

인터리버 크기가 작은 터보부호의 새로운 종료 알고리즘

정회원 최 회 동*, 노 종 선*, 강 회 원**

New Termination Algorithm of Turbo Codes with Small Interleaver Size

Hoi-Dong Choi*, Jong-Seon No*, Hee-Won Kang** *Regular Member*

요 약

터보부호는 인터리버의 크기가 매우 큰 경우 성능이 우수한 것으로 알려져 있는데 이동통신시스템 등에서 음성 신호를 전송하는 경우 프레임 크기 즉, 인터리버의 크기가 매우 작아서 터보부호를 사용하는 경우 성능의 열화가 생기게 된다. 인터리버의 크기가 큰 경우에는 종료 알고리즘이 성능에 미치는 영향이 작지만 크기가 작은 인터리버는 종료 알고리즘에 따라 성능에의 영향이 크다. 그리고 프레임의 끝 부분에 있는 데이터는 복호시에 오류가 발생하기 쉬워 이러한 데이터의 처리가 터보부호에 있어서 중요한 문제이다. 본 논문에서는 작은 인터리버 크기를 갖는 부호율이 1/3인 터보부호의 새로운 종료 알고리즘을 제안하고 프레임의 크기가 매우 작은 24 및 192비트인 경우에 제안된 터보부호 종료 알고리즘 성능의 우수성을 컴퓨터 모의실험을 통하여 입증하였다.

ABSTRACT

It is well-known that turbo codes have a good error correcting capability compared to other channel coding schemes. But its performance relies on the interleaver size of turbo encoder, i.e., frame size. In the case of voice transmission in a mobile communication environment, its frame sizes are very small, which degrades the performance of turbo codes. The probability of bit errors is high in the end of each frame for turbo code and it causes the performance degradation especially, for voice transmission with small frame size. In this paper, we propose the new termination algorithms of turbo codes suitable for small frame sizes and analyzed its performance with frame size of 24 and 192 bits by computer simulation.

I. 서 론

디지털이동통신시스템은 무선채널의 특성상 데이터를 전송하는 경우 비트오류가 발생하기 쉽다. 따라서 이동통신시스템에서 채널에서 발생하는 비트오류를 정정하기 위해 사용되는 채널부호는 매우 중요한 요소기술이다. 이러한 이동통신시스템에 사용되는 채널부호로는 길쌈부호 및 Viterbi 복호기가

있는데 최근 들어 그 성능의 우수성으로 인하여 터보부호가 많은 관심의 대상이 되고 있다. 터보부호(turbo code)는 1993년에 Berrou 등에 의해서 제안된 길쌈부호를 병렬로 연결시킨 부호로서 인터리버의 크기가 큰 경우에 Shannon 한계에 근접하는 우수한 성능을 갖는다고 알려져 있다^[1].

터보부호는 복호시에 MAP(maximum a posteriori probability) 알고리즘을 이용하는데 각 수신된 비트의 LLR(log likelihood ratio)을 계산하기 위해 매우

* 건국대학교 전자공학과(jsno@kkucc.konkuk.ac.kr)

** 삼성전자

* 본 논문은 삼성전자 및 한국과학재단(97-0100-0501-3)의 지원을 받아 수행된 연구결과입니다.
논문번호 : 98441-1009, 접수일자 : 1998년 10월 9일

복잡한 계산이 필요하다. 그러나 Pietrobon이 1994년에 MAP 알고리즘의 계산량을 줄인 간단한 복호 알고리즘을 제안하였다^{[5][7]}. 터보부호는 프레임, 즉 인터리버의 크기가 매우 큰 경우에 성능이 우수한 것으로 알려져 있는데 이동통신시스템 등에서 음성 신호를 전송하는 경우 프레임 크기가 매우 작아서 터보부호를 사용하는 경우 성능의 열화가 생기게 된다. 터보부호에서 인터리버의 크기가 작은 경우에는 랜덤 인터리버 보다는 블록 인터리버가 성능이 우수하다는 것이 Jung에 의해서 발표되었다^[2]. 그리고 인터리버의 크기가 큰 경우에는 인터리버의 종류에 따른 성능에 영향이 매우 크다는 것이 알려져 있다.

