

비대칭 터보 코드를 이용한 무선 ATM셀 전송의 성능 분석[†]

(Performance of the Asymmetric Turbo Codes for Wireless ATM Transmission)

문 병 현*

(Byung Hyun Moon)

요약 본 논문에서는 비대칭 터보부호를 사용 무선 ATM환경에서 ATM셀을 전송할 때 비트 오류확률, 셀 손실확률을 대칭 터보부호와 비교하였다. 일반적으로 터보부호기는 동일한 재귀 컨벌루션코드(Resursive Systematic Convolution Code)로 구성된다. 비대칭 터보부호와 대칭적 터보부호를 비교하기 위한 생성다항식을 Primitive Polynomial과 Non-Primitive Polynomial의 4가지 조합을 고려하여 시뮬레이션을 수행하였다. Feedback 다항식이 Primitive 다항식인 사용된 터보부호기가 Non-Primitive 다항식이 사용된 터보부호기와 비교하여 1.2dB이상 성능 향상을 보였고, Primitive Polynomial과 Non-Primitive Polynomial이 같이 사용된 비대칭 터보부호기는 Non-Primitive Polynomial이 사용된 대칭 터보부호기와 비교하여 0.7dB 성능 향상을 보였다.

1. 서론

이동 통신 시스템은 광 대역 및 다양한 서비스 제공을 위한 IMT-2000(International Mobile Telecommunication) 등의 연구개발이 전세계적으로 이루어지고 있다. [1]-[3] 이런 이동 통신 시스템은 무선 ATM 전송에 근거한 다양한 광 대역 무선 멀티미디어 통신이 중요한 역할을 하게 될 것이다. 무선 ATM에서는 높은 신뢰성을 갖는 데이터 전송이 요구되며 무선 ATM통신망에서 사용자가 원하는 Qos(Quality of Service)를 만족시키기 위한 오류제어기법이 사용되어진다. 오류 제어기법에는 채널의 특성에 따라 여러 가지 형태가 있으나, 기본적으로 이동 통신 시스템에서의 채널부호는 컨벌루션부호를 사용한다. 최근 들어 그 성능의 우수성으로 인해 터보부호가 많이 사용되며, 터보부호(Turbo Code)는 다중 전송률을 지원하는 차세대 이동

통신 시스템에서 고속 데이터 통신을 위한 오류정정 방식으로 터보부호(Turbo Code)가 차세대 채널코딩 방법으로 대두되고 있다. 또한, 터보부호는 Shannon의 정리에 근접하는 채널 용량을 위한 신호 대 잡음비의 개선에 있어 현재까지 알려진 채널 코딩 방법 중에서 가장 효과적인 것으로 알려져 있다 [4]. 일반적으로 터보부호기는 <그림 III-2>에서 보는 바와 같이 동일한 재귀 컨벌루션부호기(Recursive Convolutional Codes)가 병렬로 연결한 구조로 구성된다. 재귀 컨벌루션 부호기는 Feedforward 다항식과 Feedback 다항식으로 표시할 수 있다. Berrou에 의해 제안된 터보부호도 동일한 재귀 컨벌루션부호기를 가정하였으며 이를 대칭적 터보부호이다. Berrow에 의해 제안된 터보코드의 생성다항식은 Non-Primitive 다항식이다. [5]

본 논문에서는 무선 ATM에서 터보부호기의 재귀 컨벌루션 부호기의 형태가 동일하지 않은 생성다항식을 사용하여 비대칭 터보부호를 사용하여 무선 ATM셀을 전송하였을 때, 비트 오류 확률과 셀 손실률의 성능을 대칭적 터보코드와 비교 분석하였다. 터보부호의 부호기 생성다항식은 Feedforward 다항식과 Feedback 다

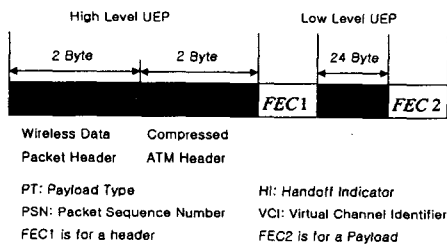
[†] 이 논문은 2001년 대구대학교 학술연구비 지원을 받은 연구결과입니다.

