되므로 성능이 뛰어난 연접부호의 사용이 바람직하다. 연접부호의 구성은 내부부호로 연관정 복호가 가능한 길쌈부호를, 외부부호로 유한체 GF(2⁸) 위의 RS 부호를 사용한다. 연접부호의 파라미터 설정은 일반적인 155 Mbps TDMA 프레임 구조를 바탕으로 결정하며, 수학적인 오류확률의 추정과 모의실험을 통해 연접부호의 성능을 분석함으로써 요구조건을 만족하는지의 여부를 검증한다.

ABSTRACT

This paper presents error-control schemes which may be used to transmit high rate ATM cells over a satellite link. Since ATM network requires very low bit-error rate, concatenated codes are mainly employed. Typical concatenated codes have a convolutional code as an inner code, because it is decodable by soft decision. As their outer code, Reed Solomon codes over GF(2⁸) are used to correct burst error occurring after decoding an inner code. Concatenated codes for 155 Mbps wireless ATM are proposed on the basis of the general 155 Mbps TDMA frame structure. In this paper, performance of concatenated codes is analyzed by an approximation method and verified through a computer simulation.

1. 서론

지상망과 위성망을 하나로 통합한 혼합망이 차세대 정보통신기반의 효율적인 구축을 위해 적극적으로 고려되고 있다. 이에 지상망의 ATM (asynchronous transfer mode) 전송기술을 위성 ATM 망에 적용하기 위한 연구가 ITU-T의 WG 4B를 중심으로 활발히 진행중이다^[2]. 위성 ATM 망의 구성 예를 그림 1에 도시하였다. 그림 1에 나타난 것처럼 ATM 위성 연동장치인 ASIU (ATM satellite interworking unit)가 전체시스템의 관리기

능을 담당하며 신뢰성있는 전송을 위한 오류정정부호도 이 곳에 위치한다. ASIU의 내부구조는 그림 2에 나타내었다.

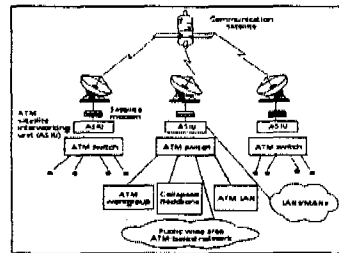


그림 1. 위성 ATM 시스템 예

* 한양대학교 전자통신공학과(kid100@pine.hanyang.ac.kr)

** 삼성전자 종합기술위 디지털 통신 연구실

*** 한국전자통신연구원 초고속위성통신팀

논문번호 : 98008-0106, 접수일자 : 1998년 1월 6일

※ 이 논문은 한국전자통신연구원의 지원을 받아 수행한 연구결과의 일부입니다.

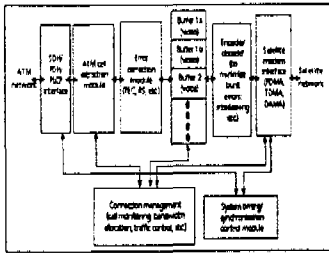


그림 2. ASIU의 내부구조

지상 ATM 망은 광통신기술을 사용해 신뢰성 높은 전송채널을 기준으로 개발되고 있으므로 $10^{-9} \sim 10^{-12}$ 정도의 매우 낮은 비트오율(BER, bit error rate)을 가지지만, 위성망은 상대적으로 열악한 채널 환경 때문에 오류제어기술이 필수적이다^[3]. 따라서 안정된 서비스를 제공하기 위해서는 오류정정 능력이 뛰어난 연접부호(concatenated code)의 사용이 바람직하다^[8].

연접부호는 일반적으로 그림 3과 같이 내부부호(inner code), 외부부호(outer code), 그리고 인터리버(interleaver)로 구성된다^{[5],[7]}. 내부부호로는 일반적으로 연관정 복호(soft decision decoding)가 가능한 부호를 사용하며, 외부부호로는 내부부호의 출력 단에서 발생하는 연접오류(burst error)를 효율적으로 제어하기 위해 연접오류에 대한 정정능력이 뛰어난 부호를 사용한다. 대표적인 연접부호의 예로는 길쌈부호(convolutional code)를 내부부호로, RS 부호(Reed-Solomon code)를 외부부호로 사용하는 구조를 들 수 있다.