그리고 프레임의 끝 부분에 있는 데이터는 복호시에 오류가 발생하기 쉬워 이러한 데이터의 처리가 터보부호에 있어서 중요한 문제이다. 이러한 것을 종료(termination)문제라고 하는데 프레임의 크기가 큰 경우는 종료 알고리즘에 의한 성능에의 영향은 작지만 이동통신시스템 등과 같이 작은 프레임을 갖는 음성을 전송하는 경우에는 음성의 성능이 종료 알고리즘에 따라 크게 영향을 받게 된다.

터보부호는 프레임 단위로 부호와 복호를 실행하는데 0상태에서 시작하여 0상태로 종료된다고 가정한다^{[3][6]}. 구성 부호기가 0상태로 종료되면 복호기에서는 끝부분이 0상태라는 것을 알고 복호를 실행하므로 프레임의 끝 부분에서 발생하는 비트오류가 줄어든다. 그러나 실제로 두 개의 구성 부호기를 동시에 0상태로 종료시키는 방법은 매우 어렵기 때문에 사용되지 않는다.

본 논문에서는 IS-95^[8]에서 제안되어 사용되고 있는 프레임과 같은 크기의 인터리버인 24 및 192인 경우 부호율이 1/3인 터보부호에 대하여 새로운 제가지의 종료 알고리즘을 제안하고 각 종료 알고리즘에 대해서 비트오율(BER; bit error rate)과 프레임오율(FER; frame error rate)의 성능을 기존의 방식과 비교 분석하여 그들의 우수성을 입증하였다. II장에서는 Pietrobon에 의해 유도된 MAP 알고리즘을 간략하게 기술하였고, III장에서는 새로운 제가지의 종료 알고리즘을 제안하고, IV장에서는 제안된 종료 알고리즘에 대하여 부호율이 1/3이고 구속장이 5 그리고 생성다항식이 (23,35)인 터보부호의 성능을 가산성백색가우스잡음(AWGN; additive white Gaussian noise) 채널에서 모의실험을 통하여 분석하였다.

II. 터보부호의 MAP 알고리즘

Pietrobon에 의해 제안된 MAP 알고리즘을 간략하게 기술하면 다음과 같다^[5]. 시간 k 일 때 터보부호기의 출력시퀀스는 입력정보비트 d_k 와 잉여비트 Y_k 로 이루어진다. 이 출력시퀀스는 AWGN 채널을 통해서 전송된다고 가정할 때 수신된 시퀀스는 아래의 식과 같이 표현될 수 있다.

$$R_k^N = (R_1, \dots, R_k, \dots, R_N) \quad (1)$$

여기서 $R_k = (x_k, y_k)$ 는 각 구성 부호기에 대한 시간 k 일 때 수신된 심볼이며 x_k 와 y_k 는 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} x_k &= (2d_k - 1) + p_k \\ y_k &= (2Y_k - 1) + a_k \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 p_k 와 a_k 는 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 가우시안 랜덤변수인 AWGN이다. LLR 함수 $L(d_k)$ 는 아래 식과 같이 정의된다.

$$L(d_k) = \log \frac{P_r(d_k = 1 | R_k^N)}{P_r(d_k = 0 | R_k^N)} \quad (3)$$

위의 식에서 $P_r(d_k = i | R_k^N)$ 은 입력정보비트 d_k 의 사후확률(a posteriori probability)이다. MAP 알고리즘의 계산량을 줄이고 효과적인 하드웨어를 구현하기 위해서 E 함수를 이용하여 순방향 메트릭 $A_k^i(m)$ 과 역방향 메트릭 $B_k^i(m)$ 그리고 가지 메트릭 $D_i(R_k, m)$ 을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$A_k^i(m) = D_i(R_k, m) + \sum_{j=0}^1 A_{k-1}^j(S_j^i(m)) \quad (4)$$

$$B_k^i(m) = \sum_{j=0}^1 B_{k+1}^j(S_j^i(m)) + D_j(R_{k+1}, S_j^i(m)) \quad (5)$$

$$D_i(R_k, m) = \frac{2}{\sigma^2} (x_k i + y_k Y_k^i(m)) \quad (6)$$

위의 정의식 및 E 함수를 이용하여 식(3)에서 정의된 LLR 함수를 표현하면 다음 식과 같다.

$$L(d_k) = \sum_m A_k^1(m) + B_k^1(m) - \sum_m A_k^0(m) + B_k^0(m) \quad (7)$$

위식에서 LLR의 계산은 E 함수의 계산을 제외하면 모두 덧셈이 되고 E 함수는 함수표를 만들어 이용할 수 있으므로 곱셈이 없이 덧셈에 의해서만 간단히 계산될 수 있다.

