

論文2000-37TE-12-9

# TC-16ADPSK을 사용한 이중 정보 동시 전송용 변조방식의 성능 분석

## (Analysis of a TC-16ADPSK Performance for Transmitting Different Information on One Channel Simultaneously)

李 垣 錫\*, 姜 熙 勳\*\*, 李 成 栢\*\*

(Won-Seok Lee, Hee-Hoon Kang, and Sung-Paik Lee)

### 요 약

본 논문에서는 TC-16ADPSK(Trellis Coded-16 Amplitude Differential Phase Shift Keying)를 사용하여 데이터 량이 서로 다른 정보(Information)를 동시 전송하기 위한 방식을 제안한다. 제시한 시스템의 성능 분석은 부가적인 화이트 가우시언 잡음(AWGN: Addictive White Gaussian Noise) 채널과 레일리 페이딩(Rayleigh Fading) 채널에 대한 비트오율(Bit Error Rate)을 기준으로 한다. 제안한 방식은 정보 량이 다른 두 가지 정보를 한 채널에 동시 전송하며 적은 량의 데이터는 Star-16APSK의 신호 격자중에 크기를 결정도록 매핑하고 다른 정보는 위상을 결정하는데 사용된다. 정보 데이터 검파시 ASK와 DPSK 다른 검파 방식을 사용하므로 통합된 정보가 쉽게 분리되며 한 채널에 각각 다른 정보를 효율적으로 전송이 가능하다. 매트랩 통신 툴박스를 사용하여 BER 성능 결과를 분석한 결과, 제안한 방식은 동일 SNR에 대해서 그레이 코드를 사용한 경우가 0.5dB-1.5dB 정도의 코딩 이득을 나타내었다.

### Abstract

A TC-16ADPSK scheme for transmitting different kinds of information simultaneously is proposed in this paper. The scheme is designed for simultaneously transmitting two kinds of Information on one channel. In signal mapping, a data of two kinds of information is used to phase modulation on Star-16APSK constellation and the other to amplitude modulation. In detection, each data independently recovers from mixing signal on each detector. Therefore, we can transmit two kinds of Information on one channel can be transmitted efficiently. BER performance of the proposed scheme is analyzed on AWGN channel and Rayleigh fading channels on a computer with Matlab communication toolbox. On same SNR, the Gray code mapping has more 0.5-1.5dB coding gains than Ungerboeck's code mapping gains.

### I. 서 론

\* 正會員, 東洋工業專門大學 電氣電子通信工學部

(School of Electrical, Electronics and Communication, Dongyang Technical College)

\*\* 正會員, 光云大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Engineering, Kwangwoon University)

接受日字:2000年9月5日, 수정완료일:2000年11月17日

최근, 통신 사용자의 증가와 더불어 정보의 종류와 양도 급격히 증가하고 있다. 따라서 채널을 효율적으로 사용하기 위해 많은 연구가 진행되어 왔다. 채널의 효율성을 높이기 위한 여러 방식들은 MPSK(Multiple Phase Shift Keying)나 MAPSK(Multiple Amplitude Phase Keying) 또는 확산 방식을 이용한 사용자의 다

중 접속, 또는 유연성을 가지는 동시 전송 방식들이 있다.<sup>[1,2]</sup>

I-Q(Inphase - Quadrature) 변조방식의 장점은 신호 사이의 직교성을 유지하며 이는 동기 검파시에 시스템이 좋은 BER 성능을 갖는 것이다. 그러나 페이딩 채널에서는 신호의 크기와 위상이 변하기 때문에 동기검파가 어려워지므로 본 논문에서는 차동검파 방식을 사용한다.<sup>[3,4]</sup>

TCM(Trellis Coded Modulation)<sup>[5,6,7]</sup>방식은 비 부호화한 데이터 전송에 대해서 데이터 전송율을 변화시키지 않고, 잡음에 대한 면역성을 얻을 수 있으며 전송전력과 소요 대역의 증가 없이 디지털 통신의 신뢰성을 개선시킨다. 따라서 대역 제한된 환경에서 심볼수가 높은 변조 방식을 사용함으로써 주파수 효율을 개선한다. 이 경우 동일한 BER 성능을 얻기 위해서 더 큰 신호 전력이 필요하게 된다.

