

디지털 이동통신을 위한 비트 선택적 에러정정부호

양 경철 이 재홍
서울대학교 전자공학과

Bit-selective Forward Error Correction for Digital Mobile Communications

Kyeongcheol Yang Jae Hong Lee
Department of Electronics Engineering
Seoul National University

Abstract

In digital mobile communications received speech data are affected by burst errors as well as random errors. To overcome these errors we propose a bit-selective forward error correction scheme for the speech data which is sub-band coded at 13 kbps and transmitted over a 16 kbps channel. For a few error correcting codes the signal-to-noise ratio of error-corrected speech is obtained and compared through the simulation of mobile communication channels.

I. 서론

디지털 이동통신(digital mobile communications)에서는 음성신호를 디지털 데이터의 형태로 송수신한다. 디지털 이동통신 채널에는 부가적 백색잡음(additive white Gaussian noise: AWGN)에 의한 산발에러(random error)뿐만 아니라 복수 경로에 의한 Rayleigh 페이딩(fading), 신호간의 간섭등에 의한 연접에러(burst error)가 불가피하게 발생한다 [1], [2], [3]. 이러한 에러의 결과로 수신된 음성신호는 왜곡 또는 망실되는데, 이러한 음성신호의 열화를 극복하기 위한 방법으로 에러정정부호(error correcting codes 일명 FEC: forward error correction)를 사용한다. 디지털 이동통신에 사용되는 에러정정부호는 산발에러 및 연접에러 정정능력이 우수해야 하고, 디지털 이동통신의 전송율은 상한이 16 Kbps 이므로 [1] 에러정정부호의 부호화율이 이 규정에 적합해야 하며, 또한 하드웨어 구현이 용이해야 한다. 이러한 요구를 만족하는 에러정정기술로서 중요한 비트들만 선택적으로 보호하는 비트 선택적 에러정정부호(bit-selective forward error correction: BS-FEC)를 고려한다.

디지털 이동통신에 사용되는 신호원 부호화(source coding) 방법에는 APC (adaptive predictive coding) [4]와 SBC (sub-band coding) [4], [5] 등이 있는데 APC와 BS-FEC를 결합한 이동통신방식이 연구된 바 있다 [6].

본 논문에서는 전송율이 16 Kbps 인 이동통신에서 신호원 부호화기법으로 13 Kbps SBC를 사용할때 이에 적합한 BS-FEC를 찾고 그에 따른 성능을 비교 분석한다.

II. SBC를 위한 BS-FEC의 선택기준

디지털 이동통신에서 전송대역폭의 제한으로 인한 전송율의 상한규정과 SBC 음성신호의 특성은 에러정정부호에 일정한 제약을 갖게하여 선택의 폭을 줄인다. BS-FEC의 선택기준은 다음과 같다.

첫째, 비트를 선택적으로 취하여 에러정정부호를 적용해야 하기때문에 길쌈부호(convolutional code)는 부적합하며, 블록부호(block code)를 선택대상으로 한다.

둘째, 13 Kbps SBC로 부호화된 음성신호는 기본구조가 그림 1에 나타난 바와 같이 13비트로 구성되어 있으며, 주파수대역1과 주파수대역2가 저주파수 대역으로서 다른 대역보다 중요하다 [7]. 그리고 각각의 주파수대역에서는 부호비트, 최상위비트등이 중요하다 [8]. 따라서 에러정정부호를 적용할 비트가 3비트일때는 주파수대역1의 부호비트와 최상위비트 및 주파수대역2의 부호비트를 선택하고, 4비트일때는 주파수대역1과 2의 부호비트와 최상위비트를 각각 선택한다.

셋째, 13 Kbps SBC 음성신호에 3 Kbps의 리던던시(redundancy)를 추가하여 16 Kbps의 전송율로 음성신호를 보내기 때문에 SBC데이터의 각각의 기본구조에 3비트를 추가하는 것이 된다. 따라서 블록부호의 블록길이를 n, 정보심볼수를 k라 하면 선택대상이 되는 에러정정부호의 부호화율 k/n는 둘째 선택기준을 함께 고려할때 1/2 또는 4/7이다.

