

IP-SCCC에 의한 가변 부호율의 채널 부호화

이 연 문 , 조 경 식 , 정 차 근
호서대학교 제어계측공학과 영상통신연구실
전화 : (0418)540-5429 / FAX : (0418)540-5480

A Channel Coding of Variable Rate with Interleaver Punctured Serially Concatenated Convolutional Codes

Youn Moon Lee, Kyung Sik Cho, Cha Keon Cheong
Image Communication Lab., Dept. of Control&Instrumentation, Hoseo University
E-mail : minall@netian.com

Abstract

This paper addresses a novel algorithm for variable rate channel coding with interleaver punctured convolutional code for wireless communication. In order to increase the coding performance and achieve the variable channel coding rate, serially concatenated convolutional coding scheme will be applied. In this paper, we characterize the effect of interleaver puncturing on the effectiveness of the proposed scheme. Some simulation results are presented, in which the channel model of additive Gaussian noise is assumed.

I. 서론

제 3세대 이동 무선통신은 기존의 음성위주 서비스 뿐만 아니라 인터넷상에서의 전자메일, 파일전송 및 각종 콘텐츠 서비스를 비롯해 화상통화, 화상회의와 같은 화상 서비스 등을 제공할 수 있어야 한다. 따라서 채널의 대역이 제한되어 있는 이동 무선통신에서 이와 같은 다양한 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 무엇보다 대역폭 효율적인 부호화 방법의 개발이 필요하다. 이러한 문제들을 해결하기 위한 방법들 중의 하나로 컨벌루션 코딩과 부호율 변환이 가능한 RCPC(Rate-Compatible Punctured Convolutional Codes) 코딩[1]을 연결하는 방법이 개발되었으나, 최근에는 성능이 뛰어난 터보코드와 RCPC코딩을 연결함으로써

이 논문은 1999년 한국학술진흥재단의 연구비에 의하여 지원되었음 (KRF-99-003-E00264)

대역폭을 효율적으로 사용할 수 있는 방법이 제시되고 있다[2,3].

IMT-2000을 위한 동기식, 비동기식 규격안에서 프레임 내의 데이터 양이 많을 경우 채널 부호화 방식으로 채택된 터보코드는 상대적으로 간단한 코드와 인터리버를 사용해서 뛰어난 오류 정정 성능을 발휘한다. 터보코드는 2개 이상의 구성부호기와 터보 인터리버로 구성된다. 구성부호기로는 일반적으로 생성 다항식이 같은 컨벌루션 부호기를 사용하는 경우가 많으며, 구성 부호기의 연결 방법에 따라 병렬 연쇄형인 PCCC(Parallel Concatenated Convolutional Codes)[4]와 직렬 연쇄형인 SCCC(Serially Concatenated Convolutional Codes)[5]로 나뉜다.

PCCC는 Berrou[4] 등에 의해 제안되었으며 인터리버를 사이에 두고 2개 이상의 컨벌루션 부호화기를 병렬로 연결한 구조로 되어 있다. 이것은 인터리버의 길이가 충분히 클 경우 Shannon의 한계에 근접할 정도의 놀라운 코딩 이득을 보인다. 그렇지만 낮은 오류율에서는 error-floor 현상이 발생하기 때문에 높은 신뢰성이 요구되는 데이터 전송시 효율의 저하를 나타낸다.

Benedetto[5] 등은 비트 인터리버를 사이에 두고 2개 이상의 컨벌루션 부호화기를 직렬로 연결함으로써 반복 복호가 가능한 SCCC를 개발했다. SCCC는 낮은 신호 대 잡음비에서 PCCC보다 높은 오류율을 갖는 단점이 있으나 인터리버의 길이를 N 이라 할 때 N 이 증가함에 따라 오류율이 N^{-1} 의 비율로 감소하는 PCCC에 비해 오류율이 N^{-2} , N^{-3} , ... 등의 빠른 비율로 감

소하기 때문에 인터리버 이득이 크고, PCCC에서 나타나는 error floor현상을 SCCC를 사용함으로써 제거할 수 있는 장점을 갖는다[6].