본 논문에서는 TC-16ADPSK을 사용하여 독립적인 정보를 한 채널에 동시에 전송하는 변조 방식을 채택하여 각 정보의 BER 성능을 제시한다. 데이터 량이 적은 정보( $I_2$ )를 전송하기 위해서 2ASK에 적용하고 데이터 량이 많은 정보( $I_1$ )를 전송하기 위해서 8DPSK의 위상변조를 적용하였다.

II. 시스템 모델

TC 16ADPSK는 그림 1과 같이 기존의 원형(Star)16-QAM 방식의 신호 격자점을 사용한다.

그림 1에서 나타난 것처럼 두 개의 8PSK로 구성되어 있다. 크기 레벨은 L과 H로 2ASK을 적용할 때, 심

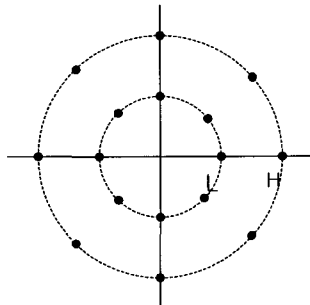


그림 1. 16ADPSK의 신호 격자도  
Fig. 1. Constellation of 16ADPSK.

볼 구간 동안 각 비트에 부합하는 값을 매핑한다. 위상변조에 부합하는 데이터는 차동 변조코와 비터비 알고리즘을 사용한다.

그림 2는 제안한 방식의 시스템 블록도를 나타낸다

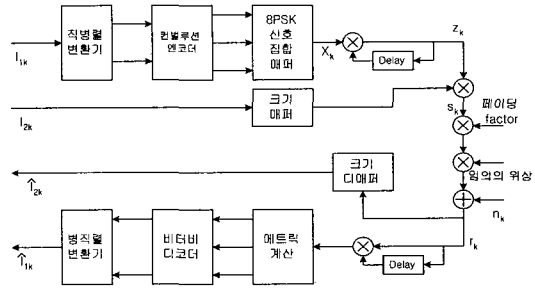


그림 2. 제안한 변조 방식  
Fig. 2. The proposed TCM scheme.

정보( $I_1$ )은 직, 병렬 변환기를 통해서 직렬 시퀀스가 병렬 2비트 시퀀스화되고 이 병렬 시퀀스는 2/3 컨벌루션 엔코더 입력으로 사용된다. 이때 부호화된 출력은 식(1)과 같다.

$$I_{1k} = (i_{Lk}^1, i_{Lk}^2, i_{Lk}^3) \tag{1}$$

이 부호화된 데이터  $i_{Lk}^1, i_{Lk}^2, i_{Lk}^3$ 는 8DPSK 신호로 매핑된다. 정보( $I_2$ )는 부호화하지 않고 2ASK에 매핑된다.

그림 3은 그레이 코드에 기초한 Set Partitioning을 나타낸다. 시스템의 8DPSK부에 대해, 8DPSK 심볼  $X_{1k}$ 에 대한 식은  $i_{Lk}^1, i_{Lk}^2, i_{Lk}^3$ 을  $X_{1k}$ 로 매핑하여 구하며 식 (2)와 같다.

$$X_{1k} = e^{j\Delta\phi_k} \tag{2}$$

여기서  $X_{1k}$ 로 매핑함에 있어, 그레이 코드에 기초한 8PSK 신호 격자점 배치를 사용한다. 그림 3은 그레이 코드에 기초한 신호 매핑시 하부집합을 나타낸다.

$$S_1^0 = \left\{ \Delta\phi: \Delta\phi(m) = \frac{m}{4} \pi, m = 0, 3, 4, 7 \right\}$$

$$S_2^0 = \left\{ \Delta\phi: \Delta\phi(m) = \frac{m}{4} \pi, m = 0, 1, 6, 7 \right\}$$

$$S_3^0 = \left\{ \Delta\phi: \Delta\phi(m) = \frac{m}{4} \pi, m = 0, 1, 2, 3 \right\} \tag{3}$$