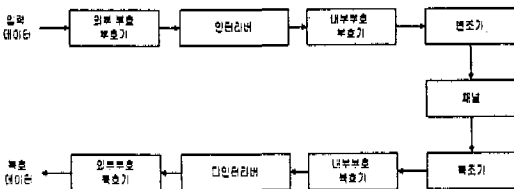


그림 3. 연접부호의 블록도

COMSAT, NEWTEC, TELSAT사 등은 SDH (synchronous digital hierarchy) 155 Mbps 급 위성 ATM 전송을 위한 모뎀을 상용화하였다. 이들이 제작한 모뎀에 사용된 부호들은 고속의 데이터 전송을 위해 8-PSK (phase shift keying) 변조를 이용한 TCM (trellis coded modulation) 방식을 내부부호로, RS 부호를 외부부호로 갖는 연접부호를 사용하였다^{[1],[4],[6]}.

본 논문에서는 155 Mbps 위성 ATM 전송을 위한 오류정정부호로서 연접부호의 성능을 분석한다. 본 논문에서 고려한 연접부호의 구조는 7~8 dB의 신호대잡음비(SNR, signal-to-noise ratio)에서 10^{-10} 이하의 비트오율과 QPSK 변조를 가정하여, 내부부호로는 길쌈부호를, 외부부호로는 RS 부호를 사용한다.

II. 오류정정부호의 파라미터(parameter) 산출

위성 ATM 망을 통해 신뢰성있는 데이터의 전송을 위해 사용되는 오류정정부호를 결정하려면 다음과 같은 요소들을 고려해야 한다:

- 데이터 프레임의 구조와 채널의 전송속도
- 채널의 신호대 잡음비 및 요구되는 비트오율
- 부호기 및 복호기의 복잡도와 시간지연

이 절에서는 이러한 요구조건들을 만족하는 연접부호의 파라미터들을 분석한다.

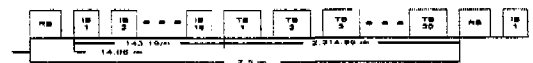


그림 4. 155 Mbps TDMA 프레임 구조

표 1. 155 Mbps TDMA 프레임 구조의 세부사항

contents	Per Unit		Number	Total	
	bits	μs		bits	μs
Reference burst	2,548	14.96		2,548	14.96
Carrier & clock Recovery	350	2.06			
Unique Word	50	0.29			
Out Bound Message	2,048	12.03			
Guard Time	100	0.59			
In Bound Signaling burst	1,524	8.95		24,384	143.19
Carrier & clock Recovery	350	2.06			
Unique Word	50	0.29	1		
Out Bound Message	1,024	6.01			
Guard Time	100	0.59			
Traffic burst	19,940	117.09		398,800	2,341.85
Carrier & clock Recovery	350	2.06			
Unique Word	50	0.29	2		
Traffic 데이터	19,440	114.16			
Guard Time	100	0.59			
합				425,732	2,500.00

위성 ATM 망에서는 대역효율을 고려해 TDMA 시스템을 사용하는 것이 바람직하다. 본 논문에서 고려한 TDMA 프레임 구조는 STM-1(Synchronous Transport Module-1)을 기반으로 그림 4와 같이 설

정하였으며^[9], 자세한 내부구조는 표 1에 기술하였다. 이를 살펴보면 한 프레임의 주기는 2,500 μ s로 데이터 전송율은 170.29 Mbps이다. 신뢰성있는 정보전송을 위해 오류정정부호를 사용하려면 추가의 용장비트(redundancy bit)가 요구된다. 따라서 주어진 시간에 동일한 정보량을 보내기 위해서는 데이터 전송율을 높여야 한다. 표 1에 기술된 프레임 구조는 부호화 하지 않은 경우로, 부호화로 인한 데이터 전송율의 확장은 프레임 구조를 변화시킨다. 155Mbps TDMA 프레임 구조에서 부호화가 필요한 곳은 개개의 버스트(burst) 내의 Out Bound Message와 트래픽 데이터(traffic data)이고, 170.29 Mbps에서 200 Mbps까지의 데이터 전송율의 변화에 따른 프레임 구조 변화와 허용가능한 부호율을 표 2에 나타내었다. 이때 Carrier and Clock Recovery, Unique Word, Guard Time에 할당되는 비트수는 변하지 않으며 전송율 확장으로 늘어난 비트는 모두 부호의 용장비트로 사용한다고 가정한다. 표 2에서 볼 수 있듯이 200 Mbps 부근의 데이터 전송율에서 트래픽 데이터의 부호율은 85%~89%이다.