* 대구대학교 정보통신공학부

항식의 조합으로 4가지 방법을 고려하였다. 첫째, 부호기의 Feedback 다항식이 모두 Primitive 다항식을 사용하였을 때, 둘째 경우는, 부호기 Feedback 다항식이 모두 Non-Primitive인 경우, 셋째와 넷째의 경우는, Feedback 다항식 1개는 Primitive이고 다른 하나는 Non-Primitive인 경우를 고려하였다. 4가지 방법으로 구성된 터보부호의 부호기로 무선 ATM에서 ATM셀을 전송 하였을 때 비트 오류율(Bit Error Rate)과 셀 손실률(Cell Loss Rate)의 성능을 비교 분석하였다.

2. 무선 ATM 셀 구조

본 논문에서 사용된 무선 ATM의 DLC(Data Link Control) 패킷(Packet) 형태는 무선환경에 적합하도록 기존의 표준 ATM셀을 변형시킨 형태를 사용한다 [6]-[7]. ATM셀의 HEC(Header Error Control)는 한 비트 오류정정과 다중 비트 오류검출 CRC(Cyclic Redundancy Code)를 사용한다. 무선 ATM셀의 구조는 <그림 II-1>에서 보는 바와 같이 4바이트의 헤더와 24바이트의 데이터부분과 헤더 및 데이터 부분의 오류정정 부호 사용시 발생하는 잉여비트인 FEC1과 FEC2로 구성된다.

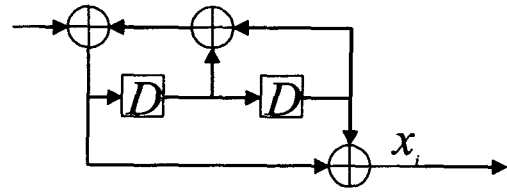


<그림 II-117> DLC 패킷 무선 ATM 셀

3. 터보부호 구조

3-1. 터보 부호기

터보 부호기는 동일한 재귀 컨벌루션 코드(Recursive Systematic Convolution Code)로 구성되어있다. 재귀 컨벌루션 부호기는 <그림 III-1>에서 보는 바와 같이 나타난다.



<그림 III-1> Generator Polynomial (7,5) 부호기

부호기의 생성다항식은 식(3.1)과 같다.

$$g^{(0)} = 1 + D + D^2 \quad (3.1)$$

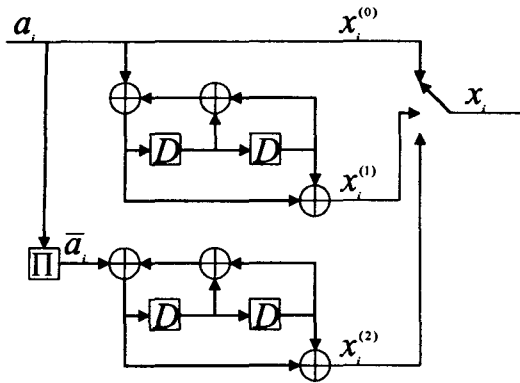
$$g^{(1)} = 1 + D^2$$

$g^{(0)}$ 는 부호기의 Feedback 다항식이고 $g^{(1)}$ 은 부호기의 FeedForward 다항식을 나타내고 다항식의 계수를 사용하여 행렬로 나타내면 식(3.2)와 같다.

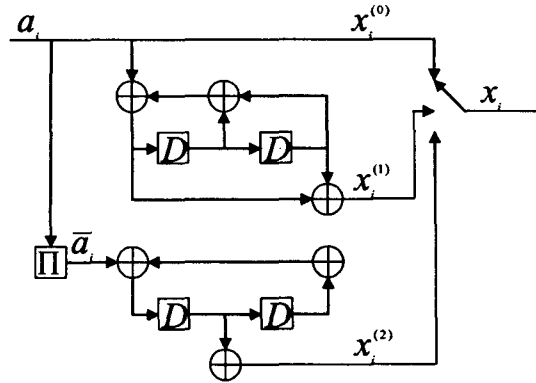
$$g = \begin{pmatrix} g^{(0)} \\ g^{(1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 7 \\ 5 \end{pmatrix} \quad (3.2)$$

또한 부호기의 행렬을 8진수 표현으로 나타내면, $g^{(0)}=7$, $g^{(1)}=5$ 로 표시할 수 있다. 부호기를 다항식을 8진수 (7, 5)로 표시할 수 있다. 따라서 <그림 III-2>와 같은 터보부호기는 8진수의 형태로 표현하면 ((7,5),(7,5))로 표시할 수 있다. 본 논문에서는 터보부호기의 재귀 컨벌루션 부호기의 Feedback 다항식이 Primitive 여부에 따라 4가지 경우로 구분하여 무선 ATM 셀 전송시 터보코드에 의한 오류정정 성능을 비교한다.