$$S_i^1 = \Omega - S_i^0, \quad i = 1, 2, 3 \tag{4}$$

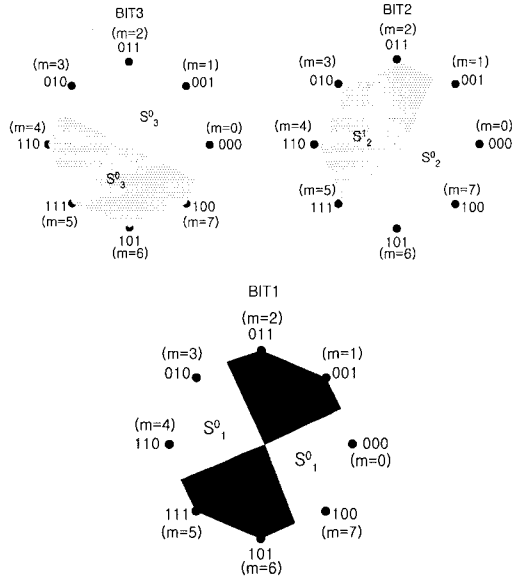


그림 3. 그레이코드 신호매핑  
Fig. 3. Waveform mapping to Gray codes.

채널상에 전송하기 전에,  $X = (x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{Lk})$ 인 부호화된 시퀀스는 다시 차동 부호화되어 식 (5)와 같이 된다.

$$z_k = z_{k-1} X_k = e^{j(\phi_{k-1} + \Delta\phi_k)} = e^{j\phi_k} \quad (5)$$

2ASK에 대해, 전송된 신호 크기의 시퀀스 A는 식 (6)과 같다.

$$A = (a_{1k}, a_{2k}, \dots, a_{Lk})$$

$$A_k = \begin{cases} L & I_{2k} = 0 \\ H & I_{2k} = 1 \end{cases} \quad (6)$$

전송된 신호 시퀀스는 식 (7)과 같다.

$$s_k = A_k \sqrt{2E_s} z_k = A_k \sqrt{2E_s} e^{j\phi_k} \quad (7)$$

여기서  $E_s$ 는 16ADPSK 신호의 심볼 에너지이다.

송신된 신호  $s_k$ 에 대해서 부가적인 화이트 가우시언 잡음(AWGN : Additive White Gaussian Noise)채널을 통해서 신호는 식 (8), 레일라이 페이딩 채널을 통해서 수신된 신호는 식 (9)와 같다.

$$r_{kg} = s_k + n_k \quad (8)$$

$$r_{kr} = \sigma_k e^{j\theta_k} s_k + n_k \quad (9)$$

여기서  $\sigma_k, \theta_k, n_k$ 는 각각 페이딩 인자, 채널의 임의의 위상왜곡, AWGN이다.

레일라이 불규칙 변수(Rayleigh random variable)  $\sigma_k$ 에 대한 확률밀도 함수는 식 (10)과 같다<sup>[9,10]</sup>.

$$f(\sigma) = \begin{cases} 2\sigma e^{-\sigma^2} & \sigma \geq 0 \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (10)$$

$\theta_k$ 는 구간  $(-\pi, \pi)$ 에서 일정한 확률 분포를 갖는 불규칙 변수이다.

수신기의 8DPSK의 검파시에 필요한 매트릭 계산에서, 비트 매트릭(Bit-Metric)은 부호화된 3개의 비트에 대해서 계산된다. 식 (2)와 식 (3) 그리고 그림 3으로부터 8DPSK에 대한 비트-메트릭에 부합하는  $c_k^1, c_k^2, c_k^3$ 에 대한 비트-메트릭은 식 (11)과 같다.

$$\eta_k(i, c) = \max_{\Delta\phi \in \phi_i} \{r_{k-1}^* r_k e^{-j\Delta\phi}\}$$

$$i = 1, 2, 3 \quad c = 0, 1 \quad (11)$$

이후, 디코더는  $C_k = (c_k^1, c_k^2, c_k^3)$ 의 모든 가능성에 부합하는 비트-메트릭의 합인 가지-메트릭(Branch Metric)을 계산한다. 시각 k에서 가지-메트릭은 식(12)와 같다.

$$\eta(c_k) = \sum_{i=1}^3 c_k^i \eta_k(i, 1) \quad (12)$$

마지막으로, 비터비 알고리즘을 이용한 최대 확률 시퀀스 산출(Maximum-likelihood sequence estimation)은 길이 L인 데이터 시퀀스를 디코딩하기 위해서 식 (13)으로 주어진 경로 메트릭을 사용한다.

$$\eta(C) = \sum_{k=1}^L \eta(C_k) \quad (13)$$

그림 4와 그림 5는 각각 시뮬레이션에 사용된 엔코더를 나타낸다. 각각 저장 장치가 2개인 4-상태 2/3 컨벌루션 엔코더와 3개인 8-상태 2/3 컨벌루션 엔코더를 나타낸다. 그림 6(a)는 Ungerboeck 신호 매핑, 그림 6(b)는 그레이 코드에 기초한 신호 매핑을 나타낸다.