이상과 같은 터보코드로 부호를 변환이 가능한 부호화방법을 얻기 위해 현재 많은 연구가 진행되고 있다. 이러한 방법들중의 하나로 성능이 뛰어난 SCCC를 사용해 가변 부호화를 수행 할 수 있는 IP-SCCC (Interleaver Punctured Serially Concatenated Convolutional Codes)[7]는 기존에 제시되었던 RCP-SCCC(Rate Compatible Punctured Serially Concatenated Convolutional Codes)[3]보다 높은 부호화 이득을 얻는다. 본 논문에서는 인터리버를 천공함으로써 부호를 변환이 가능한 IP-SCCC의 성능을 분석하고 다양한 천공을 통해 각 부호율에 대한 부호화 성능을 실험으로 확인한다.

II장에서 IP-SCCC의 구조에 대하여 살펴보고, III장에서는 다양한 채널 부호율을 얻기 위해 인터리버를 천공 하는 방법에 대해 살펴볼 것이다. 이어서 IV장에서는 실험 환경 및 모의실험에 의한 결과를 분석하고 V장에서 결론을 맺는다.

II. IP-SCCC의 구조

그림 1은 IP-SCCC의 부호화 과정을 나타낸다. 먼저 정보비트는 부호율이 R_c^o 인 외부 부호기로 부호화 된다. 이때 인터리버가 P_r 의 천공 비율을 갖는다고 가정하면 외부 부호기를 거친 부호어는 천공된 인터리빙 후 부호율이 R_c^i 인 내부 부호기에 의해 부호화 된다. 따라서 전체 부호기의 부호율은 $R_c = (R_c^o \times R_c^i) / P_r$ 이 된다. 여기서 인터리버 천공 비율 P_r 값의 변화에 의해 다양한 채널 부호율을 얻게 된다.

그림 2는 천공된 인터리버의 인터리빙과 디인터리빙 과정을 나타낸 것이다. SCCC에서 외부 부호기를 RSC 부호화기로 사용하기 때문에 인터리버 천공시 두 가지 경우를 고려해서 생각해 볼 수 있다.

첫째로 정보 비트와 패리티 비트를 같이 천공하는 방법과 둘째로 패리티 비트만을 천공하는 방법이다.

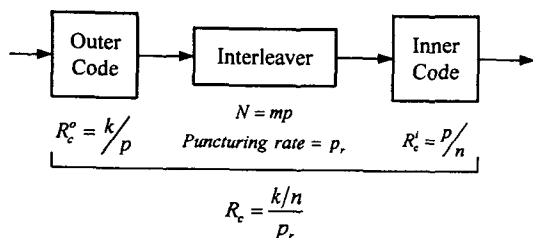


그림 1 IP-SCCC의 부호화 과정
Fig. 1 Encoding process of IP-SCCC

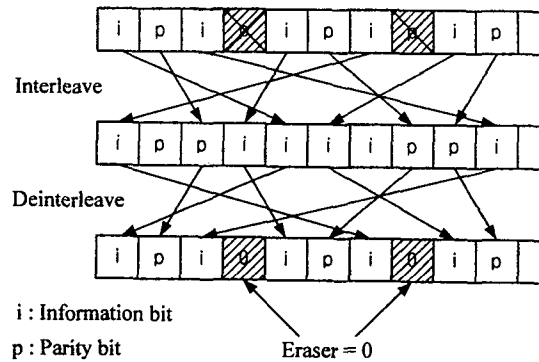


그림 2 IP-SCCC의 인터리빙과 디인터리빙 과정
Fig. 2 Interleaving and deinterleaving process of IP-SCCC

그러나 RSC부호화기의 경우 정보비트가 복호의 성능에 미치는 영향이 크므로 후자의 방법을 사용하는 것이 더 좋은 결과를 얻을 수 있다.