표 2. 전송율 확장에 따른 155 Mbps 프레임 구조의 변화

	170 Mbps		190 Mbps		192 Mbps		196 Mbps		200 Mbps	
	bits	부호율	bits	부호율	bits	부호율	bits	부호율	bits	부호율
Reference burst	2,438	2,842	2,872	87.5%	2,932	86.3%	2,992	84.2%	2,992	82.2%
Out Bound Message	2,048	2,342	2,372		2,432		2,492		2,492	
In Bound Signaling burst	1,524	1,702	1,718	85.2%	1,754	84.1%	1,790	81.7%	1,790	79.4%
Out Bound Message	1,024	1,202	1,218		1,254		1,290		1,290	
Traffic burst	19,940	22,247	22,481	89.4%	22,949	88.4%	23,418	86.6%	23,418	84.8%
Traffic Data	19,440	21,747	21,981		22,449		22,918		22,918	

위성 ATM 전송을 위한 변조방식으로 본 논문에서는 QPSK를 사용하며 연결부호의 내부부호로 길쌈부호를, 외부부호로는 RS부호를, 인터리버로는 블록 인터리버를 사용한다. 85%~89%의 부호율과 7~8 dB의 신호대잡음비에서 10^{-10} 이하의 비트오율을 얻을 수 있도록 연결부호의 파라미터를 결정한다. 먼저 프레임 구조중 가장 많은 비율을 차지하는 트래픽 데이터에 대해 $[N, K]$ RS 부호를 정하고 연결부호의 부호율이 85% ~ 89%가 되도록 하는 $(n-1)/n$ 길쌈부호를 선택한다. 그리고 이를 이용해 Out bound message에 적합한 연결부호를

결정한다.

1. RS 부호의 파라미터 결정

프레임 구조의 특성상 $[N, K]$ RS 부호의 K 를 먼저 정하고 오류정정능력에 따라 부호율이 N 을 결정한다. ATM 셀이 53 바이트(byte)이므로 RS 부호의 한 심볼을 1 바이트로 선택하는 것이 시스템 동기에 용이하며, 이 경우 가능한 RS 부호의 K 는 $255 (= 2^8 - 1)$ 보다 작아야 한다. 하나의 트래픽 데이터는 19,440 비트(bit)로 2,430 바이트에 해당한다. 트래픽 데이터의 부호화는 블록단위로 이루어지므로 K 는 2,430의 약수로 선택하는 것이 바람직하다. 2,430의 약수중 255보다 작은 정수로는 243과 162가 있으며, RS 부호의 K 로 선택 가능하다.

프레임 구조의 특성상 인터리빙은 트래픽 버스트 내에서 이루어져야 하기 때문에 인터리빙 깊이(interleaving depth)는 RS 부호의 K 에 따라 정해지게 된다. 예를 들어, $K = 243$ 이면 인터리빙 깊이는 $2430/243 = 10$ 이고, $K = 162$ 이면 $2430/162 = 15$ 가 된다.

2. 길쌈부호의 부호율 결정

길쌈부호의 부호기 및 복호기의 복잡도를 줄이고 다양한 부호율을 얻기 위한 방법으로 본 논문에서는 구속장(constraint length)이 9이고 부호율이 $1/2$ 인 길쌈부호로부터 절단된 $(n-1)/n$ 길쌈부호를 사용한다. 따라서 길쌈부호의 부호율을 결정하기 위해서는 주어진 $[N, K]$ RS 부호에 대하여 전체 부호율이 85% ~ 89%가 되도록 하는 n 을 찾는다. 즉, n 은

$$0.85 \leq \frac{K}{N} \frac{n-1}{n} \leq 0.89$$

을 만족해야 하며, 이를 정리하면 n 의 범위는 다음과 같다:

$$\frac{K}{K - 0.85N} \leq n \leq \frac{K}{K - 0.89N}$$

여기서 절단된 길쌈부호는 부호율이 낮을수록 부호화 이득이 높기 때문에, 주어진 조건을 만족하는 정수중에서 최소의 정수를 n 으로 선택한다. 이를 이용하여 $K = 243$ 과 $K = 162$ 에 대해 연결부호의 전체 부호율을 표 3과 표 4에 계산하였다.