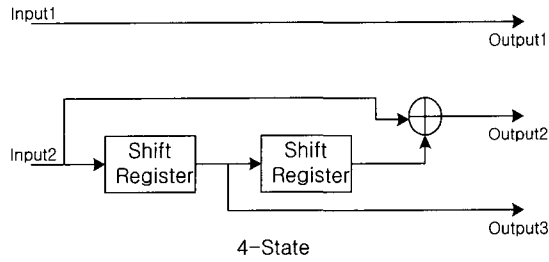


그림 4. 2/3 컨벌루셔널 엔코더 (4-상태)  
Fig. 4. 2/3 convolutional encoder with 4-state.

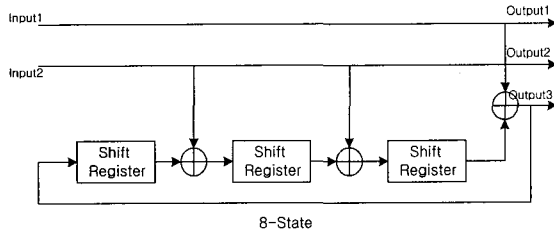


그림 5. 2/3 컨벌루셔널 엔코더 (8-상태)  
Fig. 5. 2/3 convolutional encoder with 8-state.

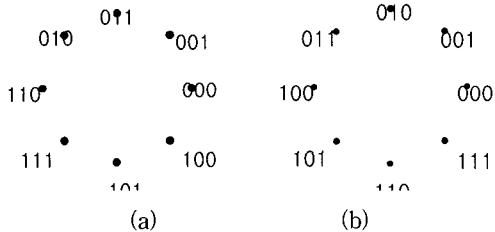


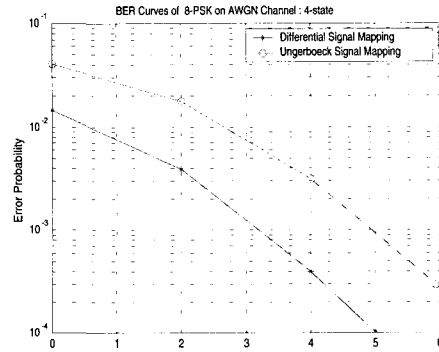
그림 6. (a) Ungerboeck 신호 매핑 (b) 그레이 코드 신호 매핑

Fig. 6. Signal Mapping : (a) Ungerboeck signal mapping (b) Gray code signal mapping.

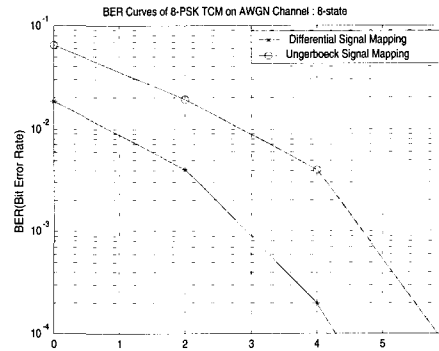
III. 시뮬레이션 결과

AWGN 채널과 Rayleigh 페이딩 채널에 대해서 그레이 신호 매핑에 의한 차동 전송과 Ungerboeck 신호 매핑에 의한 전송시 BER(Bit Error Rate) 성능을 비교 분석한다. 시뮬레이션 툴은 Matlab 5.3 통신 툴 박스를 사용한다. 시뮬레이션 데이터 량은 각각 임의의 비트 20,000개와 10,000개를 사용한다. 그림 6(a)는 가우시언 채널에 대해서, 4상태 엔코더를 사용한 경우, 그레이 코드에 의한 신호 매핑으로 차동 전송시에 Ungerboeck 신호 매핑에 비해서 약 1.5dB정도 향상된 코딩 이득을 나타내었다. 그림 6(b)는 가우시언 채널에 대해서 8-상