천공 규칙은 보통 행렬의 형태로 정의되고 이를 천공 행렬이라 부른다. 수신단에서는 송신단에서 쓰이는 것과 똑같은 천공 행렬을 저장하고 있다가 지워진 패리티 비트의 자리마다 Eraser를 삽입한 후 복호를 행하게 된다. 이때 Eraser의 값은 시스템의 특성에 맞는 특정 상수로 정한다. 그림 2에서처럼 보통은 0으로 주는 것이 일반적이다.

그림 3은 IP-SCCC의 복호기를 나타낸다. 복호기의 형태는 기존의 SCCC와 같은 구조로 되어 있다. 그렇지만 내부 복호기에 의해 얻어진 출력 비트는 디인터리빙시 패리티 비트의 위치에 Eraser가 삽입된 후 외부 복호기의 입력으로 들어간다.

III. IP-SCCC의 천공

부호율에 따라 여러 개의 부호기와 복호기를 사용하는 것보다 천공에 의해 부호율을 변화시키는 것이 더

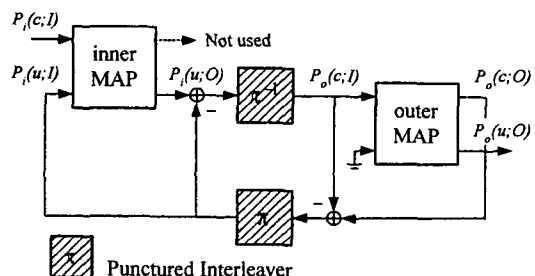


그림 3 IP-SCCC의 복호기
Fig. 3 Decoder of IP-SCCC

간단하면서 실용적이라는 것은 잘 알려진 사실이다.

동시에 IP-SCCC 또한 인터리버를 천공하는 간단한 방법으로 다양한 부호율의 생성이 가능하다. 그러나 천공을 할 때는 고려해야 할 점이 있다. 천공 행렬에 따라 여러 가지 형태의 천공이 존재 할 수 있는데 그 중 가장 좋은 성능을 보이는 행렬을 찾아야 한다는 것이다.

실험에서 사용한 외부 부호기는 1/2의 부호율을 갖는 RSC부호화기이므로 본 논문에서는 성능을 높이기 위해 정보 비트는 천공을 하지 않는 것을 원칙으로 한다. 또한 터보코드는 각 부호화기의 거리 분포가 성능에 미치는 영향이 크므로 패리티 비트 천공시 거리 분포에 대한 영향을 최소화하는 구조로 천공 행렬을 구해야 한다. 각 부호율에 따라 실험을 통해 얻은 천공 행렬 $P_1 \sim P_7$ 을 표 1에 정리해서 나타낸다.

IV. 실험 및 결과

실험에서는 본 논문에서 제안한 IP-SCCC로 부호화 과정을 거친 부호어를 BPSK(Binary Phase Shift Keying)로 변조한다는 가정하에 부가 백색 가우시안 잡음(AWGN)이 존재하는 채널로 모델링 한다.

1. AWGN 채널 모델링

IP-SCCC의 부호화기를 거쳐서 생성된 부호어를 d_k 라 할 때 n_k 는 (1)식과 같이 나타낼 수 있다.

$$r_k = (2d_k - 1) + n_k \quad (1)$$

여기서 n_k 는 부가 백색 가우시안 잡음으로서 (2)식과 같다.

$$n_k = \sigma N(0,1) \quad (2)$$

또한 σ 는 (3)식으로 표현된다.

$$\sigma^2 = \left(2R \frac{E_b}{N_0} \right)^{-1} \quad (3)$$

여기서 R 은 정보 비트에 대한 전송 비트율을 나타내며 N_0 는 잡음 밀도, 그리고 E_b 는 비트당 에너지를 의미한다.