3. Out bound message에 사용되는 연결부호

표 3. $K = 243$ 인 RS 부호에 대한 길쌈부호의 n 의 결정

t	N	n	부호율
1	245	7	85.01%
2	247	8	86.01%
3	249	8	85.39%
4	251	9	86.06%
5	253	9	85.38%
6	255	10	85.76%

표 4. $K = 162$ 인 RS 부호에 대한 길쌈부호의 n 의 결정

t	N	n	부호율
1	164	8	86.43%
2	166	8	85.39%
3	168	9	85.71%
4	170	10	85.76%
5	172	11	85.62%
6	174	12	85.34%
7	176	13	84.97%
8	178	15	84.94%

데이터 전송율이 170 Mbps인 경우 표 1에서 보듯이 Reference 버스트와 In Bound Signaling 버스트내의 Out Bound Message의 비트수는 각각 2,024 비트와 1,024 비트이며 이를 RS 부호의 심볼로 환산하면 256 바이트와 128 바이트가 된다. 그러므로 이곳에 가능한 RS 부호의 K 는 128이 된다. 만일 트래픽 버스트에 사용되는 RS 부호와 다른 부호를 Reference 버스트와 In Bound Signaling 버스트에 사용한다면, 하드웨어 구현시 심각한 문제를 야기한다. 이를 해결하기 위한 방법 중 하나는 세 곳에 모두 같은 길쌈부호를, 그리고 오류정정능력이 같은 RS 부호를 사용하는 방법이다. 이 경우에 Out Bound Message에 사용되는 RS 부호는 트래픽 데이터에 사용되는 RS 부호를 적절히 단축시킨 (shortened) RS 부호로 사용하는 것이 가능하다. 이러한 접근 방법의 가장 큰 장점은 트래픽 데이터에 사용되는 RS 부호의 복호기를 약간 수정함으로써 새로운 RS 부호의 복호기를 구현할 수 있다는 점이

다. 프레임의 구조상 버스트들이 순차적으로 수신되기 때문에 해당 버스트에 대한 정보를 복호기에 넘겨줌으로써 RS 부호의 복호기에서 특정의 버스트에 해당하는 K 를 적절히 선택할 수 있다. 예를 들어 길쌈부호의 부호율이 7/8이고 트래픽 데이터에 [166,162] RS 부호, Reference 버스트에 [132,128] RS 부호를 사용하는 경우에 전체 프레임에 대한 복호과정을 흐름도로 나타내면 그림 5와 같다. 155.52 Mbps TDMA 프레임 구조에 사용가능한 연결부호에 대해 정리하면 표 5와 같다.