태 엔코더에 대한 코딩 이득을 나타낸다. 그레이 코드 신호매핑이 8-상태 엔코더를 사용한 경우, 대략 1dB정도 개선되었다. 그림 7은 페이딩 채널에 대한 BER 성능을 나타낸다. 그레이 코드를 사용한 경우가 4-상태나 8-상태 엔코더를 사용한 경우 대략 0.5dB정도 코딩



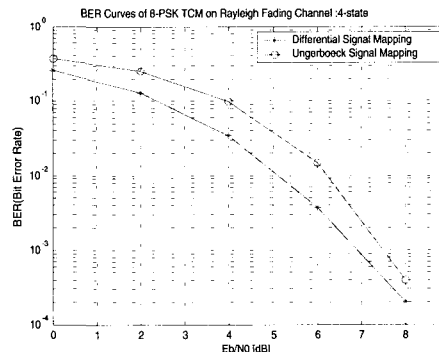
(a)



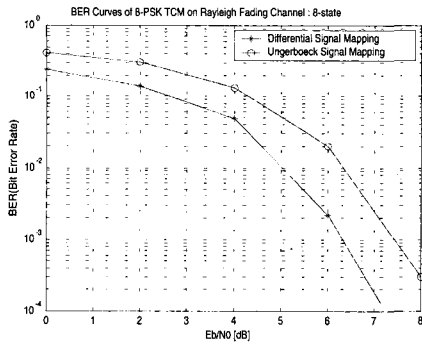
(b)

그림 6. 부가적인 화이트 가우시언 채널상의 BER성능 : (a) 4-상태 2/3 엔코더 (b) 8-상태 2/3 엔코더

Fig. 6. BER Performance on AWGN Channel : (a) 4-state 2/3 encoder (b) 8-state 2/3 encoder.



(a)



(b)

그림 7. 레일리 페이딩 채널상의 BER 성능 : (a) 4-상태 2/3 엔코더 (b) 8-상태 2/3 엔코더

Fig. 7. BER Performance on Rayleigh fading channel : (a) 4-state 2/3 encoder (b) 8-state 2/3 encoder.

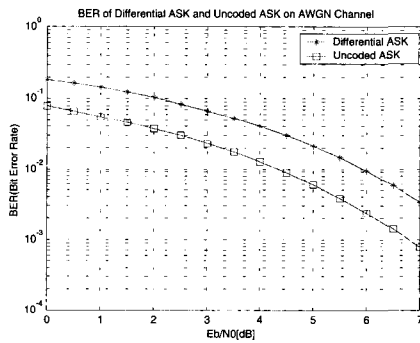


그림 8. (a) 차동2ASK와 2ASK의 성능  
Fig. 8. (a) BER performance of 2DASK and 2ASK.

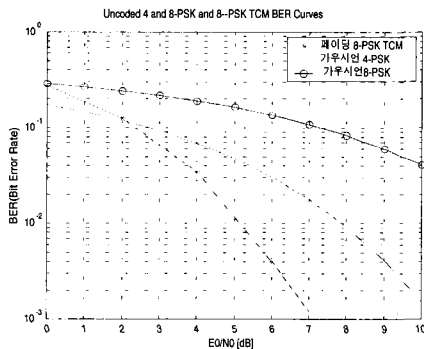


그림 8. (b) 레일리 페이딩 채널상에서 8-TCM과 가우시언 채널에서 QPSK와 8-PSK 성능  
Fig. 8. (b) 8-TCM on Rayleigh fading and QPSK and 8-PSK on AWGN Channels.