III. 터보부호의 새로운 종료 알고리즘

터보부호의 복호화는 반복 복호화 과정으로 순방향 메트릭 $A_k^i(m)$ 과 역방향 메트릭 $B_k^i(m)$ 그리고 가지 메트릭 $D_k(R_k, m)$ 을 계산하여 수신된 정보비트의 사후확률을 계산하는 방법이다. 이러한 순방향 메트릭과 역방향 메트릭을 계산하는데 부호기의 상태를 알고 있는 것은 매우 중요한 것이다. 일반적으로 터보부호의 종료 방법은 두 개의 구성 부호기들 중에 첫번째 구성 부호기만을 0상태로 종료시키는 방법을 사용하고 있다⁴⁾.

본 논문에서는 터보부호의 새로운 세 가지 종료 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘들은 부호기에서 한 프레임의 특정위치에 0 비트를 삽입하고 이 0 비트들에 대한 패리티비트들을 발생시켜 전송하며 복호기에서는 수신된 프레임의 0 패딩비트 위치 및 값이 알려져 있으므로 이 값을 정해진 큰 값으로 치환하여 MAP 복호기의 순방향 메트릭 그리고 역방향 메트릭과 가지 메트릭의 값을 계산한다. 여러 가지 모의실험을 실행하여 본 결과 복호기에서 정해진 0에 대한 값을 -5로 설정하여 복호하였다. 프레임 크기가 24인 경우 부호화 후에 전송되는 총 비트의 수는 72 비트이다.

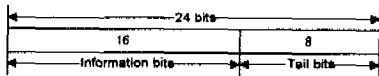


그림 1. IS-95에서 1.2Kbps 프레임 구조
Fig. 1 1.2Kbps frame structure in IS-95

IS-95에서 1.2Kbps 프레임 구조는 그림 1과 같다. 여기서 정보비트는 16비트이고 꼬리비트는 8비트이다. 본 논문에서는 그림 1에서와 같이 꼬리비트, 즉 여분의 8비트를 이용하여 0패딩비트의 새로운 종료 알고리즘을 아래와 같이 제안하고 그것들에 대하여 설명하였다.

3.1 8비트패딩알고리즘(Eight-bit-padding algorithm)

제안된 알고리즘은 그림 2와 같이 정보비트가 16비트이고 0패딩비트가 8비트인 프레임 구조를 갖는

다. 즉, 8비트의 꼬리비트를 0패딩비트로 사용하는 종료 알고리즘이다. 0패딩비트의 위치는 인터리버 구조에 따라서 달라진다. 그림 2에서 d_k 는 정보비트들이고 Id_k 는 인터리버를 통과한 정보비트들이고 $Y1_k$ 는 첫번째 구성 부호기의 패리티비트이고 $Y2_k$ 는 두번째 구성 부호기의 패리티비트이다.

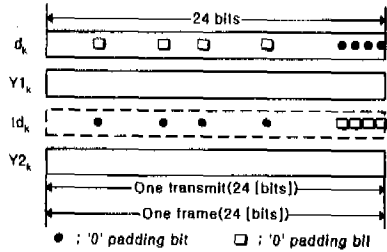


그림 2. 8비트패딩알고리즘
Fig. 2 Eight-bit-padding algorithm

3.2 8비트패딩 및 2회전송알고리즘 (Eight-bit-padding-and-transmit-twice algorithm)

그림 2에서 패딩된 0 비트들의 위치는 부호기와 복호기에서 이미 알고 있으므로 전송할 필요가 없다. 따라서 $Y1_k$ 와 $Y2_k$ 의 끝 부분에 있는 각각 4개의 패리티비트들을 d_k 의 0패딩비트 위치에 넣어서 전송한다. 그러므로 $Y1_k$ 와 $Y2_k$ 의 끝 부분에 있는 각각 4비트의 패리티비트들은 두 번 전송되게 된다. 일반적으로 프레임의 끝부분에 있는 비트들은 오류에 취약하므로 이를 보상하는 의미가 있으며 두 번 전송된 패리티비트들은 복호기에서 equal-gain-combining하여 사용한다. 0패딩비트의 위치와 삽입된 값은 터보부호의 부호기와 복호기가 서로 알고 있으므로 복호기에서는 정해진 위치에 큰 값을 삽입하여 메트릭 값을 계산할 때 보다 정확하게 계산할 수 있어 복호기의 성능을 향상시킬 수 있게 된다.