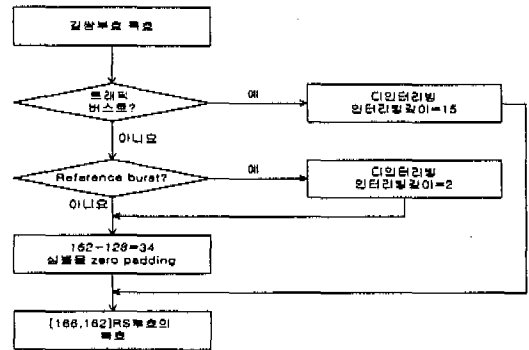


그림 5. 전체 프레임에 대한 복호과정 흐름도

표 5. 155 Mbps TDMA 프레임 구조에 가능한 연결부호

RS 길쌈 부호	Reference 버스트		In Bound Signaling		트래픽 버스트	
	RS 부호	인터리빙 길이	RS 부호	인터리빙 길이	RS 부호	인터리빙 길이
6/7	[130,128]	2	[130,128]	1	[245,243]	10
7/8	[132,128]	2	[132,128]	1	[247,243]	10
	[134,128]	2	[134,128]	1	[249,243]	10
	[130,128]	2	[130,128]	1	[164,162]	15
8/9	[132,128]	2	[132,128]	1	[166,162]	15
	[136,128]	2	[136,128]	1	[251,243]	10
	[138,128]	2	[138,128]	1	[253,243]	10
9/10	[134,128]	2	[134,128]	1	[168,162]	15
	[140,128]	2	[140,128]	1	[255,243]	10
10/11	[136,128]	2	[136,128]	1	[170,162]	15
	[138,128]	2	[138,128]	1	[172,162]	15
11/12	[140,128]	2	[140,128]	1	[174,162]	15
	[142,128]	2	[142,128]	1	[176,162]	15

4. 연결부호를 사용하는 155 Mbps TDMA의 프레임 구조

오류정정부호를 사용함으로써 발생하는 프레임 구조의 변화는 데이터 전송율을 증가시킨다. 예를 들어 표 6은 Reference 버스트와 In Bound

Signaling 버스트에 [140,128] RS 부호 + 11/12 길쌈부호를 사용하고, 트래픽 버스트에는 [174,162] RS 부호 + 11/12 길쌈부호를 사용했을 경우 프레임 구조 변화를 나타낸다. 이 때 데이터 전송율은 496,396/2,500 = 198.56 Mbps 이다.

표 6. 연접부호를 고려한 155 Mbps TDMA 프레임 구조 변화의 예

contents	Per Unit		Number	Total	
	bits	μs		bits	μs
Reference burst	2,960	14.91	1	2,960	14.91
Carrier & clock Recovery	350	1.76			
Unique Word	50	0.25			
Out Bound Message	2,460	12.39			
Guard Time	100	0.50			
In Bound Signaling burst	1,731	8.72	16	27,696	139.52
Carrier & clock Recovery	350	1.76			
Unique Word	50	0.25			
Out Bound Message	1,231	6.20			
Guard Time	100	0.50			
Traffic burst	23,287	117.28	20	465,740	2,345.60
Carrier & clock Recovery	350	1.76			
Unique Word	50	0.25			
Traffic 데이터	22,787	114.76			
Guard Time	100	0.50			
SUM				496,396	2,500.00

III. 연접부호의 비트오율 추정

본 논문에서는 7~8 dB의 신호대잡음비에서 $10^{-10} \sim 10^{-12}$ 의 비트오율을 갖는 연접부호를 요구하며 이에 대한 정확한 성능평가를 위해서는 10^{14} 이상의 복호과정을 수행해야 한다. 그러나 이것은 현재의 계산능력(computing power)하에서는 시간의 제약으로 인해 불가능하므로 길쌈부호의 성능분석을 바탕으로 이론적인 분석을 통한 비트오율의 추정이 필요하다. 길쌈부호의 부호율을 R_i 라 하고, GF(2^m) 위의 원소를 심볼로 가지는 $[N, K]$ RS 부호의 오류정정능력을 t 라 하자. 그리고 인터리버는 완전 인터리버(perfect interleaver)라 가정한다. 연접부호의 비트오율을 추정하기 위해 사용되는 기호는 다음과 같다:

- ϵ : 내부부호 복호 후의 비트오율
- δ : $m = 8$ 비트를 하나의 RS 부호의 심볼로 할 때, 내부부호 복호후의 심볼오류확률
- P_w : 외부부호 복호후의 블록오류확률
- P_s : 외부부호 복호후의 심볼오류확률
- P_b : 외부부호 복호후의 비트오율