넷째, 음성신호의 특성과 신호처리로 인한 시간지연등을 고려하여 하나의 부호어(codeword)를 구성하는데 필요한 기본구조의 갯수를 제한할 필요가 있으므로 있으며, 하나의 부호어당 기본구조의 갯수가 10개를 넘지않는 범위내에서 에러정정부호를 선택한다.

III. SBC를 위해 선택된 BS-FEC

앞절에서 살펴 보았듯이, BS-FEC의 부호화를 k/n는 1/2 또는 4/7이어야 한다. 그러나, 부호화를 k/n가 1/2 또는 4/7인 (n, k) 블록부호가 많이 사용되는 Hamming 부호, BCH 부호, Reed-Solomon 부호들 중에는 거의 없기 때문에 [9], [10] 본 논문에서는 이들 부호들을 다음과 같이 약간 수정함으로써 원하는 부호화율을 갖는 에러정정부호를 얻었다.

먼저, 에러정정능력이 t, 부호화를 k/n가 $1/2 < k/n < 5/8$, 생성다항식(generator polynomial)이 g(x)인 (n, k, t) 선형블록부호를 택한다. k개의 심벌로 된 정보와 이에 대응되는 부호어는 각각 다음과 같은 다항식 i(x)와 c(x)로 표현된다.

$$i(x) = \sum_{j=1}^{k-1} i_j x^j \quad (1)$$

$$c(x) = \sum_{j=0}^{n-1} c_j x^j \quad (2)$$

또한, i(x)와 c(x), 그리고 g(x)사이에는 다음과 같은 관계가 있다[8],[9].

$$c(x) = i(x) \cdot g(x) \quad (3)$$

따라서, $i_{k-j} = 0$ ($j=1, 2, \dots, k-k'$)이면 $c_{n-j} = 0$ ($j=1, 2, \dots, k-k'$) 이 된다. 그러므로 정보심벌중에서 (k-k')개의 상위심벌들이 항상 0일때, 부호어의 (k-k')개의 상위성분들은 항상 0이므로 이 성분들을 채널을 통해 전송하지 않고 단지 송수신기에서 부호화와 복호화시 서로 고려를 해 준다면 (n, k, t) 선형블록부호를 새로운 (n-k+k', k', t) 선형블록부호로 생각할 수 있고, 새로운 부호화를 k'/(n-k+k')이 1/2 또는 4/7가 되도록 k'을 선택함으로써 원하는 부호화율을 갖는 에러정정부호를 얻을 수 있으며, 이렇게 얻어진 BS-FEC는 다음과 같다.

- a) 부호화를 k/n가 1/2인 BS-FEC: 주파수대역1의 부호비트와 최상위비트 및 주파수대역2의 부호비트 등 3비트를 보호하기 위해 적용할 수 있는 에러정정부호로는 (31, 16, 3) BCH 부호에서 (30, 15, 3) 부호를, (63, 36, 5) BCH 부호에서 (54, 27, 5) 부호를, 그리고 (15, 9, 3) Reed-Solomon 부호에서 (12, 6, 3) 부호 등 3개의 부호를 얻었다.
- b) 부호화를 k/n가 4/7인 BS-FEC: 주파수대역1과 2의 부호비트와 최상위비트 등 4비트를 보호하기 위해 적용할 수 있는 에러정정부호로는 (7, 4, 1) Hamming 부호, (63, 36, 5) BCH 부호, (63, 39, 4) BCH 부호에서 얻어진 (56, 32, 4) 부호, (15, 9, 3) Reed-Solomon 부호에서 얻어진 (14, 8, 3) 부호 등 4개의 부호가 있다.