2. 시스템 구성

실험에서 사용한 IP-SCCC의 구성부호기는 그림 1에 보여진 것처럼 표 2에 주어진 생성 다항식의 컨벌루션 부호기를 내부와 외부 부호기에 동일하게 적용한다. 따라서 천공을 하지 않을 경우 1/4의 채널 부호율을 갖는다.

인터리빙은 S-Random 인터리빙하는 것과 동일한 방법을 적용한다. S-Random 인터리버는 기존의 랜덤 인터리버와 비슷하나 임의의 위치에서 S만큼 떨어져야

표 1 부호율에 따른 천공 행렬

Table 1 Puncturing matrix according to coding rate

부호율	천공 행렬
$R = 4/15$	$P_1 = \begin{bmatrix} 11111111 \\ 11101111 \end{bmatrix}$
$R = 4/14 = 2/7$	$P_2 = \begin{bmatrix} 11111111 \\ 11101110 \end{bmatrix}$
$R = 4/13$	$P_3 = \begin{bmatrix} 11111111 \\ 11011010 \end{bmatrix}$
$R = 4/12 = 1/3$	$P_4 = \begin{bmatrix} 11111111 \\ 10101010 \end{bmatrix}$
$R = 4/11$	$P_5 = \begin{bmatrix} 11111111 \\ 10100100 \end{bmatrix}$
$R = 4/10 = 2/5$	$P_6 = \begin{bmatrix} 11111111 \\ 10001000 \end{bmatrix}$
$R = 4/9$	$P_7 = \begin{bmatrix} 11111111 \\ 10000000 \end{bmatrix}$

표 2 컨벌루션 부호 코드의 생성 다항식

Table 2 Generation polynomial of Convolutional Code

부호율	부호화 방식	생성다항식G(D)
1 / 2	R S C	$\left[1, \frac{1+D^2}{1+D+D^2} \right]$

한다는 제약 조건이 따른다. 인터리버의 길이가 N 이라 할 때 일반적으로 $S < \sqrt{N/2}$ 가 되도록 S 를 정한다.

실험에서는 그림 3과 같은 구조의 복호기를 사용한다. 또한 성능이 우수한 log-MAP(Maximum A Posteriori)알고리즘을 사용해서 복호를 한다. MAP알고리즘은 각 정보 비트에 대한 사후확률의 정확한 추정 가능성이 가능하나 알고리즘의 복잡성 때문에 구현이 불가능하다. 그러나 log-MAP 알고리즘은 log-domain에서 알고리즘을 수행하기 때문에 곱셈을 덧셈으로 계산할 수 있기 때문에 알고리즘의 복잡성이 줄어든다.

3. 실험 결과

본 실험에서는 인터리버의 길이 N 이 512일 때 인터리버 천공 행렬 $P_1 \sim P_7$ 에 대한 성능변화를 고찰한다.

그림 4는 다양한 채널 부호율에 따른 오류율을 나타낸 것이다. 이 결과로부터 채널 부호율이 감소함에 따라 IP-SCCC의 성능이 좋아짐을 알 수 있다.

그림 5는 신호 대 잡음비가 2.0dB인 곳에서 각 채널 부호율에 따른 오류율을 나타낸 것이다. 이 결과에서

부호율이 증가함에 따라 비트 오류율(BER)이 지수함수적으로 증가함을 알 수 있다. 또한 낮은 부호율에서는 천공에 따른 오류율의 변화가 적은 반면 부호율이 높아질수록 변화가 커진다.