이득이 향상됨을 나타낸다. 두 가지 독립적인 정보는 한 채널에 전송되어도 검파시에 독립적인 검파와 판별

을 함으로 서로의 BER 성능에 영향을 미치지 않는다. 그림 8은 가우시언 채널에서 2ASK의 차동 전송과 비부호화 전송시 BER 성능을 나타낸다. 차동 전송의 경우가 성능이 다소 떨어진다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 음성과 다른 정보(예를 들어 팩스, 전자 우편, 문자 전송 등등)을 하나의 통신 채널에 통합하기 위한 변조 방식을 제안하고 성능을 분석하였다. 이러한 방식은 GPS(Global Positioning System)이나 앞으로 HDTV에 화상과 음성의 동시 전송에 적용이 가능하다. 본 논문에서 연구한 변조방식은 이중의 정보를 동시에 한 채널에 전송이 가능하다. 그 이유는 검파시, 각 정보를 판별하는 검파 방식이 서로 독립적이므로 이중의 정보가 전송시에 통합되어도 쉽게 각각의 정보로 복원 할 수 있기 때문이다. 앞으로 연구는 진폭 변조에 다비트 전송을 응용할 경우, 적당한 심볼수를 사용하여 다중 크기로 매핑함으로써 정보를 전송에 관련된 것이 된다. 이 경우 성능 분석과정을 제안한 방식과 동일한 과정을 갖는다. 에러율을 줄이기 위해서 인터리버 (Interleaver)의 사용과 디코딩 시에 반복 루프를 사용하여 신호를 복원하는 방식과 최적으로 부호화 할 수 있는 최적 부호화기 설계에도 연구가 진행되어야 한다. (본 논문은 2000년도 광운대학교 학술지원비로 연구되었습니다.)

#### 참 고 문 헌

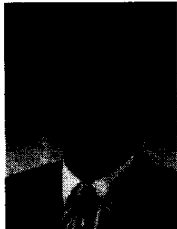
- [1] John G. Proakis, and Masoud Salehi, "Contemporary communication systems using Matlab" ITP, 1998.
- [2] John G. Proakis, "Digital Communications Third Edition", Mcgraw Hill, 1995.
- [3] F. Adachi, and Sawahashi, "Performance analysis of various 16 level modulation scheme under Rayleigh Fading", Electronic letters. vol. 28, pp. 1579-1581, Aug., 1992.
- [4] T. Suzuki, and T. Mizuno, "Multiple-symbol differential detection for differential encode amplitude modulation signals and its application to 16DAPSK", IEICE Trans. Comm. vol. j77,

- BIJ, no. 3, pp. 739-748, Dec. 1994.
- [5] Christian Schlegel, and Lance Perez, "Trellis coding", IEEE Press, 1997.
- [6] Ezio Biglieri, Dariush Divsalar, Peter J. McLane, and Marvin K. Simon, "Introduction to Trellis-Coded Modulation with applications", Macmillan Publishing, 1991.
- [7] Bernard Sklar, "A tutorial on convolution coding for M-ary signals : Trellis-Coded Modulation", IEEE Trans. Comm. vol. 35, no. 1, pp. 637-645, 1988.
- [8] G. Ungerboeck, "Channle coding with multilevel/phase signals", IEEE Trans. Inform Theory. vol. 28, pp. 55-67, Jan. 1982.
- [9] E. Zehavi, "8PSK trellis codes of Rayleigh channel", IEEE Trans. Comm. vol. 40 no. 5 pp. 873-884, May. 1992.
- [10] G. S. Muller, and C. K. Pauw, "Trellis code Modulation on Rayleigh fading channel", IEEE Trans. Comm. vol. 36, no. 3, pp. 1115-1118, 1989.

---

 저 자 소 개
 

---



李 垣 錫(正會員)

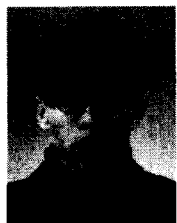
1976년 광운대학교 응용전자공학과 학사 졸업. 1979년 한양대학교 전자통신공학과 석사 졸업. 1997년 8월 광운대학교 전자공학과 박사과정 수료. 1980년 3월~현재 동양공업전문대학 전기전자통신공학부 교수. 주요 관심 분야 :

채널 코딩, 변/복조, RF 전송기술



李 成 栢(正會員)

1965년 한양대학교 전자공학과 학사 졸업. 1987년 한양대학교 전자공학과 박사 졸업. 현재 광운대학교 전자공학과 교수. 주요 관심 분야 : RF, PLL 주파수 합성, 변/복조, EMI Measuring



姜 熙 勳(正會員)

1997년 8월 서울 산업대학교 전기공학과 학사 졸업. 1999년 2월 광운대학교 전자공학과 석사 졸업. 2000년 3월~현재 광운대학교 전자공학과 박사과정. 주요 관심 분야 : 변/복조, 채널 코딩, 적응 필터

채널 코딩, 적응 필터