3.3 12비트패딩알고리즘(Twelve-bit-padding algorithm)

그림 3에서는 정보비트가 16비트이고 0으로 패딩한 것이 12비트인 프레임 구조이다. 이 알고리즘은 터보부호의 부호기에서 한 프레임 길이가 28비트이다. 그러나 실제로 전송되는 프레임의 길이는 24비트인 경우와 같게 된다. 즉, 그림 3에서와 같이 d_k 와 Id_k 에 있는 12개의 0패딩비트는 알고 있는 정

보이므로 전송할 필요가 없다. 그러나 Y_{1k} 의 끝 부분에 있는 4비트와 Y_{2k} 의 끝 부분에 있는 4비트인 0패딩비트들의 패리티비트들은 0패딩비트들의 위치에 넣어서 전송한다. 따라서 전송되는 총 비트의 수는 72이다. 수신기에서는 Y_{1k} 와 Y_{2k} 의 본래 위치에 패리티비트들을 넣고 0패딩비트 위치에는 정해진 값 즉, 신뢰성이 있는 값을 넣는다.

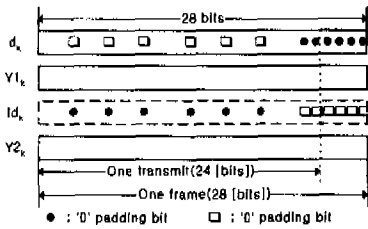


그림 3. 12비트패딩알고리즘
Fig. 3 Twelve-bit-padding algorithm

3.4 기존의 종료알고리즘(Known termination algorithm)

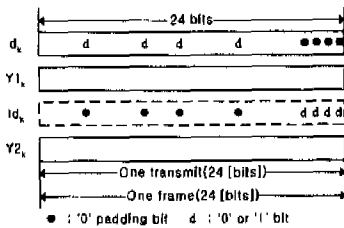


그림 4. 기존의 종료알고리즘
Fig. 4 Known termination algorithm

기존의 종료알고리즘은 그림 4와 같은 프레임 구조로 첫번째 구성 부호기는 0상태로 종료시키고 두번째 구성 부호기는 임의의 상태로 종료된다. 첫번째 구성 부호기를 종료시키는 정보는 d_k 의 끝 부분에 있는 4비트에 넣고 두번째 구성 부호기가 임의의 상태로 종료되는 정보는 'd'라고 표시된 위치에 넣는다. 여기서 'd'는 앞부분의 메시지 데이터에 의해서 결정되는 비트들이다. 복호기에서는 첫번째 구성 부호기를 복호하는 경우에는 역방향 메트릭의 경우 0상태에서 시작되지만 두번째 구성 부호기의 경우에는 동일 값을 갖는 상태에서 시작하게 된다.

IV. 컴퓨터 모의실험 및 결과

본 논문은 프레임, 즉 인터리버의 길이가 24비트

와 192비트일 때 AWGN 채널에서 부호율이 1/3 이고 발생기가 (23,35)인 터보부호와 MAP 복호알고리즘을 사용하여 제안된 세 가지의 종료 알고리즘 즉, 8비트패딩알고리즘, 8비트패딩 및 2회전송알고리즘과 12비트패딩알고리즘 그리고 첫번째 구성 부호기는 0상태로 종료하고 두번째 구성 부호기는 임의의 상태로 종료되도록 하는 기존의 알고리즘에 대하여 모의 실험을 가산성패색가우스잡음 환경하에서 수행하고 그들의 비트오율 성능 및 프레임오율 성능을 분석하였다. 192비트 프레임 크기인 경우는 앞 절에서 언급한 것과 같은 방식으로 종료하는 알고리즘을 사용하였다. 모의실험에서 사용된 파라미터들은 표 1과 같다.

표 1. 모의실험에 사용된 파라미터
Table 1. Parameters in simulation

부호율	1/3
프레임의 크기	24, 192[bits]
제안된 알고리즘	Eight-bit-padding Eight-bit-padding-and-transmit-twice Twelve-bit-padding
부호기 생성 다항식	(23,35)
채널	AWGN
복호기	MAP 알고리즘
Iteration	6회
성능	BER, FER