IV. BS-FEC의 적용방법과 성능 평가기준

1. 13 Kbps SBC 음성신호의 기본구조와 BS-FEC의 결합

BS-FEC를 13 Kbps SBC 음성신호에 적용할때 BS-FEC의 부호어와 기본구조사이의 명확한 관계의 정립이 필요하다. BS-FEC를 위해서 13비트로 된 하나의 기본구조에 3비트만을 추가하므로 BS-FEC의 하나의 부호어를 구성하는데 필요한 기본구조의 갯수는 3과 (n-k)의 최소공배수로 결정되며, Reed-Solomon 부호의 경우는 하나의 심벌이 여러 개의 비트로 구성되는 것을 더 고려해 주어야 한다.

또한, 기본구조의 13비트중 3비트 또는 4비트가 선택되고 여기에 기본구조당 3비트씩 추가되어 BS-FEC의 부호어를 구성하게 되므로, 부호어 비트중에서 6비트 또는 7비트가 각각의 기본구조에 할당되어 배열되게 된다. 이때 부호어 비트들을 배열하는 과정에서 연결애러를 산발애러로 바꾸어 효율적으로 대처하기 위해서 6-7개의 부호어 비트들과 기본구조에서 보호되지 않는 9-10개의 비트들을 인터리빙(interleaving)하여 그림 2 와 같이 배열하였다. 그리고 그림 3 에 전체 시스템(system)의 구성도를 나타내었다.

2. BS-FEC의 성능 평가기준

본 논문에서는 에러정정부호의 성능에 대한 판단척도로 SNR (signal-to-noise ratio)를 사용하였는데, 그 정의는 다음과 같다. 송신측에서의 음성신호를 s(n), 수신측에서 복원한 음성신호를 $\hat{s}(n)$ 이라 할때,

$$SNR = 10 \log \frac{s(n)^2}{(s(n) - \hat{s}(n))^2} \quad (4)$$

로 정의하였다 [8].

V. 시뮬레이션 결과 및 검토

본 논문에서는 이동통신의 채널특성으로 인한 에러패턴(error pattern)을 얻기 위해 변조방식은 DPSK (differential phase shift keying)로 선택하였고, 채널로는 Rayleigh fading simulator를 사용하였다 [7].

1. Binary-DPSK로 변조시 BS-FEC의 성능

Binary-DPSK로 변조할때 k/n가 1/2인 경우는 (30, 15, 3) BCH 부호와 (54, 27, 5) BCH 부호가 성능이 거의 비슷하나 (30, 15, 3) BCH 부호가 약간 더 우수하며, k/n가 4/7일때는 (63, 36, 5) BCH 부호가 다른 부호에 비해 우수함을 그림 4 에서 알았다. BCH 부호가 Reed-Solomon 부호에 비해 더 우수한 성능을 보이는 것은 기본구조내에서의 인터리빙(interleaving)으로 인해 연결애러에 대한 영향이 산발애러에 대한 영향보다 상대적으로 적게되어 연결애러에 대한 Reed-Solomon 부호의 상대적인 우위가 산발애러에 대한 BCH 부호의 우위보다 작아졌기 때문이다.

2. 16-DPSK로 변조시 BS-FEC의 성능

16-DPSK로 변조할때 k/n가 1/2인 경우는 binary-DPSK로 변조할때와 마찬가지로 (30, 15, 3) BCH 부호와 (54, 27, 5) BCH 부호가 거의 비슷한 성능을 보이나 (54, 27, 5) BCH 부호가 약간 더 우수하며, k/n가 4/7인 경우는 (7, 4, 1) Hamming 부호가 BER이 클때 비교적 좋은 성능을 보였다(그림 5). (7, 4, 1) Hamming 부호는 에러정정능력이 크지 않으나 BER이 클때 좋은 성능을 보이는 것은 하나의 부호어를 구성하는데 필요한 기본구조의 수가 하나로서 다른 부호들에 비해 훨씬 작아 복호를 잘못했을때 에러의 전파효과를 최소로 할 수 있기 때문이다.