ϵ 이 10^{-4} 보다 작다고 하면 δ 는 아래와 같이 근

사화된다:

$$\delta = 1 - (1 - \epsilon)^m \approx m\epsilon = 8\epsilon.$$

하나의 RS 부호어에 복호오류가 일어날 확률 P_w 는 오류 심볼의 개수가 t 보다 클 경우에 대한 확률이므로

$$P_w = \sum_{i=t+1}^N \binom{N}{i} \delta^i (1 - \delta)^{N-i}$$

이 된다. P_w 의 j 번째 항과 $j+1$ 번째 항을 비교하면

$$\frac{\binom{N}{j+1} \delta^{j+1} (1 - \delta)^{N-(j+1)}}{\binom{N}{j} \delta^j (1 - \delta)^{N-j}} = \frac{N-j}{j+1} \frac{\delta}{1 - \delta}$$

$$< Y, \quad j \geq t+1$$

이 된다. 여기서 Y 는 1보다 작은 양의 실수이다. 따라서 P_w 는 다음과 같은 상한식을 가진다:

$$P_w \leq \binom{N}{t+1} \delta^{t+1} (1 - \delta)^{N-t-1} (1 + Y + Y^2 + \dots) \leq \binom{N}{t+1} \delta^{t+1} (1 - \delta)^{N-t-1} \frac{1}{1 - Y}.$$

복호전 $t+i$ 개의 오류심볼을 가진 RS 부호어는 복호후에 최대 $2t+i$ 개의 오류심볼을 가질 수 있기 때문에 외부부호 복호후의 평균 오류심볼의 개수 n_s 는 다음과 같이 추정할 수 있다:

$$n_s \leq (2t+1) \binom{N}{t+1} \delta^{t+1} (1 - \delta)^{N-(t+1)} + (2t+2) \binom{N}{t+2} \delta^{t+2} (1 - \delta)^{N-(t+2)} + (2t+3) \binom{N}{t+3} \delta^{t+3} (1 - \delta)^{N-(t+3)} + \dots \quad (1)$$

식 (1) 우변의 j 번째 항과 $j+1$ 번째 항을 비교하면

$$\frac{(2t+j+1) \binom{N}{t+j+1} \delta^{t+j+1} (1 - \delta)^{N-(t+j+1)}}{(2t+j) \binom{N}{t+j} \delta^{t+j} (1 - \delta)^{N-(t+j)}} = \frac{(2t+j+1)(N-t-j)}{(2t+j)(t+j+1)} \frac{\delta}{1 - \delta}$$

$$< X, \quad j \geq 1$$

이 된다. 여기서 X 는 1보다 작은 양의 실수이다.

따라서 n_s 는 아래와 같은 상한식을 가진다:

$$n_s \leq (2t+1) \binom{N}{t+1} \delta^{t+1} (1-\delta)^{N-(t+1)} (1+X+X^2+\dots) \\ = \frac{1}{1-X} (2t+1) \binom{N}{t+1} \delta^{t+1} (1-\delta)^{N-(t+1)}$$

하나의 RS부호는 K 개의 정보심볼중 n_s 개의 오류 심볼을 가지므로 복호후의 심볼오류확률 P_S 는 아래와 같이 주어진다:

$$P_S = \frac{n_s}{K} \leq \frac{(2t+1)}{K} \binom{N}{t+1} \delta^{t+1} (1-\delta)^{N-(t+1)} \frac{1}{1-X}$$

심볼을 구성하는 비트중 하나이상의 비트에 오류가 발생할 경우 심볼오류가 생기므로 비트오율 P_b 와 심볼오류확률 P_S 는 다음의 관계식을 만족한다:

$$\frac{1}{8} P_S \leq P_b \leq P_S$$

이상과 같은 비트오율 추정으로 7~8 dB의 신호 대잡음비에서 $10^{-10} \sim 10^{-12}$ 의 비트오율을 얻기위한 내부부호 복호후의 비트오율 ϵ 을 예측할 수 있다. 즉, 내부부호인 길쌈부호의 성능이 $(7 - 10 \log_{10}(N/K)) \sim (8 - 10 \log_{10}(N/K))$ dB에서 ϵ 이하의 비트오율을 보장한다면 연접부호는 7~8 dB의 신호대잡음비에서 $10^{-10} \sim 10^{-12}$ 의 비트오율을 얻을 수 있다. [253,243] RS 부호와 부호율 8/9인 길쌈부호를 사용한 연접부호의 비트오율 추정의 예를 표 7에 정리하였다. 표 7에서 보듯이 연접부호의 비트오율이 10^{-10} 이하가 되기 위해서는 내부부호 복호후 비트오율이 6.82~7.82 dB의 신호대잡음비에서 6.25×10^{-5} 이하가 되어야 한다.