첫째, 부호기 모두 두 개의 재귀 컨벌루션 부호기의 Feedback 다항식이 Primitive 다항식으로 ((7,5),(7,5))인 생성다항식의 터보부호기는 <그림 III-2>과 같다.

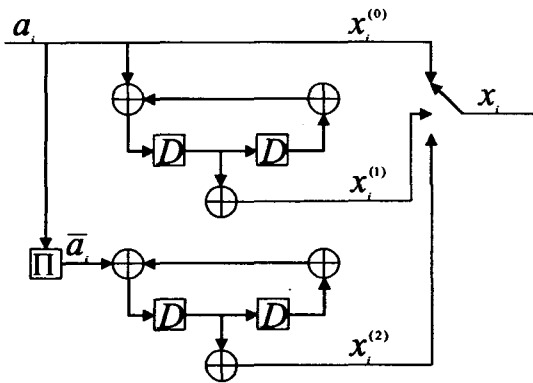


<그림 III-2> Primitive Polynomial인 터보부호기



<그림 III-4> Primitive Polynomial와 Non-Primitive Polynomial인 터보부호기

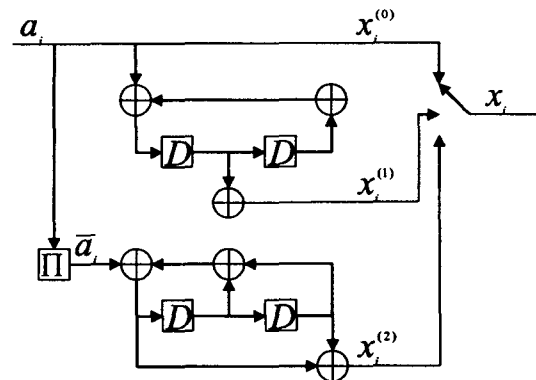
둘째, 부호기 모두 두 개의 재귀 컨벌루션 부호기의 Feedback 다항식이 Non-Primitive 다항식인 경우로 ((5,2),(5,2))인 생성다항식의 터보부호기는 <그림 III-3>과 같다.



<그림 III-3> Non-Primitive Polynomial인 터보부호기

셋째, 첫 번째 재귀 컨벌루션 부호기의 Feedback 다항식은 Primitive 다항식으로 (7,5)를 사용하고 두 번째 재귀 컨벌루션 부호기의 Feedback 다항식은 Non-Primitive 다항식으로 (5,2)인 생성다항식의 <그림 III-4>과 같다.

넷째, 첫 번째 재귀 컨벌루션 부호기의 Feedback 다항식은 Non-Primitive 다항식으로 (5,2)를 가정하고 두 번째 재귀 컨벌루션 부호기의 Feedback 다항식은 Primitive 다항식인 (7,5)를 사용하고 <그림 III-5>과 같다.



<그림 III-5> Non-Primitive Polynomial와 Primitive Polynomial인 터보부호기

입력 정비 비트는 a_i 로 나타내었다. 또한, 인터리버 블럭을 Π 로 나타내고 그 출력은 \bar{a}_i 로 나타내었다. 디인터리버의 기능은 인터리버의 역기능이고 정의는 식(3.3)과 같다.

$$a_{x^{-1}(i)} = \bar{a}_i \quad (\text{식 3.3})$$

$x_i^{(0)}$ 는 터보부호기의 Systematic 출력이고 $x_i^{(1)}$ 과 $x_i^{(2)}$ 패리티 출력이다. 따라서 입력비트 수가 L 비

트이고 부호율 1/3인 터보 부호기의 출력 x_i 는 식(3.4)과 같이 주어진다.