3. BS-FEC를 사용하지 않는 경우와의 비교

본 논문에서는 13 Kbps SBC 데이터에 에러정정부호를 적용하여 16 Kbps의 전송율로 채널을 통해 송수신하기 때문에, 16 Kbps SBC로 부호화해서 BS-FEC를 사용하지 않은채 전송하는 방식과 13 Kbps SBC 데이터에 BS-FEC를 적용하여 16 Kbps로 전송하는 방식을 비교하는 것은 중요한 의미를 지닌다. 그림 6에서 보듯이, 후자의 방식이 BER(bit error rate)이 10^{-3} 인 경우 전자의 방식보다 약 1.7dB 정도의 이득이 있으며 채널의 상태가 매우 좋을때는(BER= 10^{-3}) 전자의 방법이 좋다. 그런데, 디지털 이동통신의 채널은 BER이 비교적 큰값(BER > 10)을 가지므로 [6] 전자의 방식을 사용하는 것이 더 유리함을 뜻한다.

그리고 하나의 기본구조내에서 4비트를 보호하기 위해 BS-FEC를 적용하는 것보다 3비트만을 보호하기 위해 BS-FEC를 적용하는 것이 더 좋은 효과를 가지는데, 이것은 한 기본구조내에서 3비트를 보호하는 것만으로도 충분하며 4비트를 보호하기 위해 BS-FEC를 적용하는 경우 오히려 하나의 부호어에 에러가 일어날 확률이 커짐으로서 BS-FEC의 에러정정능력보다 많은 비트의 에러가 생길 가능성이 더 커지는 역효과가 나타나기 때문이다.

VI. 결 론

본 논문에서는 디지털 이동통신에서 음성신호를 16 Kbps SBC로 부호화한 데이터를 그대로 전송하는 방식보다는 음성신호를 13 Kbps SBC로 부호화한 후 BS-FEC를 적용하여 16 Kbps로 전송하는 방식을 비교하였다. 컴퓨터 시뮬레이션(computer simulation)을 한 결과 BER이 10^{-2} 일때 후자의 SNR이 전자의 SNR보다 약 1.7dB의 이득이 있어 성능이 더 좋았다.

음성신호를 13 Kbps SBC로 부호화한 후 BS-FEC를 적용하는데 있어서 BS-FEC에 의해 보호되는 비트의 선택에 따른 성능을 비교분석하였다. 13 Kbps SBC 데이터의 기본구조에서 주파수대역의 부호비트와 최상위비트 및 주파수대역2의 부호비트중 3비트에 BS-FEC를 적용하는 것으로 충분하며, 주파수대역2의 최상위비트를 추가하여 4비트에 BS-FEC를 적용할 경우는 역효과가 나타나 오히려 성능이 감소함을 알았다.

여러가지 에러정정부호에 대해 성능을 조사한 결과 (30, 15, 3) BCH 부호 또는 (54, 27, 5) BCH 부호가 BS-FEC로서 가장 우수하였으며, (7, 4, 1) Hamming 부호도 비교적 좋은 성능을 보였다. 디지털 이동통신을 위한 BS-FEC로는 성능과 구현의 복잡성등을 기준으로 판단할때 (30, 15, 3) BCH 부호가 적합한 것으로 판단된다.

d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9	d10	d11	d12	d13
s	s		s				s			s		s
B3	B4	B1				B2				B3		B4

- B1 : 주파수대역1 (0 - 500 Hz)
- B2 : 주파수대역2 (500 - 1000 Hz)
- B3 : 주파수대역3 (1000 - 2000 Hz)
- B4 : 주파수대역4 (2000 - 3000 Hz)

di : i 번째 비트
s : 각 대역의 부호비트

각 대역내에서는 부호비트, 상위비트, 하위비트순으로 배열된다.

그림 1. 13 Kbps SBC 음성데이터의 기본구조.