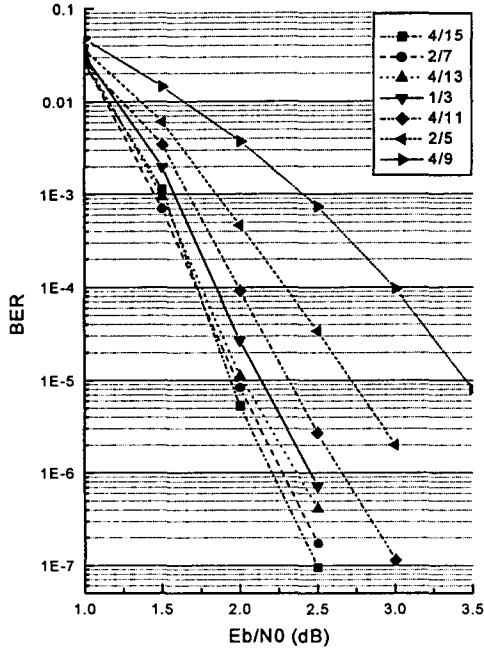


그림 4 부가 백색 가우시안 잡음 채널에서 천공에 따른 성능 변화 ($N=512$, 4번 반복)

Fig. 4 The performance according to puncturing at the AWGN channel ($N=512$, 4 iteration)

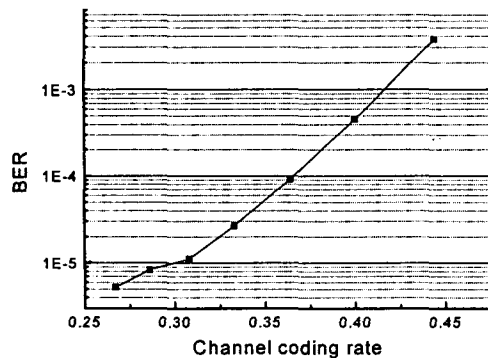


그림 5 2.0dB에서 채널 부호율에 따른 성능 변화 ($N=512$, 4번 반복)

Fig. 5 The performance according to channel coding rate in 2.0dB ($N=512$, 4 iteration)

V. 결론

인터리버를 천공하는 것으로 다양한 부호율을 생성할 수 있음을 실험으로 확인했다. 그러나 너무 많은 천공은 성능을 저하시키는 원인이 되므로 적절한 선택이 필요하다.

부호화 과정에서 RCPC코드를 사용해서 천공을 한 후 복호시 동일한 위치에 더미비트를 추가해 내부 복호기를 거치는 RCP-SCCC는 천공에 관계없이 동일한 시간지연을 갖는다. 반면에 IP-SCCC는 내부 복호기를 거치는 부호어의 길이가 천공을 많이 하면 할수록 더욱더 작아지므로 반복복호로 인해 발생하는 시간 지연과 전력소모를 줄일 수 있는 장점을 갖는다.

참고문헌

- [1] J. Hagenauer, "Rate compatible punctured convolutional codes(RCPC codes) and their applications." *IEEE Trans. Comm.*, vol. 36, pp. 389~400, Apr. 1988
- [2] Ömer F. Açikel and William E. Ryan, "Punctured Turbo codes for BPSK/QPSK Channels", *IEEE Trans. Comm.*, vol. 47, no. 9, pp.1315~1323, Sep. 1999
- [3] 이범용, 윤원식, "무선 ATM 시스템에서 RCPSCCC (Rate Compatible Punctured Serial Concatenated Convolutional Codes)를 이용한 적응 하이브리드 ARQ 기법", *한국통신학회논문지*, Vol. 25, No. 3A, 406~411, 2000.3
- [4] C. Berroe, A. Galviex, and P. Thitimajshima, "Near Shannon limit error-correcting coding and decoding : Turbo-codes", *Proc. ICC'93*, Geneva, Switzerland, pp. 1064~1070, May 1993
- [5] S. Benedetto, D. Divsalar, G. Montorsi, F. Pollara, "Serial Concatenation of Interleaved Codes: Performance Analysis, Design, and Iterative Decoding", *IEEE Trans. Information*, vol. 44, No. 3, May 1998
- [6] Yufei Wu, *Design and Implementation of Parallel and Serial Concatenated Convolutional Code*, Ph.D thesis, Virginia Tech, May 1999
- [7] 이연문, 조경식, 정차근, "IP-SCCC에 의한 채널 부호화 방법의 성능 분석", 2000년도 하계 종합 학술대회 발표 논문집