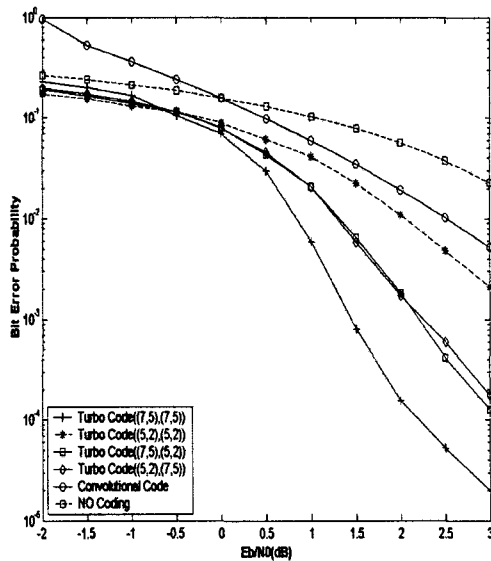
$$x_i = (x_0^{(0)}, x_0^{(1)}, x_0^{(2)}, \dots, x_{L-1}^{(0)}, x_{L-1}^{(1)}, x_{L-1}^{(2)}) \quad (\text{식 3.4})$$

4. 시뮬레이션 결과

대칭적 터보부호와 비대칭 터보부호를 비교 분석하기 위해 재귀 컨벌루션 부호기의 Feedback 생성 다항식이 Primitive인 경우와 Non-Primitive인 경우의 조합을 무선 ATM셀의 성능을 평가하기 위하여 아래와 같은 환경에서 시뮬레이션 하였다. 변조방식은 BPSK를 사용하여 가우스잡음을 가지는 채널을 가정하였다. 터보 복호기에서 사용된 인터리버는 램덤 인터리버를 사용하였으며 LogMAP 알고리즘을 사용하여 디코딩하였다. 프로그램 종료를 위하여 100프레임 에러가 날 때까지 계속 시뮬레이션 되도록 하였다. 또한, 터보 디코더의 Iteration 수를 10으로 고정하였다. 터보부호의 Feedback 생성다항식의 형태에 따라 네 가지 형태에 대하여 시뮬레이션 하였다.

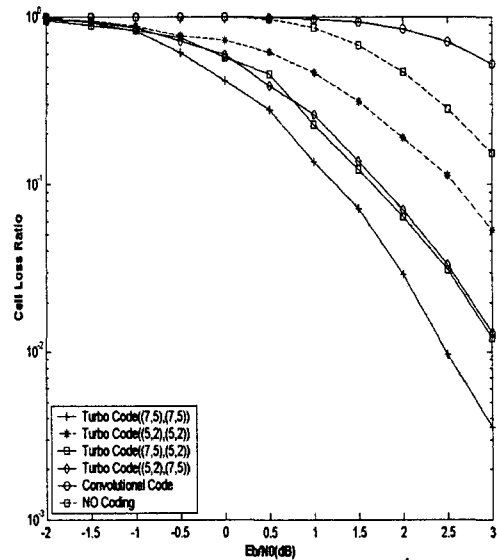
대칭적인 터보코드이며 Feedback 다항식 두 개의 Primitive Polynomial을 사용하여 부호기 ((7,5),(7,5))를 사용한 경우에는 신호대 잡음비는 0.9dB이고, 부호기 ((7,5), (5,2))를 사용하는 비대칭 터보부호의 경우 필요한 신호대 잡음비는 1.4dB이며, 부호기 ((5,2),(5,2))을 사용한 터보부호는 신호대 잡음비 2.1dB가 요구된다. 따라서, 동일한 시스템 환경에서 비트 오류확률은 Feedback 다항식이 2개 모두 Primitive인 경우 성능이 가장 우수하였고, Feedback 다항식 2개 모두가 Non-Primitive인 경우가 가장 높은 오류확률을 가지며 가장 우수한 경우와 비교하여 성능이 신호대잡음비 약 1.2dB의 손실이 있었다. Feedback 다항식이 1개의 Primitive 다항식과 1개의 Non-primitive 다항식으로 이루어진 경우 유사한 비트 오류확률을 가지며 Feedback 다항식이 2개의 Primitive 다항식으로 이루어진 경우보다는 약 0.6dB의 신호대 잡음비의 손실이 있었고, Feedback 다항식이 2개의 Non-primitive Polynomial인 경우보다는 약 0.7dB 신호대 잡음비의 향상을 보였다.

무선 ATM에서 셀 손실률은 <그림 IV-2>에서 보는 바와 같이 나타난다.



<그림 IV-1> 비트 오류 확률

<그림 IV-1>에서 보는 바와 같이 비트 오류확률이 10^{-2} 에서 신호 대 잡음비를 살펴보면 부호율 1/2인 컨벌루션 부호를 사용하여 무선 ATM에서 셀을 전송할 경우 요구되는 신호대 잡음비는 3dB이상 요구된다.