Fig. 1 Basic structure of 13 Kbps SBC speech data.

d1	c1	d2	d3	c2	d4	c3	d5	d6	c4	d7	d8	c5	d9	c6	d10	c7	d11	d12	c8	d13
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	----	-----	-----	----	-----

ci : 부호어 비트
d4, d5, d8, d9 : 보호되는 비트

(a) k/n 이 1/2인 경우의 배열

d1	c1	d2	c2	d3	d4	c3	d5	d6	c4	d7	d8	c5	d9	c6	d10	c7	d11	d12	c8	d13	c9
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	----	-----	-----	----	-----	----

ci : 부호어 비트
d4, d5, d8, d9 : 보호되는 비트

(b) k/n 이 4/7인 경우의 배열

그림 2. 기본구조 내에서 부호어비트들의 배열.

Fig. 2 Arrangement of coded bits in a basic structure.

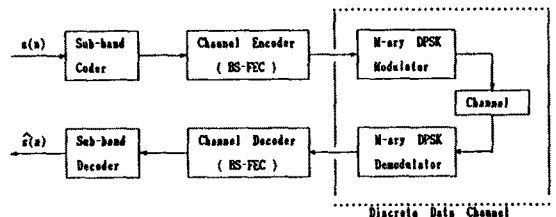
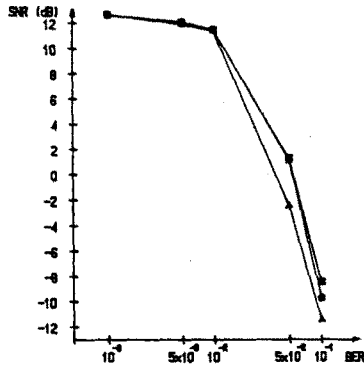
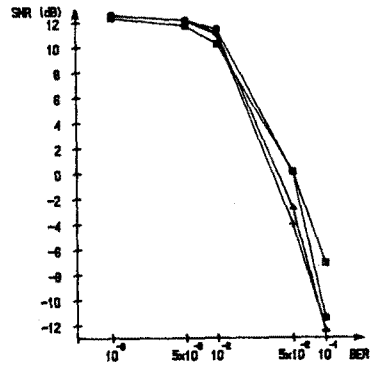


그림 3. 시스템 구성도.
Fig. 3 Block diagram of system.



□ : (30, 15, 3) BCH 부호
 ○ : (54, 27, 5) BCH 부호
 △ : (12, 6, 3) Reed-Solomon 부호

(a) $k/n = 1/2$

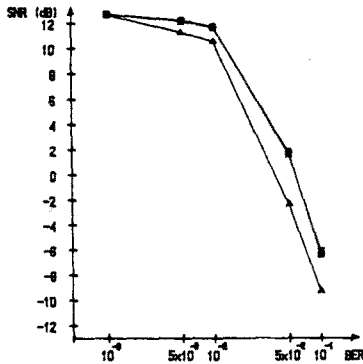


□ : (7, 4, 1) Hamming 부호
 ○ : (63, 36, 5) BCH 부호
 △ : (56, 32, 4) BCH 부호
 + : (14, 8, 3) Reed-Solomon 부호

(b) $k/n = 4/7$

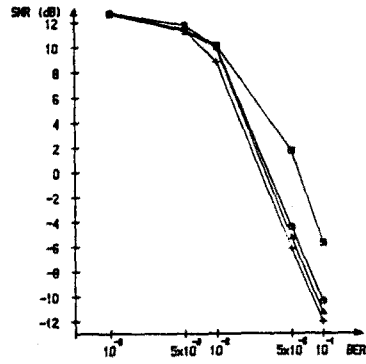
그림 4. Binary-DPSK 변조시 BS-FEC의 성능.

Fig. 4 Performance of BS-FEC combined with binary-DPSK.