표 7. [253,243]+8/9 연접부호의 비트오율 추정의 예

ϵ	δ	X	P_S 의 상한값	P_b 의 범위
1.25×10^{-1}	10^{-3}	3.85×10^{-2}	1.262×10^{-9}	$1.578 \times 10^{-9} \leq P_b \leq 1.262 \times 10^{-8}$
6.25×10^{-5}	5×10	1.93×10^{-2}	2.187×10^{-10}	$2.735 \times 10^{-11} \leq P_b \leq 2.187 \times 10^{-10}$
1.25×10^{-5}	10^{-1}	3.85×10^{-3}	1.521×10^{-14}	$1.901 \times 10^{-15} \leq P_b \leq 1.521 \times 10^{-14}$

IV. 연접부호의 모의실험 결과

본 장에서는 모의실험을 통해 표 5에 기술된 155

Mbps TDMA 프레임 구조에 적합한 연접부호의 성능을 백색가우시안채널(AWGN, additive white gaussian channel)상에서 분석하였다. 모의실험에 사용된 길쌈부호의 구성장은 9이고 16레벨 양자화를 통한 비터비 복호기를 사용하였으며, RS 부호의 복호 알고리즘으로 유클리드 알고리즘을 이용하였다. 계산능력의 한계 때문에 모의실험 결과로 부호의 성능이 7~8 dB의 신호대잡음비에서 $10^{-10} \sim 10^{-12}$ 의 비트오율을 가지는지를 정확히 판단하기는 힘들다. 그러나 성능곡선을 통한 예측으로 Reference 버스트와 트래픽 버스트에 사용된 연접부호는 $10^{-10} \sim 10^{-12}$ 의 비트오율을 만족할 수 있지만 In Bound signaling 버스트에 사용된 부호의 성

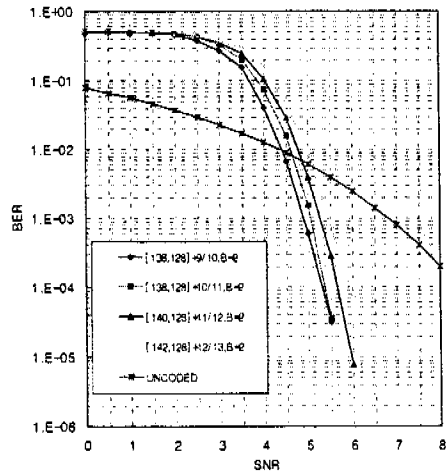


그림 6. $K = 162$ 일 때, Reference 버스트에 적용가능한 연접부호 성능곡선

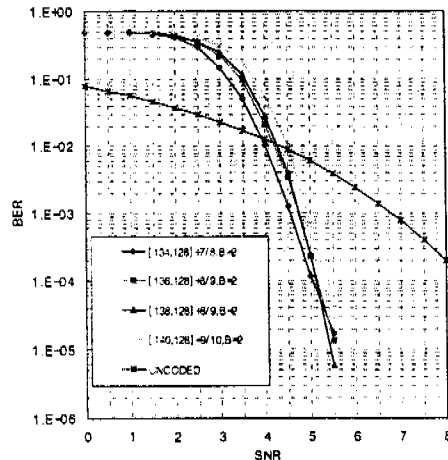


그림 7. $K = 243$ 일 때, Reference 버스트에 적용가능한 연접부호 성능곡선

높은 인터리버의 크기가 작으므로 7~8 dB의 신호대 잡음비에서 이보다 작은 $10^{-9} \sim 10^{-10}$ 의 비트 오류율을 얻을 수 있음을 볼 수 있다. 성능곡선에서 B 는 인터리빙 깊이를 나타내며 0.5 dB의 신호대 잡음비 간격으로 최대 10^8 비트의 모의실험을 수행하였다. 트래픽 버스트에 사용된 RS 부호의 K 가 162일 경우와 243인 경우에 대해 Reference 버스트, In bound signaling 버스트, 트래픽 버스트에 적용가능한 연접부호의 성능을 그림 6부터 그림 11에 걸쳐 나타내었다.