<그림 IV-2> 셀 손실 확률

<그림 III-2>에서 셀 손실률이 10^{-1} 에서 요구되는 신호 대잡음비($\frac{E_b}{N_0}$)를 살펴보면 컨벌루션부호는 4.0dB

이고, Feedback 다항식 두 개가 Primitive 다항식을 사용한 경우로 ((7,5),(7,5))의 경우는 1.3dB이고, Feedback 다항식 1개가 Primitive 다항식인 ((7,5), (5,2))와 ((5,2), (7,5))의 경우는 1.6dB이며, 두 개 모두 Non-Primitive 다항식을 사용한 ((5,2),(5,2))인 경우는 2.6dB이다. 따라서, 셀 손실확률은 2개의 Feedback 다항식이 Primitive 인 경우가 성능이 가장 우수하고, 2개의 Non-Primitive Polynomial로 구성된 터보부호보다 신호대 잡음비 1.3dB 개선 효과를 나타내었다. 1개의 Primitive 다항식과 1개의 Non-Primitive 다항식으로 이루어진 비대칭 터보부호는 2개의 Primitive 다항식으로 구성된 대칭 터보부호기보다 신호대 잡음비 0.6dB 손실을 보이고 2개의 Non-Primitive 다항식으로 구성된 대칭 터보부호 보다 신호대 잡음비 0.7dB의 성능 향상을 보였다.

5. 결론 및 추후 연구

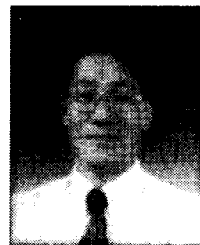
본 논문에서는 무선ATM 셀 전송 시스템에서 비대칭 터보 부호의 에러정정 능력을 대칭적 터보부호와 비교 분석하였다. 비대칭 터보 부호의 형태를 Feedback 다항식 이 Primitive 다항식과 Non-Primitive 다항식으로 구성되는 터보부호기의 비트 오류확률과 셀 손실확률의 성능을 대칭적인 터보 코드와 비교 분석하였다. 시뮬레이션을 통하여 비트 오류확률을 비교하면, Feedback 다항식이 두 개의 Primitive 다항식으로 구성된 생성다항식을 사용할 경우가 가장 작은 비트 오류 확률 및 셀 손실율을 나타내었고 두 개의 Non-Primitive 다항식으로 구성된 경우가 가장 높은 비트오류 확률 및 셀 손실율을 나타내었다.

참 고 문 헌

[1] W. Honcharenko, J. P. Kruys, D. Y. Lee, and N. J. Shah, "Broadband Wireless Access," IEEE Commun. mag, pp. 20-26, Jan. 1997.
 [2] G. Omidyar, "Internet services over mobile and wireless networks architectures and protocols", Universal Multiservice Networks, ECUMN 2000, pp. 1-4, 2000.
 [3] H. Bolcskel, A. J. Paulraj, K.V.S. Hari, R. U.

Nabar, W. W. Lu, "Fixed broadband wireless access: state of the art, challenges, and future directions", IEEE Communications Magazine, Vol. 39, pp. 100-108, Jan 2001.

[4] C. Berrou and Glavieux, "Near optimum error correcting coding and decoding : Turbo Codes," IEEE Trans. on Communication, vol. 44, pp. 1261-1271, 1996.
 [5] O.Y. Takeshita, O. M. Collins, P. C. Massey, D. J. Costello, Jr., "A note on asymmetric turbo-codes", IEEE Communications Letters, Vol. 3, pp. 69-71, Mar 1999.
 [6] D. Raychaudhuri and N. D. Wilson, "ATM-based Transport architecture for multiservices Wireless personal Communication network," IEEE J. SAC, vol. 12, pp. 1401-1414, Oct. 1992.
 [7] P. Narasimhan, C. A. Johnston, D. Raychaudhuri, "Design and implementation of radio access protocols in wireless ATM networks ", Signals, Systems, and Electronics, 1998. ISSSE 98, pp. 20-28, Sept. 1998.



문 병 현 (Byung Hyun Moon)

1985년 Southern Illinois Univ.
전자공학과 졸업
1987년 University of Illinois 전
자공학과 (공학석사)
1990년 Southern Methodist Univ.
전자공학과 (공학박사)

1991년~현재 대구대학교 정보통신공학부 교수
관심분야: 이동통신, 부호이론