□ : (30, 15, 3) BCH 부호
 ○ : (54, 27, 5) BCH 부호
 △ : (12, 6, 3) Reed-Solomon 부호

(a) $k/n = 1/2$



□ : (7, 4, 1) Hamming 부호
 ○ : (63, 36, 5) BCH 부호
 △ : (56, 32, 4) BCH 부호
 + : (14, 8, 3) Reed-Solomon 부호

(b) $k/n = 4/7$

그림 5. 16-DPSK 변조시 BS-FEC의 성능.

Fig. 5 Performance of BS-FEC combined with 16-DPSK.

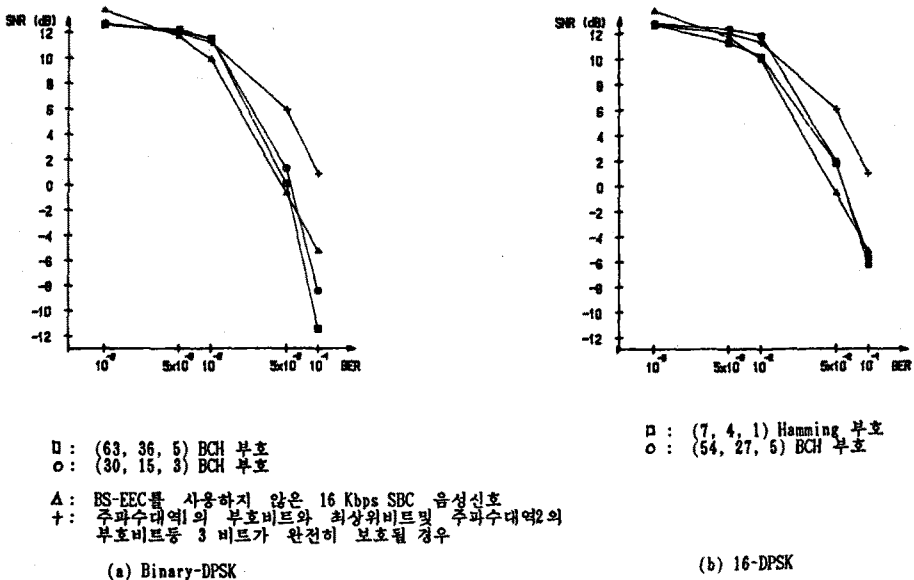


그림 6. BS-EEC를 사용하는 경우와 사용하지 않는 경우와의 비교.
Fig. 6 Comparison between 13 Kbps SBC speech data using BS-FEC and 16 Kbps SBC data without BS-FEC.

참고 문헌

[1] W. C. Y. Lee, Mobile Communications Engineering. McGraw-Hill, 1982.

[2] S. Yoshida and et al., "Causes of burst errors in multi-path fading channel," IEEE Trans. Commun., vol. COM-36, pp. 107-113, Jan. 1988.

[3] K. Otani and et al., "Burst error performance encountered in digital land mobile radio channel," IEEE Trans. Veh. Tech., vol. VT-30, pp. 156-160, Nov. 1981.

[4] N. S. Jayant and P. Noll, Digital Coding of Waveforms. Prentice-Hall, 1984.

[5] R. E. Crochiere and et al., "Digital coding of speech in sub-bands," Bell Syst. Tech. J., vol. 55, pp. 1069-1085, Oct. 1976.

[6] T. Miki and et al., "A robust 16 kb/s voice transmission for digital land mobile radio," Proc. of the IEEE GLOBE-COM '87, Tokyo, Japan, Nov. 1987.

[7] 정 영모, 디지털 모뎀 라디오를 위한 음성코딩 및 변조 기법에 관한 연구. 서울대학교 공학석사 논문, 1988.

[8] R. E. Crochiere, "An analysis of 16 kb/s sub-band coder performance: dynamic range, tandem connections, and channel errors," Bell Syst. Tech. J., vol. 57, pp. 2927-2952, Oct. 1978.

[9] R. E. Blahut, Theory and Practice of Error Control Codes. Addison Wesley, 1983.

[10] W. W. Peterson and E. J. Weldon, Error Correcting Codes, 2/e. MIT Press, 1972.