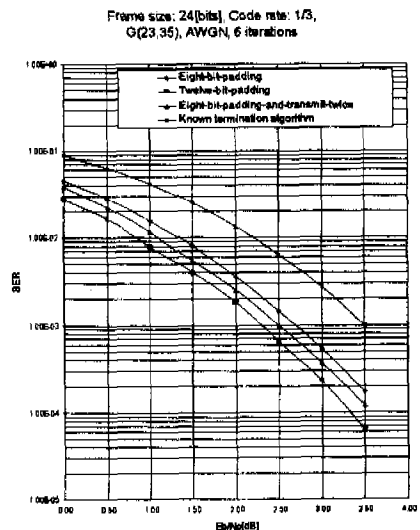


그림 5. AWGN 채널에서 프레임 크기가 24비트인 터보부호의 BER 성능
Fig. 5 BER performance of turbo codes with 24 bits frame size in AWGN channel

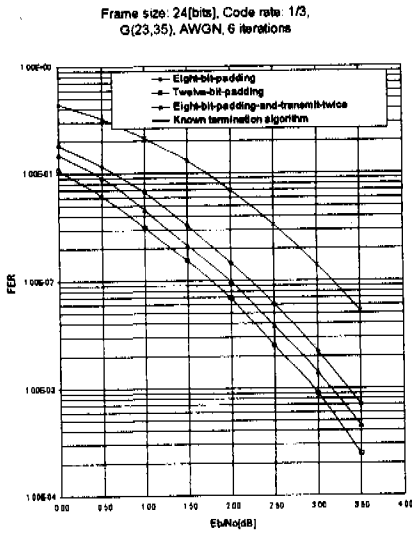


그림 6. AWGN 채널에서 프레임 크기가 24비트인 터보부호의 FER 성능
 Fig. 6 FER performance of turbo codes with 24 bits frame size in AWGN channel

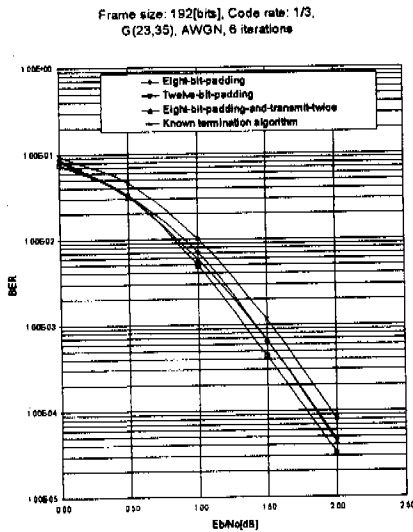


그림 7. AWGN 채널에서 프레임 크기가 192 비트인 터보부호의 BER 성능
 Fig. 7 BER performance of turbo codes with 192 bits frame size in AWGN channel

모의실험의 결과 각 종료알고리즘의 성능을 보면 12비트패딩알고리즘의 성능이 가장 우수하고 8비트 패딩 및 2회전송알고리즘, 8비트패딩알고리즘 그리고 기존의 알고리즘의 순서로 나타났다. 프레임 길이가 24비트일 때, 그림 5에서 12비트패딩알고리즘

성능은 기존의 알고리즘에 비하여 10^{-3} 의 BER에서 1.39[dB] 정도 우수하였고 또한 그림 6에서도 10^{-2} 의 FER인 경우에 성능이 1.80[dB]가 우수하였다. 프레임 길이가 192비트일 때, 그림 7에서 12비트패딩알고리즘의 성능이 기존의 알고리즘에 비하여 10^{-3} 의 BER에서 0.39[dB] 정도 우수하였고 또한 그림 8에서 10^{-2} 의 FER인 경우 성능이 0.46[dB]가 우수하였다. 프레임 크기가 작을수록 성능 차이가 커지는데 그 이유는 한 프레임에서 정해진 비트의 비율이 커지기 때문이다.

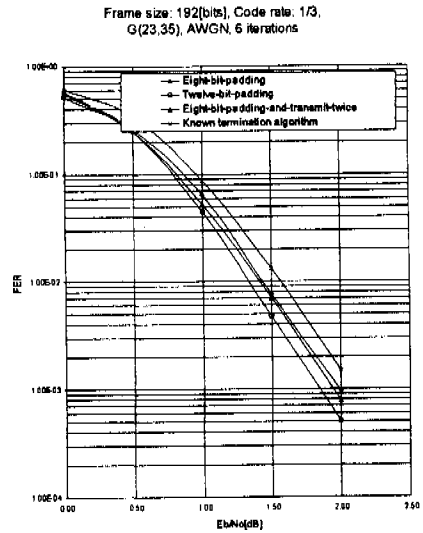


그림 8. AWGN 채널에서 프레임 크기가 192비트인 터보부호의 FER 성능
 Fig. 8 FER performance of turbo codes with 192 bits frame size in AWGN channel