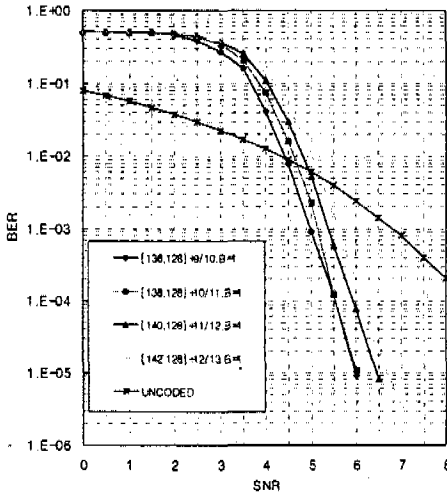


그림 8. $K = 162$ 일 때, In bound signaling 버스트에 적용가능한 연접부호 성능곡선

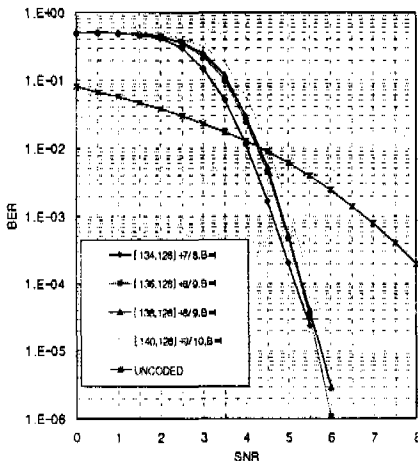


그림 9. $K = 243$ 일 때, In bound signaling 버스트에 적용가능한 연접부호 성능곡선

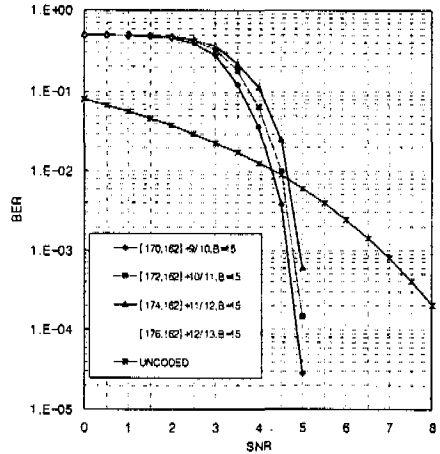


그림 10. $K = 162$ 일 때, 트래픽 버스트에 적용가능한 연접부호 성능곡선

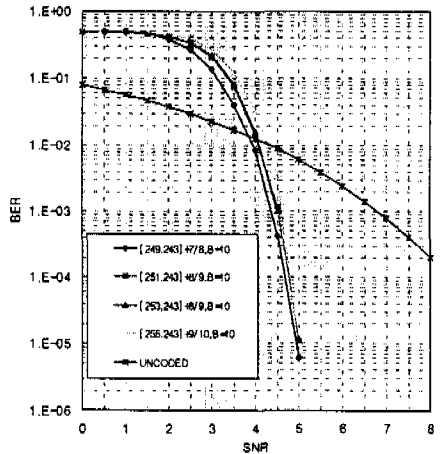


그림 11. $K = 243$ 일 때, 트래픽 버스트에 적용가능한 연접부호 성능곡선

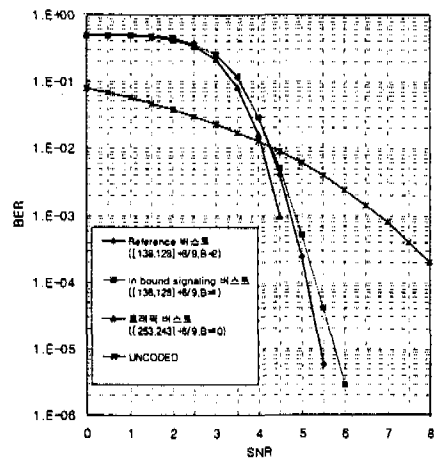


그림 12. $K = 243$ 일 때, 155 Mbps TDMA 프레임 구조에 적합한 연접부호 성능곡선