V. 결론

디지털이동통신시스템에서 음성신호는 작은 프레임 크기로 전송되어진다. 이러한 작은 프레임 데이터에 터보부호를 사용하는 경우 그의 종료 알고리즘에 관한 성능을 분석하였다. 터보부호기에 있어서 부호화 및 복호화는 프레임의 단위로 이루어지는데 프레임의 끝 부분에서 비트 오류가 생기기 쉽다. 이러한 문제를 해결하는 방안으로 프레임의 특정한 부분에 0패딩비트를 이용하는 새로운 세 가지 종료 알고리즘을 제안하고 모의실험을 통하여 구성 부호기 중에 하나만 종료시키는 기존의 알고리즘에 비해 그의 성능이 우수함을 입증하였다. 앞으로

Rayleigh fading 채널에서 터보부호의 성능을 분석하고 또한 다양한 블록 인터리버 구조와 발생기 종류에 따른 성능을 분석하고 오류 형태도 분석하면 터보부호가 이동통신시스템에 사용되기 위한 유용한 자료가 되리라 생각한다.

참고 문헌

[1] C. Berrou, A. Glavieux, and P. Thitimajshima, "Near Shannon limit error-correcting coding and decoding: turbo codes," in *Proc. International Conference on Communmcs (ICC' 93)*, 1993, pp. 1064-1070.

[2] P. Jung and M. Naflhan, "Dependence of the error performance of turbo-codes on the interleaver structure in short frame transmission systems," *Electronics Letters*, vol. 30, no. 4, pp. 287-288, Feb. 1994.

[3] O. Joerssen and H. Meyr, "Terminating the trellis of turbo-codes," *Electronics Letters*, vol. 30, no. 16, pp. 1285-1286, Aug. 1994.

[4] P. Robertson, "Improving decoder and code structure of parallel concatenated recursive systematic (turbo) codes," in *Proc. International Conference on Universal Personal Communications (ICUPC'94)*, 1994, pp. 183-187.

[5] S. Pietrobon and A. Barbulescu, "A simplification of the modified Bahl decoding algorithm for systematic convolutional Codes," in *Proc. International Symposium on Information Theory and Its Applications (ISITA'94)*, 1994, pp. 1073-1077.

[6] M. Reed and S. Pietobon, "Turbo-code termination schemes and a novel alternative for short frames," in *Proc. Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC'96)*, 1996, pp. 354-358.

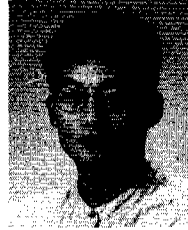
[7] S. Pietrobon, "Implementation and performance of a serial MAP decoder for use in an iterative turbo decoder," in *Proc. International Symposium on Information Theory (ISIT'95)*, 1995, p. 471.

[8] TIA/EIA/IS-95, *Mobile Station-Base Station Compatibility Standard for Dual-Mode Wideband Spread Spectrum Cellular System*,

published by Telecommunication Industry Association as a North American 1.5GHz Cellular CDMA Air-Interface Standard, July 1993.

최 회 동(Hoi-Dong Choi)

정회원

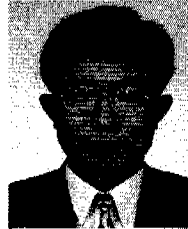


1992년 2월 : 건국대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1994년 2월 : 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사)
 1994년~1996년 : 현대전자 연구원
 1995년 3월~현재 : 건국대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중

<주관심 분야> 터보부호, 오류정정부호, IMT-2000 등임

노 종 선(Jong-Seon No)

종신회원



1981년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1984년 2월 : 서울대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사)
 1988년 5월 : 미국 University of Southern California 전기공학과 공학박사(PhD)

1988년 2월~1990년 7월 : Hughes Network Systems senior MTS로 근무
 1990년 9월~현재 : 건국대학교 전자공학과 부교수로 근무

<주관심 분야> PN 시퀀스, 오류정정부호, 이동통신 시스템, 확산대역통신시스템, IMT-2000 등임

강 회 원(Hee-Won Kang)

정회원

1991년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1994년 5월 : University of Southern California 전기공학과 졸업(석사)

1994년~현재 : 삼성전자 IMT-2000 시스템
 <주관심 분야> 오류정정부호, 무선통신시스템, 확산대역통신시스템, IMT-2000 등임